

Original Article

Iranian Remote Sensing GIS
Journal of

Comparative Study of Land Use Changes Using Markov Chain Model and Autonomous Cells (CA-Markov) in the Khiavchai Watershed of Meshginshahr, Iran

Vahid Norouzi Koleh Sar, Karim Solaimani^{*ID}, Fatemeh Shokrian**Affiliation**

Dep. of Watershed
Management Science and
Engineering, Faculty of
Natural Resources, Sari
Agricultural Sciences and
Natural Resources University,
Sari, Iran

ABSTRACT

Introduction: One of the most significant steps towards sustainable development is the protection of land integrity, as land use changes annually for various reasons, and excluding such lands from the production path results in irreparable damage. Since land use change in the Khiavchai watershed is a great importance due to the specific conditions of this area, examining spatial and temporal changes in land use provides good information to planners and managers for accurate forecasting. Because unplanned and unprincipled changes in land use are considered fundamental challenges for any country, which in turn have very destructive effects on natural resources. Therefore, the need to examine land use changes and predict related changes is a great importance.

Materials and Methods: The present study was conducted to detect and predict land use changes in the Khiavchai watershed, Meshginshahr. Accordingly, Landsat data were used to measure changes. By applying atmospheric corrections and using the supervised classification method, the maximum likelihood algorithm, the land uses in the region were classified into 6 classes. Using two maps from 1989 and 2007 as base and forward maps, a land use change prediction map was produced for the year 2023. The accuracy of the maps was evaluated based on the kappa coefficient, and the overall accuracy and correctness of the maps were evaluated based on the amount of agreement and disagreement parameters. Finally, the land use map for the next three decades (2033, 2043 and 2053) was predicted using the land use map from 1989 and 2023.

Results and Discussion: The results of the study of the trend of changes in land uses in the region indicate that the area of urban use and pasture use will face an increasing trend, and other uses will face a decreasing trend, compared to the land use map of 2023.

Conclusion: According to the results obtained, it can be acknowledged that the land uses of the region have been facing changes in area during the considered statistical period (1989 to 2023) and will have significant changes in the next three decades. Therefore, human intervention plays a major role in land use changes. These results can help planners in recognising the factors affecting land use changes and making correct management decisions at various management levels.

Keywords: Land use change, Markov chain, autonomous cells, Land Change Modeller (LCM).

Citation:

Norouzi Koleh Sar, V.,
Solaimani, K., Shokrian, F.,
Comparative Study of Land Use
Changes Using Markov Chain
Model and Autonomous Cells
(CA-Markov) in the Khiavchai
Watershed of Meshginshahr,
Iran, *Iran J Remote Sens GIS*,
18(1): 179-198.

* Corresponding Author: solaimani2001@yahoo.co.uk, ka.solaimani@sanru.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2025.238877.1253>

Received: 2025.02.22
Accepted: 2025.08.09





بررسی مقایسه‌ای تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov) در حوضه آبخیز خیاوچای مشکین شهر و حید نوروزی کله سر، کریم سلیمانی^{*}، فاطمه شکریان

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین مراحل در مسیر توسعه پایدار حفاظت از تمامیت اراضی است زیرا سالیانه بخشی از اراضی، به‌دلیل متعدد، تغییر کاربری می‌یابد و خروج این‌گونه اراضی از مسیر تولید لطمات جبران‌ناپذیری را در پی دارد. از آنجاکه تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز خیاوچای، به‌علت شرایط خاص کوهستانی و آتش‌فشان‌ی بودن این حوضه، اهمیت زیادی دارد، بررسی تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی دیدگاه مفیدی را به طراحان، برنامه‌ریزان و مدیران، در برنامه‌ریزی دقیق، ارائه می‌دهد؛ چراکه تغییرات بدون برنامه و غیراصولی کاربری اراضی از چالش‌های مهم و اساسی هر کشوری محسوب می‌شود و در جای خود، تأثیرات بسیار مخربی مانند تخریب پوشش گیاهی و تبدیل اراضی مرتعی به سایر کاربری‌ها را در منابع طبیعی باقی می‌گذارد. بنابراین لزوم بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات ناشی از آن اهمیت بسیاری دارد.

سمت

گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مواد و روش‌ها: حوضه آبخیز خیاوچای در حاشیه شمال‌غرب کوه سیلان و جنوب شهرستان مشکین شهر استان اردبیل واقع شده است. مطالعه حاضر با هدف آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز خیاوچای مشکین شهر انجام شد. برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره لندست-۵ با سنجنده TM، متعلق به سال ۱۹۸۹ و ۲۰۰۷ و لندست-۸ با سنجنده OLI-TIRS، متعلق به سال ۲۰۲۳، به کار رفت. با اعمال تصحیحات اتمسفری و بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده الگوریتم حداکثر احتمال، کاربری‌های منطقه در شش کلاس (مناطق شهری، کشاورزی، کوهستانی، کشاورزی دیم، خاک لخت، مرتع و پوشش برفی) طبقه‌بندی شدند. به‌منظور تولید نقشه پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۲۳، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۷ که با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی تهیه شده است، به‌منزله نقشه‌های پایه و پیشرو برای انجام‌دادن فرایند پیش‌بینی تغییرات کاربری سال ۲۰۲۳، وارد مدل زنجیره مارکوف شد. پس از مدل‌سازی، تصاویر احتمال شرطی، ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها تولید شد. در نهایت، با استفاده از ابزار STCHOICE در نرم‌افزار IDRISI TenSet، نقشه پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۳ استخراج شد. مشکل اساسی زنجیره مارکوف، در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی، ارائه‌نشدن اطلاعات مکانی در مدل‌سازی است. بدین‌ترتیب، برای افزودن عنصر مکانی به مدل، از سلول‌های خودکار (CA-Markov) استفاده شد. بنابراین با ترکیب مدل سلول‌های خودکار و مدل مارکوف، معرفی نقشه کاربری اراضی پایه متعلق به سال ۱۹۸۹، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی، نقشه پیش‌بینی درمورد سال ۲۰۲۳ به‌همراه مؤلفه مکانی تهیه شد. در نهایت، با استفاده از نقشه کاربری اراضی متعلق به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳، نقشه کاربری اراضی سه دهه آینده (۲۰۲۳، ۲۰۴۳، ۲۰۵۳) پیش‌بینی شد. دقت نقشه‌ها براساس ضریب کاپا و دقت کلی و صحت نقشه‌ها، براساس میزان پارامترهای توافق و نبود توافق، ارزیابی شد.

نتایج و بحث: تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی و نقشه کاربری اراضی، استخراج و مشخص شد که بیشترین مساحت به کاربری‌های مرتع، خاک لخت و کشاورزی دیم بازمی‌گردد. دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ماتریس خطا ارزیابی شد و ضریب کاپا درمورد سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به‌ترتیب، برابر ۰/۷۲/۰/۸۳ و ۰/۸۸ و دقت کلی سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به‌ترتیب، برابر ۸۸/۴۰، ۸۲/۸۷ و ۹۲/۳۲ به دست آمد. طبق نتایج، می‌توان بیان کرد که دقت طبقه‌بندی تصاویر در سطح مطلوبی به دست آمده است. بررسی تغییرات کاربری اراضی، در منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که مساحت ۱۱۹/۷ هکتار از کاربری شهری، ۳۵۴/۴۲ هکتار از کاربری کشاورزی آبی، ۱۰۳۹/۰۵ هکتار از کاربری کشاورزی دیم، ۲۰۲۴/۷۳ هکتار از کاربری خاک لخت، ۳۸۲۹/۹۵ هکتار از کاربری مرتع و ۴۵۸/۰۱ هکتار از پوشش برفی طی بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷ و همچنین ۱۲۳/۱۲ هکتار از کاربری شهری، ۳۸۳/۰۴ هکتار از کاربری کشاورزی آبی، ۱۲۸۲/۳۲ هکتار از کاربری کشاورزی دیم، ۲۲۹۴/۶۴ هکتار از کاربری خاک لخت، ۳۷۰۴/۰۴ هکتار از کاربری مرتع و ۸۰۶/۲۲ هکتار از پوشش برفی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ بدون تغییر مانده است. میزان مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ نشان داد کاربری‌های شهری ۴/۱۳٪، کشاورزی آبی ۵/۷٪، کشاورزی دیم ۱۵/۷٪، خاک لخت ۳۲/۲٪، مرتع ۴۲/۹٪، پوشش برفی ۸/۲٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج ارزیابی صحت مدل نشان داد که توافق بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی برابر ۰/۸۴ و نبود توافق بین آن‌ها برابر با ۰/۱۶ و ضریب کاپا ۰/۸۸ است که توانمندی تقریباً چشمگیر مدل در انجام‌دادن فرایند پیش‌بینی تغییرات را می‌رساند. طی مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۳، مشخص شد که در سه دهه آینده به‌ترتیب، کاربری شهری با ۴۵/۹٪، ۴۶/۹٪ و ۴۶/۵٪، افزایشی، کاربری مرتع با ۱۰/۹٪، ۷/۶٪ و ۴/۵٪ دارای روندی کاهشی، و کاربری‌های کشاورزی آبی با ۲۷/۹٪، ۲۱/۱٪ و ۱۴/۹٪، کشاورزی دیم با ۱۱/۲۳٪، ۱۳/۴٪ و ۹/۳٪، خاک لخت با ۲/۱۶٪، ۳/۱۳٪ و ۳/۳٪ افزایشی و پوشش برفی با ۳۲/۹٪، ۱۹/۴٪ و ۵/۱٪ دارای روندی کاهشی در قیاس با سال ۲۰۲۳ خواهند بود.

استناد:

نوروزی کله‌سر، و، سلیمانی، ک.، شکریان، ف.، بررسی مقایسه‌ای تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov) در حوضه آبخیز خیاوچای مشکین شهر، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵: ۱۷۹-۱۹۸.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، می‌توان بیان کرد که کاربری‌های منطقه، طی دوره آماری در نظر گرفته‌شده (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳)، با تغییرات در مساحت روبه‌رو بوده‌اند و طی سه دهه آینده نیز تغییرات محسوسی خواهند داشت. بنابراین دخالت عوامل انسانی، در قالب طرح‌های کشاورزی، استخر پرورش آبزیان، احداث راه‌های متعدد برای دسترسی به معادن و چشمه‌های آب گرم، نقش اصلی را در تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه ایفا کرده و می‌کند. این نتایج می‌تواند در شناخت عوامل مؤثر در تغییر کاربری و اتخاذ تصمیمات صحیح در سطوح گوناگون مدیریتی، مانند تدوین و اجرای طرح جامع مدیریت حوضه آبخیز خیاوچای، تقویت نظارت و کنترل، از طریق نظارت مستقیم با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، افزایش درآمد آبخیزنشینان از راه اکوتوریسم، حفاظت از منابع طبیعی و احیای پوشش گیاهی با اجرای طرح‌های بیولوژیک، آموزش و جلب مشارکت مردمی، به برنامه‌ریزان کمک کند.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، زنجیره مارکوف، سلول‌های خودکار، مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM).



۱- مقدمه

امروزه تغییرات کاربری اراضی، در بسیاری از کشورها، به چالش مهمی تبدیل شده است که تأثیرات فراوانی در محیط‌زیست می‌گذارد. بر همین اساس، بررسی تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های گوناگون به‌منزله یکی از موضوعات مهم در مدیریت درست منابع طبیعی و تغییرات زیست‌محیطی، در سطوح متفاوت، مطرح است. از این رو آگاهی‌داشتن از میزان تغییرات کاربری اراضی و بررسی علل و عوامل ایجادکننده این تغییرات، طی دوره‌ای زمانی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌تواند به تدوین برنامه‌های مدیریتی کمک شایانی بکند. امروزه دانش سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی از فناوری‌های برتر و کارآمد به‌منظور بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی محسوب می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که ماهواره‌های سنجش از دور، با فراهم‌آوری تصاویر چندزمانه و چندطیفی، می‌توانند در کمی‌کردن نوع و میزان تغییرات کاربری و پوشش اراضی به کار روند. از دیگر سو، سامانه اطلاعات جغرافیایی فراهم‌کننده محیطی مناسب برای نمایش، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌هاست و روش سنجش از دور ابزاری مناسب برای کسب اطلاعات مکانی به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار منابع طبیعی و چشم‌انداز اقتصادی شمرده می‌شود. به همین دلیل، تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و نیز فرایندهای مدل‌سازی، در شناسایی و تحلیل تغییرات کاربری و پوشش زمین، کاربرد گسترده‌ای داشته است (Alikhah Asl & Naseri, 2017). درویشی^۱ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر لندست-۵، ۷ و ۸، و الگوریتم حداکثر احتمال^۲ و مدل سلول‌های خودکار (CA-Markov) روند رشد شهری و تأثیر آن در کاربری اراضی را در شهرهای مریوان، بانه و سقز تحلیل و پیش‌بینی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که در سال ۲۰۳۲ شهر بانه در جهت شمال‌شرق، شهر مریوان در جهت شرق و شهر سقز در چهار جهت رشد داشت که به تخریب اراضی کشاورزی و زمین‌های بایر منجر خواهد شد. سلیمانی^۳ (۲۰۲۰) با

استفاده از داده‌های ماهواره لندست-۵، ۷ و ۸ و مدل LCM^۴، تغییرات کاربری اراضی را در شهر ساری آشکار کرد. نتایج نشان می‌دهد که سطح اراضی کشاورزی روند کاهشی شدید و به همان میزان، اشغال اراضی مسکونی روند افزایشی داشته است. ملا آقاچانزاده^۵ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی، تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز هراز در استان مازندران را طی دوره‌ای ۲۳ ساله، با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM+، IRS و ASTER ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که اراضی مرتعی، جنگلی، زراعت آبی و مخازن آبی به اراضی باغی، مسکونی و بدون پوشش گیاهی تبدیل شده بودند؛ به‌گونه‌ای که بر وسعت اراضی باغی، مسکونی و بدون پوشش گیاهی افزوده و در مقابل، از اراضی مرتعی، جنگلی، زراعت آبی و وسعت مخازن آبی کاسته شده بود. نیک‌پور^۶ و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷، مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، تغییرات کاربری اراضی در شهرستان عباس‌آباد استان مازندران را پیش و پیش‌بینی کردند. طبق نتایج، در سال ۲۰۳۰، سطح پهنه ساخته‌شده دارای روندی افزایشی خواهد بود که این مسئله به کاهش سطح پوشش گیاهی، اراضی بایر و آب منجر خواهد شد. اسمعیلی و نگهبان^۷ (۲۰۲۱) با استفاده از الگوریتم حداکثر درست‌نمایی و تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸، تغییرات ده سال آینده کاربری اراضی در دشت داراب استان فارس را آشکارسازی و پیش‌بینی کردند. نتایج حاکی از آن بود که در سال ۱۴۰۸، از مساحت کاربری‌های زراعی، کوه‌ها، مرتع و منابع آبی کاسته و از سوی دیگر، به مساحت کاربری‌های زمین بایر، باغی و مسکونی افزوده خواهد

1. Darvishi
2. Maximum Likelihood
3. Solaimani
4. Land Change Modeler.
5. Mola Aghajanzadeh
6. Nikpour
7. Esmaeili & Negahban

شد. زندی^۱ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌-لندست-۵، ۷ و ۸ دوره‌ زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰، براساس مدل زنجیره‌ مارکوف، تغییرات کاربری اراضی در روستاهای اطراف شهر سبزوار را بررسی و پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در سال ۲۰۴۰، مساحت فضاهای ساخته‌شده به ۵۴ کیلومتر مربع افزایش خواهد یافت و در قیاس با سال ۲۰۲۰، با رشدی ۱/۳ درصدی همراه خواهد بود. کیانپور کل خواجه^۲ و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات کاربری و پوشش اراضی سد گتوند طی بازه‌ زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹ را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کردند و برای این کار، از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM و OLI بهره بردند. نتایج نشان داد که در سال ۱۴۲۹، وسعت مناطق آبی، اراضی بایر و مراتع کاهش و مناطق ساخته‌شده، اراضی کشاورزی و مرغزارها افزایش مساحت خواهند داشت. جعفری گرزین^۳ و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در هیدرولوژی مناطق بالادست آبخیز رودخانه‌ سیاهرود را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در بازه‌ زمانی ۲۲ ساله، ۲۸۱٪ (معادل ۶۵۷ هکتار) به مساحت باغ‌های مرکبات افزوده شده است. در حدود ۵٪ از سطح جنگل پهن‌برگ کاهش یافته و سطح مناطق مسکونی ۵۷٪ رشد داشته و این تغییرات به کاهش شماره‌ منحنی^۴، از ۶۳/۰۱ به ۶۲/۷۳، منجر شده است. سلیمانی و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی، با به‌کاربردن داده‌های سنجنش از دور و مدل سلول‌های خودکار، تغییرات زمانی- مکانی پوشش زمین در شهر کرمانشاه را پایش و پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۴۷، نواحی شهری و کاربری کشاورزی روند افزایشی و کاربری‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر روند کاهشی خواهد داشت و بیشتر این تغییرات در ارتفاعات ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ متری رخ می‌دهد؛ همچنین تخریب اراضی به نواحی شهری در جهت‌های شمال و شمال‌شرق رخ خواهد داد. شکریان^۵ و سلیمانی (۲۰۲۴) تغییرات کاربری اراضی جلگه‌ هراز در بازه‌ زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ را بررسی و برای سنجنش تغییرات، از داده‌های لندست و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده کردند. نتایج

1. Zandi
2. Kyanpoor Kal Khajeh
3. Jafari Gorzin
4. Curve Number
5. Shokriani
6. Munthali
7. Dedza
8. Mansour
9. Nizwa
10. Al Dakhliyah
11. Girma

نتایج پژوهش آن‌ها، تا سال ۲۰۳۲، وسعت اراضی کشاورزی و جنگل‌های دشتی و مناطق ساخته‌شده با روندی افزایشی روبه‌رو خواهد بود اما کاربری‌های جنگل‌های کوهستانی، جنگل‌های دشتی تخریب شده و جنگل‌های کوهستانی تخریب شده روندی کاهش خواهد داشت. یانگ^۶ و همکاران (۲۰۲۴)، برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی اطراف ایستگاه‌های راه‌آهن، از مدل CA-Markov استفاده کردند. نتایج تحقیق در ایستگاه جنوبی میانزو، چین، نشان داد که در سال ۲۰۲۶، از مساحت اراضی زراعی ۸۳/۴۳ هکتار کاسته و به مساحت اراضی جنگلی و مسکونی به ترتیب، ۳۵/۸ هکتار و ۴۱/۵۲ هکتار افزوده خواهد شد. روشون^۷ و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ ماهواره سنتینل-۲ و لندست، تغییرات کاربری و پوشش اراضی را در حوضه رودخانه برنامه مالزی، تحلیل و پیش‌بینی کردند. نتایج پیش‌بینی‌ها، درمورد سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۷۵، حاکی از روند افزایشی در کاربری‌های آبی، تالاب‌ها، کشاورزی، شهری، بایر و مناطق مرتعی بود و همچنین از مساحت کاربری جنگل، ۱۲٪ کاسته خواهد شد. سو^۸ و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل زنجیره مارکوف-سلول خودکار، تغییرات کاربری اراضی را در دونگوان چین، شبیه‌سازی و پیش‌بینی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مساحت منطقه اکولوژیکی در مقایسه با سال ۲۰۲۰، طی سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ و ۲۰۳۵ به ترتیب، ۰/۶۷، ۱/۴۲ و ۲/۰۷٪ کاهش خواهد یافت. همچنین مساحت جنگل‌ها تا ۷/۴۲٪ کاهش می‌یابد و میزان رشد مناطق مسکونی آهسته خواهد بود. بنابراین اهمیت بررسی

اتیوپی را مدل‌سازی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که تغییرات کاربری و پوشش اراضی، در حوضه مورد مطالعه، تا سال ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ ادامه خواهد داشت. آیت‌الحاج^۱ و همکاران (۲۰۲۳) روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی در زیرحوضه لخداری مراکش را با استفاده از تصاویر بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ ماهواره لندست، شبیه‌سازی و پیش‌بینی کردند. نتایج استفاده و مقایسه دو مدل CA-Markov و LCM نشان داد که روند تغییرات معمولاً در کاربری جنگل تأثیر می‌گذارد؛ به‌صورتی که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۹، کاهش هفتاد درصدی مساحت جنگلی و به‌موازات آن، افزایش حدود ۳۷ درصدی کاربری‌های زمین بایر و شهری را شاهد خواهیم بود. آنیا^۲ و همکاران (۲۰۲۳)، با استفاده تصاویر سنجنده‌های MSS، TM، ETM+ و OLI، تغییر کاربری و پوشش اراضی در منطقه اکولوژیکی ساوانا (غنا) را شناسایی و پیش‌بینی کردند. نتایج بررسی روند تغییرات از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ نشان داد که در ناحیه بونگو، زمین‌های کشاورزی بیشترین افزایش را داشته‌اند و از سوی دیگر منطقه جنگلی ساوانا شاهد بیشترین کاهش بوده است. همچنین در غرب منطقه کاسنا-نانکانا^۳، وسعت ساواناهای درختچه‌ای و درختی و زمین‌های کشاورزی با روندی افزایشی و وسعت منطقه جنگلی ساوانا با روندی کاهش روبه‌رو بوده است. طبق پیش‌بینی‌های آتی، روند مشاهده‌شده تا سال ۲۰۵۰ ادامه خواهد داشت. سیسی^۴ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های زنجیره مارکوف و سلول خودکار، تغییرات کاربری و پوشش اراضی در حوضه آبخیز گوانگ اتیوپی را مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۶۰، وسعت زمین‌های کشاورزی روندی افزایشی خواهد داشت و از مساحت جنگل‌ها، بوته‌زارها و علف‌زارها به‌سرعت کاسته خواهد شد. فوجیو فوگانگ^۵ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مدل CA-Markov و تصاویر سنجنده‌های TM و OLI-TIRS در ذخیره‌گاه حیات‌وحش سانچو، واقع در غرب کامرون، تغییرات کاربری و پوشش اراضی را پیش‌بینی کردند. براساس

1. Ait El Haj
2. Aniah
3. Kassena-Nankana
4. Sisay
5. Feudjio Fogang
6. Yang
7. Rowshon
8. Su

از لحاظ اقلیمی، اغلب تحت تأثیر جریان هوای مرطوب اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه، توده هوای سرد و خشک سیبری و تا حدودی توده مرطوب خزری قرار می‌گیرد. دمای هوا، در طول سال، بین ۳۰- و ۳۰+ درجه سانتی‌گراد متغیر است و میانگین بارندگی سالیانه در آن به ۳۷۶ میلی‌متر می‌رسد (Madadi et al., 2019). از مراکز مهم جمعیتی، می‌توان به شهرستان مشگین‌شهر اشاره کرد که در خروجی حوضه قرار دارد. به‌طور کلی، این شهرستان در زمستان، سرد تا بسیار سرد و در تابستان، معتدل است. در شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است.

۲-۲- تصاویر و نرم‌افزارهای مورد استفاده

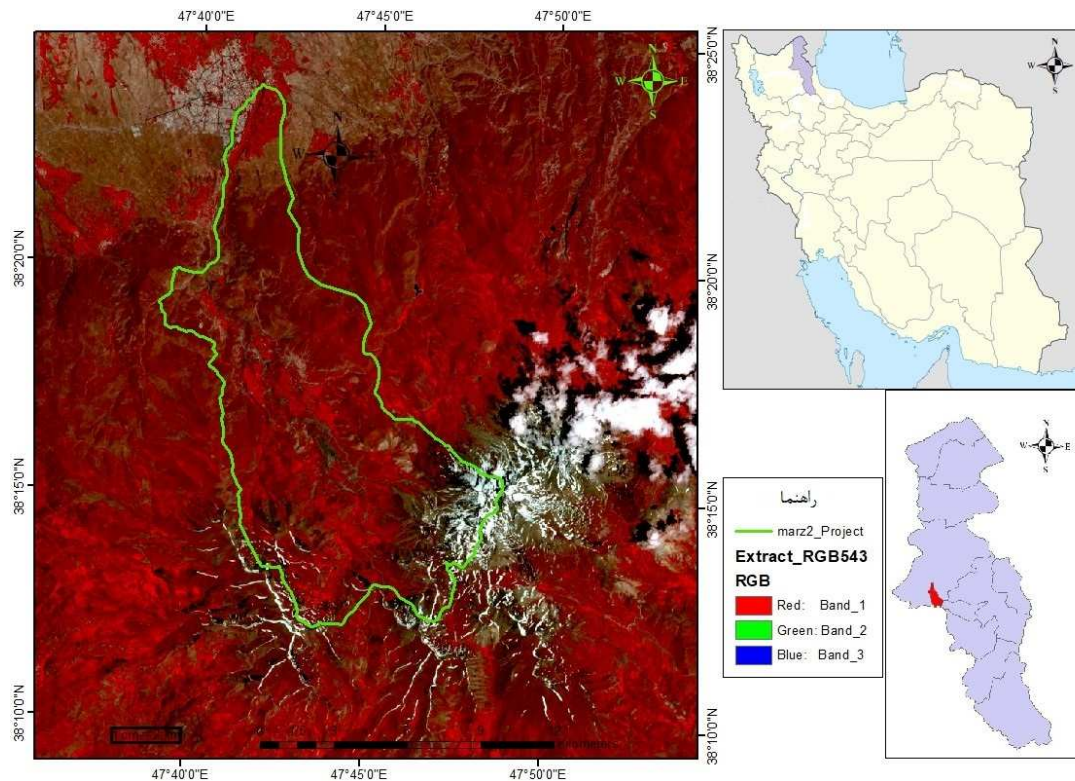
برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره لندست-۵ با سنجنده TM و لندست-۸ با سنجنده OLI-TIRS استفاده شد. تصاویر مورد نظر از تارنمای سازمان زمین‌شناسی امریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov>) و در سطح تصحیحاتی LIT درخواست و تهیه شد. مشخصات تصاویر مورد نظر در جدول ۱ آمده است. همچنین مدل رقومی ارتفاع، با قدرت تفکیک مکانی سی متر و نرم‌افزارهای ArcGIS 10.2 و IDRISI TerrSet به کار رفت. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، به‌منظور آشکارسازی روند تغییرات و نیز پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، در چند گام اساسی انجام می‌شود: (۱) تهیه نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های گوناگون، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای؛ (۲) بررسی و تحلیل تغییرات پوشش اراضی، طی سال‌های گوناگون؛ (۳) شبیه‌سازی تغییرات با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و تولید تصاویر احتمال شرطی، ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال؛ (۴) ترکیب مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار و در نهایت، تولید نقشه پوشش اراضی برای سال مورد انتظار؛ (۵) تعیین اعتبار و ارزیابی صحت مدل‌سازی بین نقشه پیش‌بینی شده در زمانی خاص با نقشه واقعی مختص همان زمان.

تغییرات کاربری اراضی، تبدیلات و یا تخریب آن‌ها طی سال‌های گذشته و همچنین پیش‌بینی آینده این تغییرات و تبدیلات، در مناطق گوناگون، از اقدامات مهم و درخور توجه است که می‌تواند در جلوگیری از وقوع تغییرات بدون برنامه و غیراصولی مؤثر باشد و استفاده مطلوب از منابع طبیعی را دربر داشته باشد. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه همه‌ساله دستخوش حوادث محیطی مانند سیل می‌شود، پژوهش حاضر هم تغییرات و تبدیلات روی داده در کاربری اراضی، طی سال‌های گذشته را بررسی می‌کند و در تهیه نقشه پیش‌بینی آینده این تغییرات در منطقه مورد مطالعه، با کمک تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، به کار می‌آید و هم می‌تواند راهنما و راهگشایی مهم برای برنامه‌ریزان آمایش سرزمین و بهره‌برداران باشد تا، با استفاده از آن، هرگونه تغییر و بهره‌برداری در منطقه براساس چارچوب اصولی و علمی انجام شود؛ بلکه بتوان از بروز خسارات و حوادث جبران‌ناپذیر محیطی جلوگیری کرد و یا آن‌ها را کاهش داد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه خیاوچای با وسعت تقریبی ۱۲۹۵۰ هکتار، در زون ۳۹ شمالی و در حاشیه شمال غرب کوه سبلان، در جنوب شهرستان مشگین‌شهر استان اردبیل قرار دارد. مختصات جغرافیایی آن ۴۷ درجه، ۳۷ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۴۸ درجه، ۴۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه، ۱۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۳۸ درجه، ۲۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه عرض شمالی است و با حداکثر ارتفاع ۴۵۶۰ متر از سطح دریا، در محل قله کسری در ارتفاعات جنوبی و حداقل ارتفاع ۱۳۶۴ متر از سطح دریا، در محل خروجی حوضه واقع شده است (Najirad et al., 2017). روستای موئیل و سایر مناطق اطراف آن، از جمله خیاوچای، از نظر زمین‌شناسی به دوره ائوسن تعلق دارند. شهرستان مشگین‌شهر به دلیل استقرار در پهنه شمال غرب کشور،



شکل ۱. موقعیت حوضه خیابوچای در تصویر ماهواره لندست- ۸

جدول ۱. ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	نوع سنجنده	اندازه پیکسل	تعداد باند	شماره فریم (ردیف و گذر)
۱	۱۹۸۹/۰۷/۰۱	۱۳۶۸/۰۴/۱۰	لندست- ۵	TM	۳۰	۸	۱۶۷-۳۳
۲	۲۰۰۷/۰۶/۱۷	۱۳۸۶/۰۳/۲۷	لندست- ۵	TM	۳۰	۸	۱۶۷-۳۳
۳	۲۰۲۳/۰۶/۲۹	۱۴۰۲/۰۴/۰۸	لندست- ۸	OLI-TIRS	۱۵، ۳۰ و ۱۰۰	۱۱	۱۶۷-۳۳

۲-۳- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

برای تهیه نقشه کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره لندست- ۵ و ۸ و نیز بازدید میدانی و تصاویر گوگل ارث استفاده شده است.

۲-۳-۱- پیش‌پردازش و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای

در این مرحله، تصاویر به دلیل وجود خطاهای هندسی، رادیومتریکی، اتمسفری و توپوگرافی، بررسی شدند.

منظور از تصحیح هندسی تصویر، تغییر سیستم مختصات اجزای سازنده آن است (Zubiri & Majd, 2008). از آنجاکه تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در سطح تصحیحات LIT هستند و این سطح از تصاویر، به لحاظ هندسی، تصحیح شده‌اند، به تصحیح هندسی نیاز نداشتند. همچنین به علت کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه، فرایند تصحیح توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع این منطقه انجام شد (Esmacili & Negahban, 2021).

یکسان است. $|\sum i|$ دترمینان ماتریس کوواریانس داده‌ها در کلاس w_i ، $\sum xi^{-1}$ ماتریس معکوس آن و mi نیز بردار میانگین است.

۲-۳-۴- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

با توجه به اینکه ارزیابی دقت طبقه‌بندی انجام شده از ضروریات پژوهش است، معمول‌ترین عامل‌های برآورد دقت و صحت شامل دقت کلی و ضریب کاپا می‌شود. رایج‌ترین روش تحلیل، به‌منظور ارزیابی دقت، استفاده از ماتریس خطا^۲ است. با استفاده از این ماتریس، دو گروه داده که یکی نشان‌دهنده کلاس‌های حاصل از طبقه‌بندی و دیگری مربوط به داده زمینی یا مرجع است، با هم مقایسه می‌شوند. همچنین می‌توان به ماهیت دو گروه خطای حذف‌شده^۳ و خطای اضافه‌شده^۴ پی برد. خطای حذف‌شده بدین معنی است که مجموعه‌ای از پیکسل‌ها باید در کلاسی خاص طبقه‌بندی می‌شدند اما طبقه‌بندی‌کننده آن‌ها را در کلاس دیگری قرار داده است. خطای اضافه‌شده نیز بیانگر آن است که مجموعه‌ای پیکسل به کلاسی خاص تعلق ندارند اما طبقه‌بندی‌کننده آن‌ها را در این کلاس قرار داده است. ضریب کاپا طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Chavez, 1996).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k X_{ij} - \sum_{i=1}^k (X_i + X_j)}{N^2 - \sum_{i=1}^k (X_i + X_j)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

N تعداد کل پیکسل‌های نمونه مرجع یا واقعیت زمینی، X_i مجموع عناصر سطر i ام و X_j مجموع عناصر ستون j ام (تعداد کاربری) است.

۳- مدل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف ابزار مناسبی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی است. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی از دوره‌ای به دوره‌ای دیگر را بیان می‌کند؛

۲-۳-۲- تهیه نمونه‌های تعلیمی و ایجاد امضای طیفی^۱ نمونه‌های تعلیمی را می‌توان براساس بازدیدهای میدانی، تصاویر گوگل ارث، عکس‌های هوایی و همچنین ایجاد ترکیب رنگی کاذب روی تصاویر، که با استفاده از آن پوشش گیاهی تفکیک می‌شود، تهیه کرد. در این مطالعه، انواع کاربری/پوشش اراضی براساس بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث، شناسایی شد که شامل مناطق شهری، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، خاک لخت، مرتع و پوشش برفی می‌شود. سپس با استفاده از تصویر رنگی کاذب (شکل ۱) و ابزارهای نمونه‌گیری در نرم‌افزار ادریسی، نمونه‌های تعلیمی تهیه شد. پس از تهیه نمونه‌های تعلیمی، با استفاده از ترکیب این نمونه‌ها و باندهای تصویر، امضای طیفی تهیه شد (آرخی و اصفهانی، ۱۳۹۳).

۲-۳-۳- طبقه‌بندی تصاویر

از طریق این فرایند، پیکسل‌هایی که ویژگی‌های طیفی مشابه دارند، با رنگ خاصی برای هر کلاس، مشخص می‌شوند. روش‌های طبقه‌بندی از پرکاربردترین شیوه‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای است و با توجه به تنوعی که دارند، به کاربران امکان تولید انواع گوناگون اطلاعات را می‌دهند. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال تا کنون به‌منزله دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین شیوه شناخته شده است که در این پژوهش نیز، به کار رفت (Esmaili & Negahban, 2021). این روش درجه عضویت هر پیکسل به هر کلاس را با تابع توزیع احتمال چندمتغیری، بررسی می‌کند و سلول را به کاربری با بالاترین احتمال عضویت، براساس رابطه (۱)، اختصاص می‌دهد (Ghodousi et al., 2020).

$$gi(x) = \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |\sum i| - \frac{1}{2} (x - mi)^T \sum xi^{-1} (x - mi) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله، i نشان‌دهنده هر کلاس کاربری و X داده n بعدی است (n تعداد باندهاست). پارامتر $p(w_i)$ این احتمال را محاسبه می‌کند که کلاس w_i در تصویر وجود داشته باشد، و فرض شده که مقدار آن برای همه کلاس‌ها

1. Signature
2. Error Matrix
3. Omission Error
4. Commission Error

دستور Validate در نرم‌افزار ادیسی و براساس مقدار شاخص کاپا، با نقشه واقعی سال ۲۰۲۳ مقایسه شد تا بدین طریق میزان صحت پیش‌بینی مدل برآورد شود.

۴- نتایج

۴-۱- طبقه‌بندی تصاویر براساس کلاس‌های کاربری اراضی

در ادامه، از ترکیب باندهای ۳، ۴ و ۵ تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ منطقه مورد مطالعه، تصویر رنگی کاذب تهیه و سپس با استفاده از روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی، نقشه کاربری اراضی استخراج شد (شکل ۲). با توجه به جدول ۲، مشخص شد که بیشترین مساحت متعلق به کاربری‌های مرتع، خاک لخت و کشاورزی دیم است. ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ماتریس خطا بررسی شد و ضریب کاپای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به ترتیب، برابر ۰/۷۲، ۰/۸۳ و ۰/۸۸ و دقت کلی سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به ترتیب، برابر با ۸۲/۸۷، ۸۸/۴۰ و ۹۲/۳۲ به دست آمد (جدول ۳). طبق نتایج، می‌توان بیان کرد که طبقه‌بندی تصاویر دقت مطلوبی داشته است.

۴-۲- بررسی و آنالیز تغییرات پوشش اراضی طی

دوره‌های گوناگون

پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، دستور crosstab برای آشکارسازی تغییرات به کار رفت. این دستور تعداد پیکسل‌هایی را نشان می‌دهد که از یک کاربری به کاربری دیگر تبدیل شده‌اند، و نیز تعداد پیکسل‌هایی را که طی دو دوره زمانی ۱۹۸۹-۲۰۰۷ و ۲۰۰۷-۲۰۲۳ بدون تغییر باقی مانده‌اند (شکل ۳). مساحت حاصل از تغییرات و تبدیلات هریک از کاربری‌ها به سایر کاربری‌ها در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است.

همچنین تصاویر طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی را تحلیل و خروجی‌ای به صورت ماتریس احتمالی تغییرات و تصویری خروجی از ماتریس احتمالی تغییرات برای سال افق ارائه می‌دهد. مشکل اساسی زنجیره مارکوف، در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی، به دست‌ندادن اطلاعات مکانی در مدل‌سازی است؛ به عبارت دیگر، نقشه‌های تولیدشده دارای وابستگی اطلاعات مکانی نیستند. بدین ترتیب برای افزودن عنصر مکانی به مدل، از مدل سلول‌های خودکار استفاده شد (Esmaeili & Negahban, 2021). در واقع، این مدل تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی است. مدل نام‌برده، به دلیل داشتن ماهیت دینامیک و همچنین ویژگی‌های منحصر به فرد در مدل‌سازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی دارد. نظریه زنجیره مارکوف بدین صورت است:

$$VT2=MVT1 \quad (3)$$

VT1 بردار پوشش زمین در زمان اول، VT2 بردار پوشش زمین در زمان دوم و M ماتریس احتمال انتقال $m \times m$ برای فاصله زمانی $\Delta T = T2 - T1$ است. احتمال انتقال بین دو دوره (P_{ij}) طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (4)$$

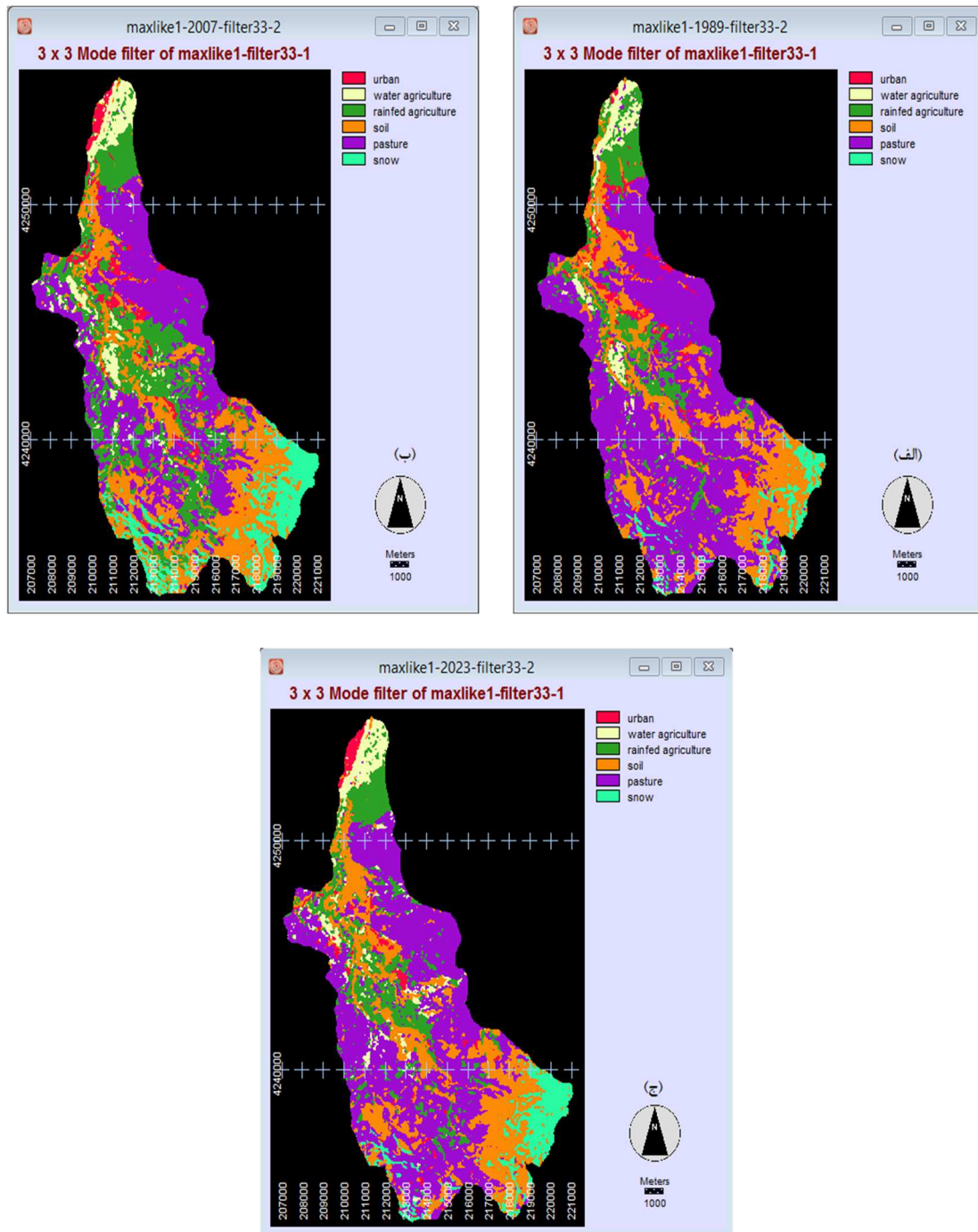
در این معادله، n_{ij} برابر است با

$$n_i = \sum_{j=1}^q n_{ij} \quad (5)$$

n_{ij} تعداد پیکسل‌های کلاس i از زمان اول است که به کلاس j در زمان دوم تبدیل شده‌اند و q کل تعداد کلاس‌هاست.

۳-۱- ارزیابی صحت مدل‌سازی

نقشه پیش‌بینی‌شده حاصل از ترکیب مدل مارکوف و سلول‌های خودکار، متعلق به سال ۲۰۲۳، با استفاده از



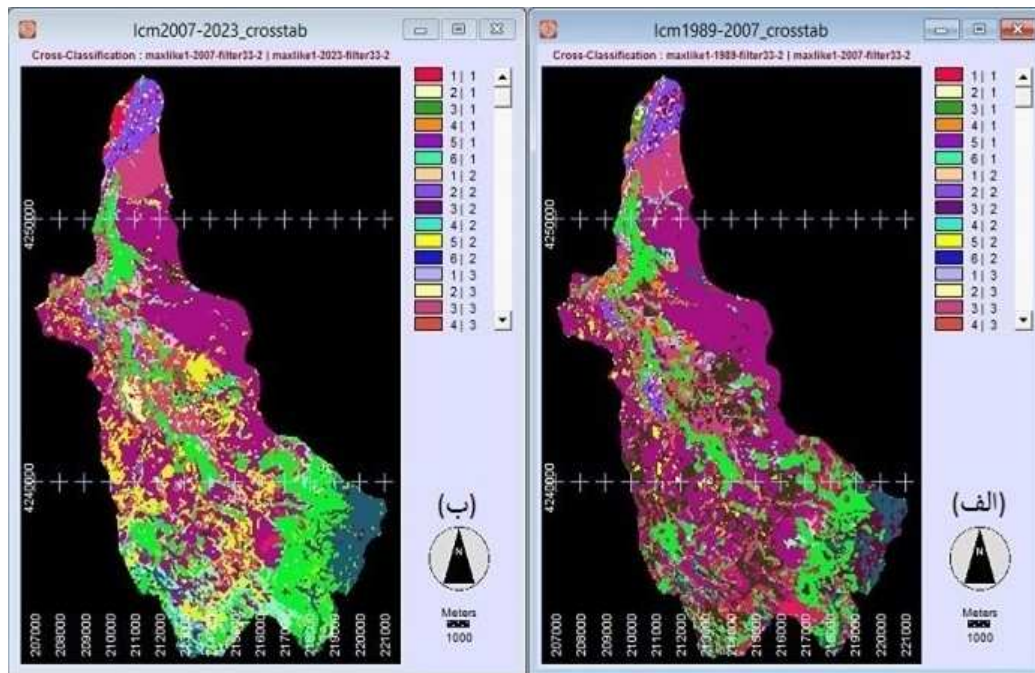
شکل ۲. تصویر طبقه‌بندی‌شده سال ۱۹۸۹ (الف)؛ تصویر طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۰۷ (ب)؛ تصویر طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۲۳ (ج)

جدول ۲. مساحت هریک از کلاس‌های کاربری اراضی

نوع کاربری	سال		۱۹۸۹		۲۰۰۷		۲۰۲۳	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
مناطق شهری	۴۹۰/۵۹	۳/۷۸۶	۵۳۵/۲۳	۴/۱۳۰	۳۳۷/۳۲	۲/۶۰۳	۳۳۷/۳۲	۲/۶۰۳
کشاورزی آبی	۴۶۱/۶۱	۳/۵۶۲	۷۱۴/۰۶	۵/۵۱۱	۷۱۳/۲۵	۵/۵۰۴	۷۱۳/۲۵	۵/۵۰۴
کشاورزی دیم	۱۵۲۸/۴۷	۱۱/۷۹۶	۳۰۲۹/۹۴	۲۳/۳۸۵	۱۸۱۷/۲۸	۱۴/۰۲۵	۱۸۱۷/۲۸	۱۴/۰۲۵
خاک لخت	۳۲۱۸/۹۴	۲۴/۸۴۴	۳۲۳۷/۸۴	۲۴/۹۸۹	۳۲۸۵/۹۰	۲۵/۳۶۰	۳۲۸۵/۹۰	۲۵/۳۶۰
مرتع	۶۷۹۰/۲۳	۵۲/۴۰۷	۴۲۰۸/۴۹	۳۲/۴۸۱	۵۹۳۱/۳۶	۴۵/۷۷۸	۵۹۳۱/۳۶	۴۵/۷۷۸
برف	۴۶۶/۷۴	۳/۶۰۲	۱۲۳۱/۰۲	۹/۵۰۱	۸۷۱/۴۷	۶/۷۲۶	۸۷۱/۴۷	۶/۷۲۶
جمع کل	۱۲۹۵۶/۵۸	۱۰۰	۱۲۹۵۶/۵۸	۱۰۰	۱۲۹۵۶/۵۸	۱۰۰	۱۲۹۵۶/۵۸	۱۰۰

جدول ۳. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر

سال	ضریب کاپا	دقت کلی (%)
۱۹۸۹	۰/۷۲	۸۲/۸۷
۲۰۰۷	۰/۸۳	۸۸/۴۰
۲۰۲۳	۰/۸۸	۹۲/۳۲



شکل ۳. نقشه تغییرات و تبدیلات کاربری‌ها به یکدیگر: طی دوره زمانی ۱۹۸۹-۲۰۰۷ (الف)؛ طی دوره زمانی ۲۰۰۷-۲۰۲۳ (ب)

جدول ۴. مساحت تغییرات و تبدیلات هریک از کاربری‌های اراضی به سایر کاربری‌ها، طی دوره زمانی ۱۹۸۹-۲۰۰۷

کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه											
شناسه ۱		شناسه ۲		شناسه ۳		شناسه ۴		شناسه ۵		شناسه ۶	
مناطق شهری		کشاورزی آبی		کشاورزی دیم		خاک لخت		مرتع		برف	
تغییرات کاربری‌های اراضی به یکدیگر براساس شناسه‌های کاربری اراضی											
تغییرات		میزان تغییرات		تغییرات		میزان تغییرات		تغییرات		میزان تغییرات	
ردیف	کلاس‌های کاربری	هکتار	درصد	ردیف	کلاس‌های کاربری	هکتار	درصد	ردیف	کلاس‌های کاربری	هکتار	درصد
۱	۱ ۱	۱۱۹/۷۰	۰/۹۲	۱۲	۳ ۲	۵۰/۳۱	۰/۳۸	۲۳	۵ ۱	۱۱۹/۹۷	۰/۹۲
۲	۱ ۲	۲۰/۷۹	۰/۱۶	۱۳	۳ ۳	۱۰۳۹/۰۵	۸/۰۱	۲۴	۵ ۲	۲۴/۳۰	۰/۱۸
۳	۱ ۳	۸۲/۷۱	۰/۶۳	۱۴	۳ ۴	۳۲۹/۴۰	۲/۵۴	۲۵	۵ ۳	۸۱/۳۶	۰/۶۲
۴	۱ ۴	۲۰۹/۱۶	۱/۶۱	۱۵	۳ ۵	۱۴۳۲/۱۷	۱۱/۰۵	۲۶	۵ ۴	۱۵۲/۹۱	۱/۱۸
۵	۱ ۵	۱۰۲/۸۷	۰/۷۹	۱۶	۳ ۶	۰/۵۴	۰/۰۰۴	۲۷	۵ ۵	۳۸۲۹/۹۵	۲۹/۵۵
۶	۲ ۱	۲/۹۷	۰/۰۲	۱۷	۴ ۱	۶۷/۶۸	۰/۵۲	۲۸	۶ ۱	۱/۸	۰/۰۱
۷	۲ ۲	۳۵۴/۴۲	۲/۷۳	۱۸	۴ ۲	۱۱/۷۹	۰/۰۹	۲۹	۶ ۳	۱۷/۳۷	۰/۱۳
۸	۲ ۳	۱۸۱/۷۱	۱/۴۰	۱۹	۴ ۳	۱۲۶/۲۷	۰/۹۷	۳۰	۶ ۴	۴۹۶/۵۳	۳/۸۳
۹	۲ ۴	۶/۲۱	۰/۰۴	۲۰	۴ ۴	۲۰۲۴/۷۳	۱۵/۶۲	۳۱	۶ ۵	۲۵۷/۳۱	۱/۹۸
۱۰	۲ ۵	۱۶۸/۷۵	۱/۳۰	۲۱	۴ ۵	۹۹۹/۱۸	۷/۷۱	۳۲	۶ ۶	۴۵۸/۰۱	۳/۵۳
۱۱	۳ ۱	۱۸۷/۴۷	۱/۳۷	۲۲	۴ ۶	۸/۱۹	۰/۰۶	--	--	--	--

جدول ۵. مساحت تغییرات و تبدیلات هریک از کاربری‌های اراضی به سایر کاربری‌ها، طی دوره زمانی ۲۰۰۷-۲۰۲۳

کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه											
شناسه ۱		شناسه ۲		شناسه ۳		شناسه ۴		شناسه ۵		شناسه ۶	
مناطق شهری		کشاورزی آبی		کشاورزی دیم		خاک لخت		مرتع		برف	
تغییرات کاربری‌های اراضی به یکدیگر براساس شناسه‌های کاربری اراضی											
تغییرات		میزان تغییرات		تغییرات		میزان تغییرات		تغییرات		میزان تغییرات	
ردیف	کلاس‌های کاربری	هکتار	درصد	ردیف	کلاس‌های کاربری	هکتار	درصد	ردیف	کلاس‌های کاربری	هکتار	درصد
۱	۱ ۱	۱۲۳/۱۲	۰/۹۵	۱۲	۲ ۶	۱/۹۸	۰/۰۱۵	۲۳	۴ ۵	۲۱۶/۶۳	۱/۶۷
۲	۱ ۲	۱۴/۰۴	۰/۱۰	۱۳	۳ ۱	۱۱۱/۷۸	۰/۸۶	۲۴	۴ ۶	۲۵۱/۳۷	۱/۹۴
۳	۱ ۳	۵۳/۹۱	۰/۴۱	۱۴	۳ ۲	۱۸۲/۶۱	۱/۴۰	۲۵	۵ ۱	۶۱/۸۳	۰/۴۷
۴	۱ ۴	۱۰۳/۸۶	۰/۸۰	۱۵	۳ ۳	۱۲۸۲/۳۲	۹/۸۹	۲۶	۵ ۲	۱۲۳/۳۰	۰/۹۵
۵	۱ ۵	۲۳/۹۴	۰/۱۸	۱۶	۳ ۴	۹۵/۹۴	۰/۷۴	۲۷	۵ ۳	۱۲۶۵/۵۸	۹/۷۶
۶	۱ ۶	۱۸/۴۵	۰/۱۴	۱۷	۳ ۵	۱۴۳/۵۵	۱/۱۰	۲۸	۵ ۴	۶۲۴/۶۹	۴/۸۲
۷	۲ ۱	۱۶/۹۲	۰/۱۳	۱۸	۳ ۶	۱/۰۸	۰/۰۰۸	۲۹	۵ ۵	۳۷۰۴/۰۴	۲۸/۵۸
۸	۲ ۲	۳۸۳/۰۴	۲/۹۵	۱۹	۴ ۱	۲۲۱/۵۸	۱/۷۱	۳۰	۵ ۶	۱۵۱/۹۲	۱/۱۷
۹	۲ ۳	۱۳۶/۸۰	۱/۰۵	۲۰	۴ ۲	۱۱/۰۷	۰/۰۸	۳۱	۶ ۳	۰/۷۲	۰/۰۰۵
۱۰	۲ ۴	۵۴/۱۸	۰/۴۱	۲۱	۴ ۳	۲۹۰/۶۱	۲/۲۴	۳۲	۶ ۴	۶۴/۵۳	۰/۴۹
۱۱	۲ ۵	۱۲۰/۳۳	۰/۹۲	۲۲	۴ ۴	۲۲۹۴/۶۴	۱۷/۷۱	۳۳	۶ ۶	۸۰۶/۲۲	۶/۲۲

۴-۳- پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی درمورد

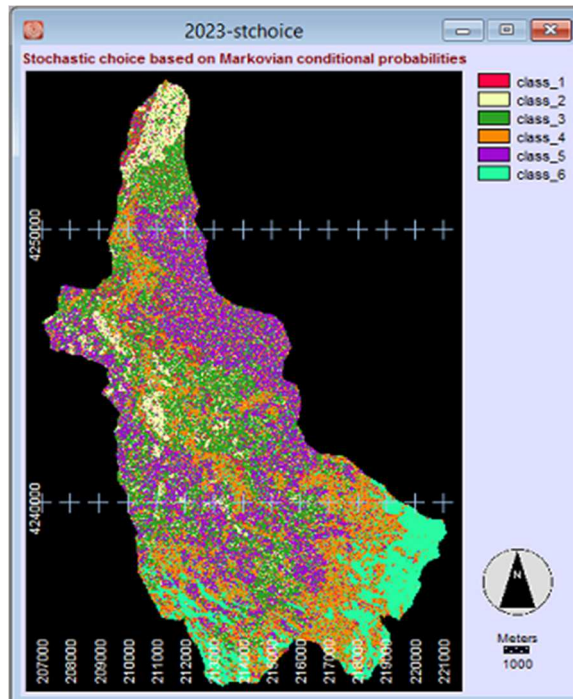
سال ۲۰۲۳

برای تولید نقشه پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۲۳، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۷ به‌منزله نقشه‌های پایه و پیشرو وارد مدل زنجیره مارکوف شد تا فرایند پیش‌بینی تغییرات کاربری سال ۲۰۲۳ انجام شود. پس از مدل‌سازی، تصاویر احتمال شرطی، ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها تولید شد (جدول ۶). در نهایت، با استفاده از ابزار STCHOICE، نقشه پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۳ استخراج شد (شکل ۴).

بررسی تغییرات کاربری اراضی، در منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که طی بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷، مساحت ۱۱۹/۷ هکتار از کاربری شهری، ۳۵۴/۴۲ هکتار از کاربری کشاورزی آبی، ۱۰۳۹/۰۵ هکتار از کاربری کشاورزی دیم، ۲۰۲۴/۷۳ هکتار از کاربری خاک لخت، ۳۸۲۹/۹۵ هکتار از کاربری مرتع و ۴۵۸/۰۱ هکتار از پوشش برفی بدون تغییر مانده است. همچنین طی بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳، مساحت ۱۲۳/۱۲ هکتار از کاربری شهری، ۳۸۳/۰۴ هکتار از کاربری کشاورزی آبی، ۱۲۸۲/۳۲ هکتار از کاربری کشاورزی دیم، ۲۲۹۴/۶۴ هکتار از کاربری خاک لخت، ۳۷۰۴/۰۴ هکتار از کاربری مرتع و ۸۰۶/۲۲ هکتار از پوشش برفی تغییری نداشته است.

جدول ۶. ماتریس احتمال انتقال متعلق به سال ۲۰۲۳

نوع کاربری	مناطق شهری	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	خاک لخت	مرتع	برف
مناطق شهری	۰/۲۹۸۲	۰/۰۰۳۲	۰/۳۳۹۴	۰/۱۲۷۰	۰/۲۳۰۵	۰/۰۰۱۷
کشاورزی آبی	۰/۰۴۱۷	۰/۷۹۰۲	۰/۰۹۸۲	۰/۰۲۲۳	۰/۰۴۷۶	۰/۰۰۰۰
کشاورزی دیم	۰/۰۵۰۴	۰/۱۰۸۸	۰/۷۰۷۷	۰/۰۷۵۳	۰/۰۴۸۱	۰/۰۰۹۶
خاک لخت	۰/۰۶۱۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۹۲۸	۰/۶۶۲۱	۰/۰۴۳۱	۰/۱۳۹۹
مرتع	۰/۰۱۳۳	۰/۰۲۱۷	۰/۱۹۴۲	۰/۱۳۵۶	۰/۶۰۱۹	۰/۰۳۳۳
برف	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۱۵۸	۰/۰۰۰۰	۰/۹۸۳۲



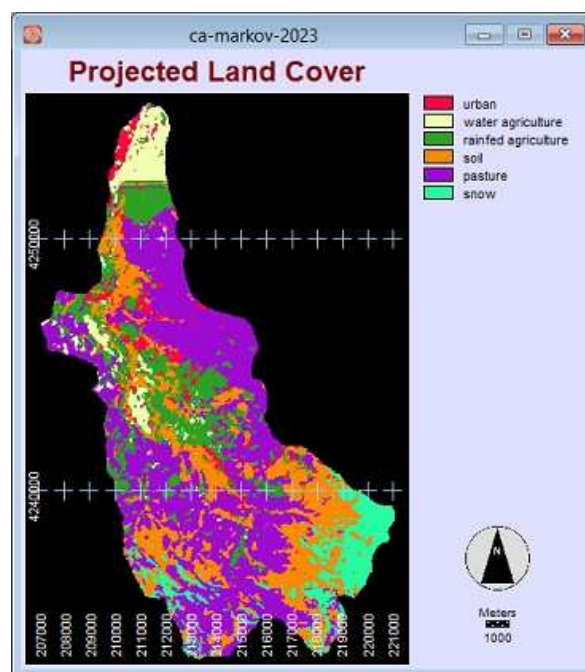
شکل ۴. نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۳، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف

۴-۴- ترکیب مدل زنجیره مارکوف و مدل سلول‌های خودکار

این دو مدل با هم ترکیب و نقشه کاربری اراضی پایه متعلق به سال ۱۹۸۹، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی معرفی و در نتیجه، نقشه پیش‌بینی متعلق به سال ۲۰۲۳، به همراه مؤلفه مکانی تولید شد (شکل ۵). با توجه به جدول ۷، کاربری‌های شهری ۴/۳٪، کشاورزی آبی ۵/۷٪، کشاورزی دیم ۱۵/۷٪، خاک لخت ۲۳/۲٪، مرتع ۴۲/۹٪ و پوشش برفی ۲/۸٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند.

۴-۵- ارزیابی صحت مدل‌سازی و تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سه دهه آینده

نتایج ارزیابی صحت مدل نشان داد که توافق، بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی، برابر ۰/۸۴ و نبود توافق، بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی، برابر ۰/۱۶ و ضریب کاپا برابر با ۰/۸۸ است؛ این نکته بیانگر توانمندی تقریباً چشمگیر مدل در انجام‌دادن فرایند پیش‌بینی تغییرات است (جدول ۸).



شکل ۵. نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳، با استفاده از ترکیب مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

جدول ۷. مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳

ردیف	کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۱	مناطق شهری	۵۵۱/۰۷	۴/۳٪
۲	کشاورزی آبی	۷۳۵/۲۱	۵/۷٪
۳	کشاورزی دیم	۲۰۲۷/۲۵	۱۵/۷٪
۴	خاک لخت	۳۰۱۳/۹۲	۲۳/۲٪
۵	مرتع	۵۵۵۹/۰۳	۴۲/۹٪
۶	برف	۱۰۷۰/۱۰	۲/۸٪
	مجموع	۱۲۹۵۶/۵۸	۱۰۰٪

جدول ۸. وجود توافق و نبود توافق بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی سال ۲۰۲۳

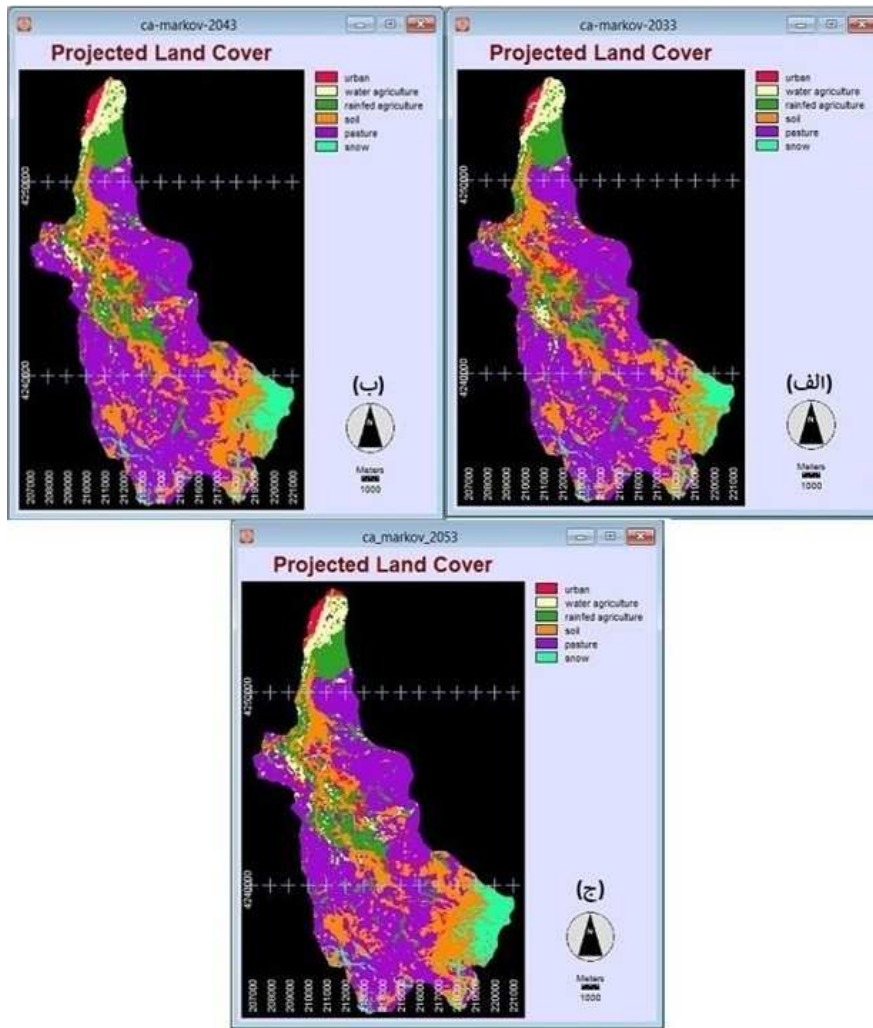
مقادیر	پارامترها
۰/۸۴	توافق بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی M(m)
۰/۱۶	نبود توافق (1- M(m))
۰/۱۴	توافق ناشی از شانس N(n)
۰/۲۹	توافق ناشی از کمیت (N(m)- N(n))
۰/۰۸	نبود توافق ناشی از کمیت (P(p)- P(m))
۰/۴۰	توافق مکان کلاس‌ها در دو نقشه پیش‌بینی شده و واقعی
۰/۰۷	توافق نداشتن مکان کلاس‌ها در دو نقشه پیش‌بینی شده و واقعی
۰/۸۸	شاخص کاپا

در نهایت، پس از اطمینان از دقت پیش‌بینی مدل و صحت نتایج به‌دست‌آمده، نقشه کاربری اراضی متعلق به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ وارد مدل شد و نقشه کاربری اراضی، برای سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳، پیش‌بینی شد (شکل ۶). در پی مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ با سال ۲۰۲۳ مشخص شد که در سه دهه آینده به‌ترتیب، کاربری شهری با

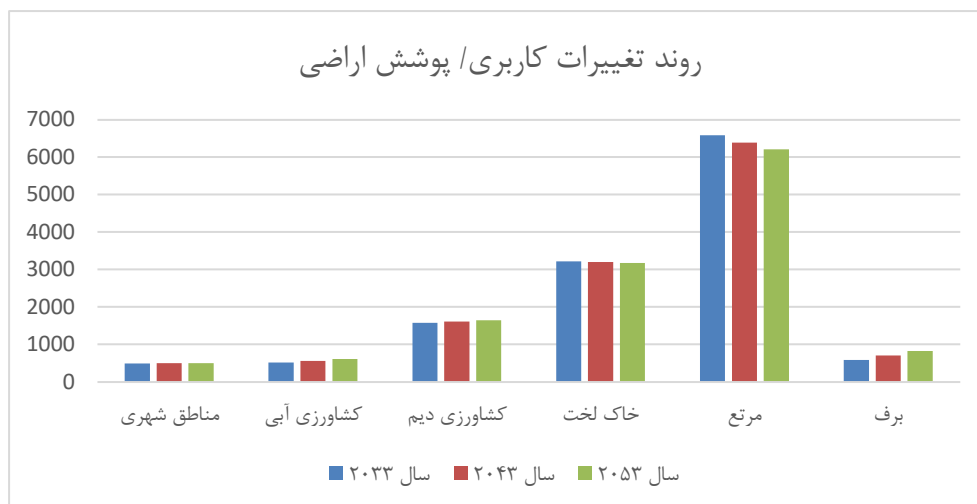
در نهایت، پس از اطمینان از دقت پیش‌بینی مدل و صحت نتایج به‌دست‌آمده، نقشه کاربری اراضی متعلق به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ وارد مدل شد و نقشه کاربری اراضی، برای سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳، پیش‌بینی شد (شکل ۶). در پی مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ با سال ۲۰۲۳ مشخص شد که در سه دهه آینده به‌ترتیب، کاربری شهری با

جدول ۹. مساحت کاربری‌ها در نقشه‌های پیش‌بینی شده

نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۳۳				
ردیف	کاربری	مساحت (هکتار)	درصد تغییرات در قیاس با سال ۲۰۲۳	روند تغییرات در قیاس با سال ۲۰۲۳
۱	مناطق شهری	۴۹۲/۳۹	٪۴۵/۹	افزایشی
۲	کشاورزی آبی	۵۱۳/۸۱	٪۲۷/۹	کاهشی
۳	کشاورزی دیم	۱۵۷۲/۵۷	٪۱۳/۴	کاهشی
۴	خاک لخت	۳۲۱۲/۶۴	٪۲/۲	کاهشی
۵	مرتع	۶۵۸۰/۵۳	٪۱۰/۹	افزایشی
۶	برف	۵۸۴/۶۴	٪۳۲/۹	کاهشی
نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۴۳				
۱	مناطق شهری	۴۹۵/۷۲	٪۴۶/۹	افزایشی
۲	کشاورزی آبی	۵۶۲/۴۱	٪۲۱/۱	کاهشی
۳	کشاورزی دیم	۱۶۱۳/۰۷	٪۱۱/۲۳	کاهشی
۴	خاک لخت	۳۱۹۹/۴۱	٪۲/۶	کاهشی
۵	مرتع	۶۳۸۴/۰۶	٪۷/۶	افزایشی
۶	برف	۷۰۱/۹۱	٪۱۹/۴	کاهشی
نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۵۳				
۱	مناطق شهری	۴۹۷/۶۱	٪۴۷/۵	افزایشی
۲	کشاورزی آبی	۶۰۶/۶۹	٪۱۴/۹	کاهشی
۳	کشاورزی دیم	۱۶۴۷/۲۷	٪۹/۳	کاهشی
۴	خاک لخت	۳۱۷۵/۳۸	٪۳/۳	کاهشی
۵	مرتع	۶۲۰۲/۶۲	٪۴/۵	افزایشی
۶	برف	۸۲۷/۰۱	٪۵/۱	کاهشی



شکل ۶. نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۳۳ (الف)؛ نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۴۳ (ب)؛ نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۵۳ (ج)



شکل ۷. رشد تغییرات کاربری / پوشش اراضی

۵- بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در حوضه خیاوچای مشکین‌شهر، طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳، به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی انجام شده و برای این منظور، از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI-TIRS ماهواره لندست-۵ و ۸ استفاده شده است زیرا این ماهواره‌ها توان تفکیک مکانی و زمانی مناسبی دارند و علاوه بر آن، رایگان‌اند. پس از تصحیحات لازم روی تصاویر، نقشه‌های تغییرات کاربری تهیه و پیش‌بینی درمورد آینده تغییرات انجام شد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که طی سه دهه آینده (۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳) و در قیاس با سال ۲۰۲۳، به ترتیب، کاربری شهری با $۴۵/۹\%$ ، $۴۶/۹\%$ و $۴۷/۵\%$ و کاربری مرتع با $۱۰/۹\%$ ، $۷/۶\%$ و $۴/۵\%$ دارای روندی کاهشی خواهند بود؛ همچنین کاربری‌های کشاورزی آبی با $۲۷/۹\%$ ، $۲۱/۱\%$ و $۱۴/۹\%$ ، کشاورزی دیم با $۱۳/۴\%$ ، $۱۱/۲۳\%$ و $۹/۳\%$ ، خاک لخت با $۲/۲\%$ ، $۲/۶\%$ و $۳/۳\%$ ، روندی افزایشی و پوشش برفی با $۳۲/۹\%$ ، $۱۹/۴\%$ و $۵/۱\%$ روندی کاهشی خواهند داشت. در این زمینه، قربانی^۱ و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات کاربری اراضی در استان اردبیل را ارزیابی کردند و دریافتند که طی بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۴، مهم‌ترین تغییرات رخ داده در منطقه شامل این موارد است: تبدیل مراتع به دیم‌زار (برابر با $۱۳/۸\%$ ، در حدود $۱۴۱۷۹۴/۲$ هکتار) و اراضی کشت آبی (برابر $۴/۸\%$ ، حدود $۴۹۸۳۶/۹$ هکتار)، تبدیل زراعت آبی به دیم (برابر با $۷/۷\%$ ، در حدود $۱۱۴۶۴/۸$ هکتار) و تبدیل جنگل به مرتع (برابر با $۶/۱\%$ ، در حدود $۱۰۵۹/۹$ هکتار). رئوف^۲ و همکاران (۲۰۲۴) بیان کردند که اثر تغییر شماره منحنی در دبی‌های حداکثر سیلاب، طی دوره بازگشت اندک، به مراتب بیشتر از دوره بازگشت زیاد است؛ به نحوی که در دوره بازگشت صدساله، با افزایش ۲۵% شماره منحنی، دبی حداکثر سیلاب $۶/۳۸$ برابر شده و از دیدگرسو، در دوره‌های بازگشت دوساله، دبی حداکثر ۶۳ برابر افزایش داشته است. نتایج حاکی از آن است که کمترین تغییر، در نوع کاربری، باعث افزایش شدید دبی سیلاب در حوضه خیاوچای می‌شود. عابدینی و پاسبان^۳

(۲۰۲۴)، طی واکاوی ارتباط بین دمای سطح زمین با کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی در حوضه آبخیز خیاوچای، نتیجه گرفتند که میانگین دمای سطح زمین در خرداد ۱۳۸۱، با بیشینه دمای $۳۸/۷۱$ درجه سانتی‌گراد، در بخش‌های شمالی خیاوچای به وقوع پیوسته و کمینه دما در نواحی جنوبی، با متوسط دمای $۱۵/۸۷$ درجه سانتی‌گراد، رخ داده است. از طرفی، وضعیت میانگین دمای خرداد ۱۴۰۱ نشان داد که هسته حرارت گرمایی تقریباً در عرض‌های بالاتر متمرکز شده است که رابطه مستقیمی با شاخص پوشش گیاهی دارد. همچنین براساس نتایج، تخریب پوشش گیاهی در نواحی شمالی خیاوچای و محدود شدن آن به عرض‌های پایین سبب تمرکز حرارت گرمایی در بخش‌های شمالی حوضه مذکور شده است. مصطفی‌زاده^۴ و همکاران (۲۰۲۱)، با ارزیابی پویایی تغییرات کاربری اراضی در منطقه خیاوچای طی بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶، نتیجه گرفتند بیشترین تغییر در کاربری اراضی به مناطق مسکونی و با میزان پویایی $۷/۹۷\%$ تعلق دارد. پس از آن، بیشترین تغییر در کاربری جنگل دیده شد که در این دوره ۳۲ ساله، روند کاهشی با سطح پویایی $۱/۸۵\%$ داشته است. کاهش مساحت مراتع سبب افزایش ارزش پویایی کاربری زمین به میزان $۲/۳۷\%$ شده است که می‌توان آن را به تشدید استفاده از مراتع و تبدیل آن‌ها به سایر کاربری‌ها نسبت داد. مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات کاربری اراضی و ارزش‌های اقتصادی آن را در حوضه خیاوچای، از لحاظ زمانی، بررسی و بیان کردند که بیشترین میزان تغییر کاربری اراضی تبدیل مراتع به اراضی بایر بوده است اما طی دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۳، بیشترین مقدار این تغییر شامل تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی می‌شد که باعث افزایش درآمد خالص کشاورزان شده است. تحلیل تصاویر ماهواره‌ای درمورد

1. Ghorbani
2. Raoof
3. Abedini & Pasban
4. Mostafazadeh

- and Prediction Based on CA-Markov Chain in the Savannah Ecological Zone of Ghana, *Environmental Challenges* 10(2023), P. 100664, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100664>.
- Arkhi, S. & Esfahani, M., 2014, **A Visual Learning to Idrisi Selva**, Golestan University Press, 336 p.
- Abedini, M. & Pasban, A., 2024, **Analysis and Evaluation of the Relationship between Land Surface Temperature with Land Use and Vegetation Cover Index, Case Study: Khiaochay Watershed, Meshginshahr**, *Geography and Human Relations*, Winter 2024, 6(3), PP. 22-37, doi: 10.22034/GAHR.2023.418850.1953.
- Chavez, P.S., 1996, **Image-Based Atmospheric Corrections-Revisited and Improved**, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), PP. 1025-1035.
- Darvishi, Sh., Solaimani, K. & Shabani, M., 2020, **Analysis and Prediction of Urban Growth and Its Impact on Land Use Using Remote Sensing and CA-Markov; Case Study: Marivan, Baneh and Saqqez Cities**, *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 29(114), PP. 147-163.
- Esmaeili, H. & Negahban, S., 2021, **Detection and Prediction of Land Use/ Land Cover Changes Using Markov Chain Model and Cellular Automata (CA-Markov), (Case Study: Darab Plain)**, *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 12(43), PP. 41-61.
- Feudjio Fogang, L., Franklin Tiomo, I., Yanick Kamga, B., Mounmeme Kpoumie, H., Delanot Tanougong Nkondjoua, A., Francois Nguetsop, V. & Zapfack, L., 2023, **Predicting Land Use/Land Cover Changes in the Santchou Wildlife Reserve (Santchou, West-Cameroon) Using a CA-Markov Model**, *Trees, Forests and People*, 14(2023), P. 100438, <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100438>.
- Ghodousi, J., Rezaei, R., Hassani, A., Arjomandi, R. & Vafaei Neghad, A., 2020, **Classification and Changes of Land Use Change Using Landsat Satellite, Case Study: Qazvin Plain Aquifer**, *Quarterly Journal of Geographical Space*, 20(72), PP. 185-204.
- Ghorbani, A., Kakehmami, A., Moameri, M. & Gafari, S., 2021, **Evaluation of Land Use Changes in Ardabil Province Using Satellite Image Processing**, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(3), PP. 537-550, <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125011>.
- ارزیابی تغییر کلی کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ نیز تبدیل مراتع به اراضی بایر را تأیید می‌کند. همچنین تغییرات چشمگیر کاربری اراضی، در حوزه کشاورزی، طی دوره ۲۰۱۳-۲۰۱۹ رخ داده است که با سال‌های اولیه بهره‌برداری از سد سیلان مطابقت دارد. با توجه به نتایج و بررسی‌ها، می‌توان گفت کاربری‌های منطقه مورد مطالعه، طی دوره آماری مورد نظر (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳) با تغییرات مساحت روبه‌رو بوده است که تا دهه‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت. دخالت عوامل انسانی در قالب طرح‌های کشاورزی، ایجاد استخر پرورش آبزیان، و احداث راه‌های متعدد برای دسترسی به معادن و چشمه‌های آب گرم نقش اصلی را در تغییرات کاربری اراضی داشته است و همچنان نیز دارد. با در نظر گرفتن اینکه منطقه مورد مطالعه در زمره مناطق کوهستانی است، پیشنهاد می‌شود که برای کنترل تغییرات کاربری اراضی، چنین اقداماتی انجام شود: تدوین و اجرای طرح جامع مدیریت حوضه خیاوچای، تقویت نظارت و کنترل از طریق نظارت مستقیم که با استفاده از تصاویر ماهواره لندست انجام می‌شود، افزایش درآمد آبخیزنشینان از طریق اکوتوریسم، حفاظت از منابع طبیعی و احیای پوشش گیاهی با اجرای طرح‌های بیولوژیک و کنترل ظرفیت چرا، و همچنین آموزش و جلب مشارکت مردمی.

۶- منابع

- Ait El Haj, F., Ouadif, L. & Akhssas, A., 2023, **Simulating and Predicting Future Land Use/ Land Cover Trends Using CA-Markov and LCM Models**, *Journal of Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7(2023), P. 100342, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100342>.
- Alikhah Asl, M. & Naseri, D., 2017, **Evaluation of Land Cover Changes in Kaftareh Watershed Using Remote Sensing Technique**, *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(3(74)), PP. 83-99.
- Aniah, P., Bawakyillenuo, S., Nii Ardey Codjoe, S. & Mawunyo Dzanku, Fred., 2023, **Land Use and Land Cover Change Detection**

- Girma, R., Fürst, C. & Moges, A., 2022, **Land Use Land Cover Change Modeling by Integrating Artificial Neural Network with Cellular Automata-Markov Chain Model in Gidabo River Basin, Main Ethiopian Rift**, Environmental Challenges 6(2022), P. 100419, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100419>.
- Jafari Gorzin, B., Kavyan, A. & Soleimani, K., 2023, **Investigation of Landuse Changes and Its Role in the Hydrology of the Upstream Areas of Siahroud Watershed**, Journal of Watershed Management Research, 14(27), PP. 26-37.
- Kyanpoor Kal Khajeh, M., Pajooheh, M. & Emamgolizadeh, S., 2022, **Evaluation of Markov Chain and Automated Cell Integrated Model in Simulation of Land Use Change and Land Cover of Gotvand Dam**, Journal of Water and Sustainable Development, 9(2), PP. 47-56, <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2112.1106>.
- Madadi, A., Piroozi, A. & Shekarzadeh Fard, A., 2019, **Study of Spatial Analysis of Flood Risk in the Khiachai Watershed**, Environmental Research, 11(21), PP. 17-26.
- Mansour, S., Al-Belushi, M. & Al-Awadhi, T., 2020, **Monitoring Land Use and Land Cover Changes in the Mountainous Cities of Oman Using GIS and CA-Markov Modelling Techniques**, Land Use Policy, 91, P. 104414, DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104414.
- Mola Aghajanzadeh, S., Soleymani, K., Habibnejad, M., Kavyan, A. & Rahmani, M., 2021, **Application of Remote Sensing in Assessing Land Use Changes in Haraz Watershed**, Geographical Researches, 36(3), PP. 275-284.
- Mostafazadeh, R. & Talebi Khiavi, H., 2021, **Land Use Change Dynamics Assessment in the Khiavchai Region, the Hillside of Sabalan Mountainous Area**, Arabian Journal of Geosciences, 14, P. 2257, <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08690-z>.
- Mostafazadeh, R., Talebi Khiavi, H., Asaadi, M. & Asbaghan Namini, S., 2022, **Temporal Land Use Change and Its Economic Values under Competing Driving Forces in a Diverse Land Use Configuration**, Arabian Journal of Geosciences, 15, P. 1597, <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10890-0>.
- Munthali, M., Mustak, S., Adeola, A., Botai, J., Singh, S. & Davis, N., 2020, **Modelling Land Use and Land Cover Dynamics of Dedza District of Malawi Using Hybrid Cellular Automata and Markov Model**, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 17, P. 100276, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100276>.
- Najirad, S., Ghiyashi, S., Rajabzadeh, F., Feiznia, S. & Nazari-Samani, A., 2017, **Determining the Effective Factors in the Occurrence of Shallow Landslides in the Khiavchay Watershed**, Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management, 9(2), PP. 140-154, DOI: <http://dx.doi.org/10.22092/ijwmse.2017.109697>.
- Nikpour, A., Amounia, H. & Norpasandi, E., 2021, **Monitoring and Predicting Land Use Changes Using Landsat Satellite Images by Cellular Automata and Markov Model (Case Study: Abbasabad Area, Mazandaran Province)**, Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(2(43)), PP. 35-53, <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.2.3.6>.
- Raouf, M., Kazemi, J., Mostafazadeh, R., Hoseini, Y. & Mirzaei, S., 2024, **Effect of Curve Number Changes on Flood Hydrograph in a Rapid Response Watershed (Case Study: Ardabil Khiavchai Basin)**, Water and Soil Management and Modeling, 4(1), PP. 248-261, DOI: 10.22098/mmws.2023.12295.1221.
- Rowshon, Md.K., Kondum, F.A., Luqman, C.A., Hasfalina, C.M. & Zakari, M.D., 2024, **Change Analyses and Prediction of Land Use and Land Cover Changes in Bernam River Basin, Malaysia**, 36(2024), P. 101281, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101281>.
- Shokriani, F. & Solaimani, K., 2024, **Land Use Change Detection Based on Satellite Images in the Haraz Watershed Plain**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS., 16(1), PP. 113-128, <https://doi.org/10.48308/gisj.2023.232979.1176>.
- Sisay, G., Gessesse, B., Fürst, C., Kassie, M. & Kebede, B., 2023, **Modeling of Land Use/Land Cover Dynamics Using Artificial Neural Network and Cellular Automata Markov Chain Algorithms in Goang Watershed, Ethiopia**, Heliyon, 9(2023), P. e20088, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20088>.

- Solaimani, K., 2020, **Spatial and Temporal Analysis of Land Use Changes Using Remote Sensing in Sari City**, Journal of Urban Structure & Function Studies, 7(24), PP. 57-72, <https://doi.org/10.22080/usfs.2020.18.207.1932>.
- Solaimani, K., Shokrian, F. & Darvishi, S., 2023, **Monitoring and Forecasting of Spatiotemporal Changes in Kermanshah Township Using Remote Sensing and the CA-Markov Model**, Urban Structure and Function Studies (USFS), 10(35), PP. 57-82, <https://doi.org/10.22080/USFS.2023.4129>.
- Su, M., Yue, W., Qin, C., Teng, Y. & Xu, C., 2024, **Simulation and Prediction of Land Use Change in Dongguan of China Based on ANN Cellular Automata - Markov Chain Model**, Environmental and Sustainability Indicators 22(2024), P. 100355, <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100355>.
- Tarawally, M., Wenbo, X., Weiming, H., Mushore, T.D. & Kursah, M.B., 2019, **Land Use/Land Cover Change Evaluation Using Land Change Modeller: A Comparative Analysis between Two Main Cities in Sierra Leone**, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 16, P. 100262, DOI: 10.1016/j.rsase.2019.100262.
- Yang, L., Fu, F., Jia, X., Zhao, Q., Tian, F., Wei, D., Zhao, Y., Zhang, Y., Zhang, J. & Hu, X., 2024, **Predicting Land Use Change around Railwaystations: An Enhanced CA-Markov Model**, Sustainable Cities and Society, 101, P. 105138, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105138>.
- Zandi, R., Safaee, M., Zanganeh, M. & Sepehrisadr, N., 2022, **Monitoring Land Use System Changes and Predicting Changes Based on Markov Chain Model (Case Study: Sabzevar City)**, Journal of Physical Development Planning, 9(4), PP. 31-46.
- Zubiri, M. & Majd, A., 2008, **Introduction to Remote Sensing Technology and Its Application in Natural Resources, Satellite Data, Aerial Photographs, Space** (7th edition), Tehran University Press, 326 p.