

Comparative study of land use changes using Markov chain model and autonomous cells (CA-Markov) in the Khiavchai watershed of Meshginshahr, Iran

Vahid Norouzi Kaleh Sar, Karim Solaimani*, Fatemeh Shokrian

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

solaimani2001@yahoo.co.uk, ka.solaimani@sanru.ac.ir,*: Corresponding Author

orcid.org/0000-0002-0307-7797

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 (2023, 2043 and 2063) 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).

بررسی مقایسه‌ای تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار (CA- Markov)

در حوضه‌ی آبخیز خیاوچای مشگین‌شهر

وحید نوروزی کله سر، کریم سلیمانی*، فاطمه شکران

گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، هیران

*نویسنده عهده دار مکاتبات: solaimani2001@yahoo.co.uk, ka.solaimani@sanru.ac.ir

orcid.org/0000-0002-0307-6797

چکیده:

سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین مراحل به سمت توسعه پایدار حفاظت از تمامیت اراضی است؛ به‌طوری که سالیانه بخشی از اراضی، به دلایل متعدد، تغییر کاربری یافته و خروج این گونه اراضی از مسیر تولید لطمات جبران ناپذیری را در پی دارد. از آنجا که تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز خیاوچای به دلیل شرایط خاص کوهستانی و آتشفشانی بودن این حوضه از اهمیت زیادی برخوردار است لذا بررسی تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی دیدگاه مفیدی را به طراحان، برنامه‌ریزان و مدیران جهت برنامه‌ریزی دقیق ارائه می‌دهد. چراکه تغییرات بدون برنامه و غیراصولی کاربری اراضی از چالش‌های مهم و اساسی هر کشوری محسوب می‌شود و به نوبه‌ی خود تأثیرات بسیار مخربی مانند تخریب پوشش گیاهی، تبدیل اراضی مرتعی به سایر کاربریها، را روی منابع طبیعی برجای می‌گذارد. بنابراین لزوم بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات مربوط به آن از اهمیت زیادی برخوردار است.

مواد و روش‌ها: حوضه آبخیز خیاوچای در حاشیه شمال غربی کوه سبلان و در جنوب شهرستان مشگین‌شهر استان اردبیل واقع شده است. مطالعه حاضر با هدف آشکار سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز خیاوچای مشگین‌شهر انجام شد. جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۵ با سنجنده‌ی TM مربوط به سال ۱۹۸۹ و ۲۰۰۷ و لندست ۸ با سنجنده‌ی OLI-TIRS مربوط به سال ۲۰۲۳ استفاده گردید. با اعمال تصحیحات اتمسفری و بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی نظارت شده، الگوریتم حداکثر احتمال، کاربری‌های موجود در منطقه در ۶ کلاس (مناطق شهری، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، خاک لخت، مرتع و پوشش برفی) طبقه‌بندی شدند. جهت تولید نقشه‌ی 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، به عنوان نقشه‌های پایه و پیشرو جهت انجام فرآیند پیش‌بینی تغییرات کاربری سال ۲۰۲۳ وارد مدل زنجیره مارکوف گردید. پس از انجام مدل‌سازی، تصاویر احتمال شرطی، ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها تولید گردید. در نهایت با استفاده از ابزار STCHOICE در نرم افزار IDRISI TerrSet نقشه پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۳ استخراج گردید. مشکل اساسی زنجیره مارکوف در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی عدم ارائه‌ی اطلاعات مکانی در مدل‌سازی می‌باشد. بدین ترتیب برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل از سلول‌های خودکار (CA_Markov) استفاده گردید. بنابراین با ترکیب مدل سلول‌های خودکار و مدل مارکوف، معرفی نقشه کاربری اراضی پایه مربوطه به سال ۱۹۸۹، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی، نقشه پیش‌بینی مربوط به سال ۲۰۲۳ به همراه مؤلفه‌ی مکانی تولید گردید. در نهایت، با استفاده از نقشه کاربری اراضی مربوط به سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳، نقشه کاربری اراضی برای سه دهه آینده (۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳) پیش‌بینی گردید. دقت نقشه‌ها براساس ضریب کاپا و دقت کلی و صحت نقشه‌ها براساس میزان پارامترهای توافق و عدم توافق مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث: تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی و نقشه کاربری اراضی استخراج گردید. مشخص شد بیشترین مساحت مربوط به کاربری‌های مرتع، خاک لخت و کشاورزی دیم می‌باشد. ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بوسیله‌ی ماتریس خطا مورد بررسی قرار گرفت و ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به ترتیب برابر ۰/۸۷، ۰/۸۸ و ۰/۸۳ و دقت کلی برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به ترتیب برابر ۰/۸۲، ۰/۸۸ و ۰/۹۲ محاسبه گردید. طبق نتایج بدست آمده می‌توان بیان نمود که دقت طبقه‌بندی تصاویر در سطح مطلوبی انجام شده 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 در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷ بدون تغییر مانده است. همچنین 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 در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ بدون تغییر مانده است. میزان مساحت کاربری‌های موجود در نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ نشان داد کاربری شهری ۴/۳٪، کاربری کشاورزی آبی ۵/۷٪، کاربری کشاورزی دیم ۱۵/۷٪، کاربری خاک لخت ۳۲/۲٪، کاربری مرتع ۴۲/۹٪ و 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 عدم توافق بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی برابر ۰/۱۶ و ضریب کاپا برابر ۰/۸۸ می‌باشد که بیانگر قابلیت نسبتاً بالایی مدل جهت انجام فرآیند پیش‌بینی تغییرات می‌باشد. با مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۳ مشخص گردید که در سه دهه آینده به ترتیب کاربری شهری با ۴۵/۹٪، ۴۶/۹٪ و ۴۷/۵٪ افزایشی و 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 ۱۳/۴٪، ۱۱/۲۳٪ و ۹/۳٪، خاک لخت با ۲/۲٪، ۲/۶٪ و ۳/۳٪ افزایشی و پوشش برفی با ۳۲/۹٪، ۱۹/۴٪ و ۵/۱٪ دارای روندی کاهشی نسبت به سال ۲۰۲۳ خواهند بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اذعان کرد که کاربری‌های منطقه، طی دوره آماری در نظر گرفته شده (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳) با تغییرات مساحت روبه‌رو بوده‌اند و تغییرات محسوسی نیز در سه دهه آینده خواهند داشت. بنابراین دخالت عوامل انسانی در قالب طرح‌های کشاورزی، استخر پرورش آبزیان، احداث راه‌های متعدد جهت دسترسی به معادن و چشمه‌های آب گرم نقش اصلی را در تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه ایفا کرده و می‌کند. این نتایج می‌تواند به برنامه ریزان، در شناخت عوامل مؤثر در تغییر کاربری و اتخاذ تصمیمات صحیح مدیریتی 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 آبخیز نشینان از طریق اکوتوریسم، حفاظت از منابع طبیعی و احیای پوشش گیاهی از طریق اجرای طرح‌های بیولوژیک آموزش و جلب مشارکت مردمی، کمک کند.

واژگان کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، زنجیره مارکوف، سلول‌های خودکار، مدل ساز تغییر سرزمین (LCM).

۱- مقدمه:

امروزه تغییرات کاربری اراضی در بسیاری از کشورها به چالش مهمی تبدیل شده است که اثرات فراوانی بر محیط زیست می‌گذارد. بر همین اساس بررسی تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف به عنوان یکی از موضوعات مهم در مدیریت درست منابع طبیعی و تغییرات زیست محیطی در سطوح مختلف مطرح است. لذا آگاهی داشتن از میزان تغییرات کاربری اراضی و بررسی علل و عوامل ایجاد کننده این تغییرات در طی یک دوره زمانی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌تواند به تدوین

برنامه‌های مدیریتی کمک شایانی نماید. امروزه علم سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی از فناوری‌های برتر و کارآمد جهت بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی محسوب می‌شوند. به طوری که ماهواره‌های سنجش از دور با فراهم‌آوری تصاویر چند زمانه و چند طیفی می‌توانند در کمی نمودن نوع و میزان تغییرات کاربری و پوشش اراضی به کار گرفته شوند. از طرفی دیگر، سیستم اطلاعات جغرافیایی فراهم کننده محیطی مناسب برای نمایش، ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد. و روش سنجش از دور یک ابزار مناسب برای کسب اطلاعات مکانی در جهت رسیدن به مدیریت پایدار منابع طبیعی و چشم‌انداز اقتصادی می‌باشد. به همین دلیل استفاده از علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز فرآیندهای مدل‌سازی، در شناسایی و تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری و پوشش زمین به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (علی‌خواه اصل و ناصری، ۱۳۹۶). بطوری که درویشی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸، و الگوریتم Maximum Likelihood و مدل CA-Markov به تحلیل و پیش‌بینی روند رشد شهری و تأثیر آن بر کاربری اراضی در شهرهای مریوان، بانه و سقز پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که در سال ۲۰۳۲ رشد شهر بانه در جهت شمال شرق، شهر مریوان در جهت شرق و شهر سقز در چهار جهت خواهد بود که منجر به تخریب اراضی کشاورزی و زمین‌های بایر خواهد شد. سلیمانی (۱۳۹۹) با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۵، ۷ و ۸ و مدل LCM^۱ به آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در شهر ساری پرداخت، نتایج نشان می‌دهد که سطح اراضی کشاورزی روند کاهشی شدید و به همان نسبت اشغال اراضی مسکونی روند افزایشی را داراست. ملأ آقاجانزاده و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز هراز در استان مازندران در یک دوره ۲۳ ساله با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM⁺، IRS و ASTER پرداختند. نتایج نشان داد که اراضی مرتعی، جنگلی، زراعت آبی و مخازن آبی به اراضی باغی، مسکونی و فاقد پوشش گیاهی تبدیل شده بودند. به گونه‌ای که بر وسعت اراضی باغی، مسکونی و فاقد پوشش گیاهی افزوده و در مقابل از اراضی مرتعی، جنگلی، زراعت آبی و وسعت مخازن آبی کاسته شده بود. نیک‌پور و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ و مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در شهرستان عباس آباد استان مازندران به پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی پرداختند. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۳۰ سطح پهنه‌ی ساخته شده دارای روندی افزایشی بوده که این امر منجر به کاهش سطح پوشش گیاهی، اراضی بایر و آب شده است. اسمعیلی و نگهبان (۱۴۰۰) با استفاده از الگوریتم حداکثر درست نمایی و تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸ به آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای ۱۰ سال آینده در دشت داراب استان فارس پرداختند. 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 شد. زندی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه خود با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵، ۷ و ۸ مربوط به دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ براساس مدل زنجیره مارکوف به بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در روستاهای اطراف شهر سبزوار پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در سال ۲۰۴۰ مساحت فضاهای ساخته شده به ۵۴ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت و با رشدی ۱۰۳ درصدی نسبت به سال ۲۰۲۰ همراه خواهد بود. کیانپور کل‌خواجه و همکاران (۱۴۰۱) به شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی سد گتوند در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹ پرداختند. برای این کار از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM و OLI استفاده کردند. نتایج نشان داد که در سال ۱۴۲۹ وسعت مناطق آبی، اراضی بایر و مراتع کاهش یافته و مناطق ساخته شده، اراضی کشاورزی و مرغزارها افزایش مساحت داشته‌اند. جعفری گرزین و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در هیدرولوژی مناطق بالادست آبخیز رودخانه سیاهرود پرداختند. نتایج نشان داد که در بازه زمانی ۲۲ ساله ۲۸۱ درصد، معادل ۶۵۷ هکتار به مساحت باغهای مرکبات اضافه شده است. در حدود ۵ درصد از سطح جنگل پهن برگ کاسته شده و سطح مناطق مسکونی ۵۷ درصد رشد داشته است. این تغییرات منجر به کاهش Curve Number از ۶۳/۰۱ به ۶۲/۷۳ شده است. سلیمانی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل CA-Markov تغییرات زمانی- مکانی پوشش زمین در شهر کرمانشاه را مورد پایش و پیش‌بینی

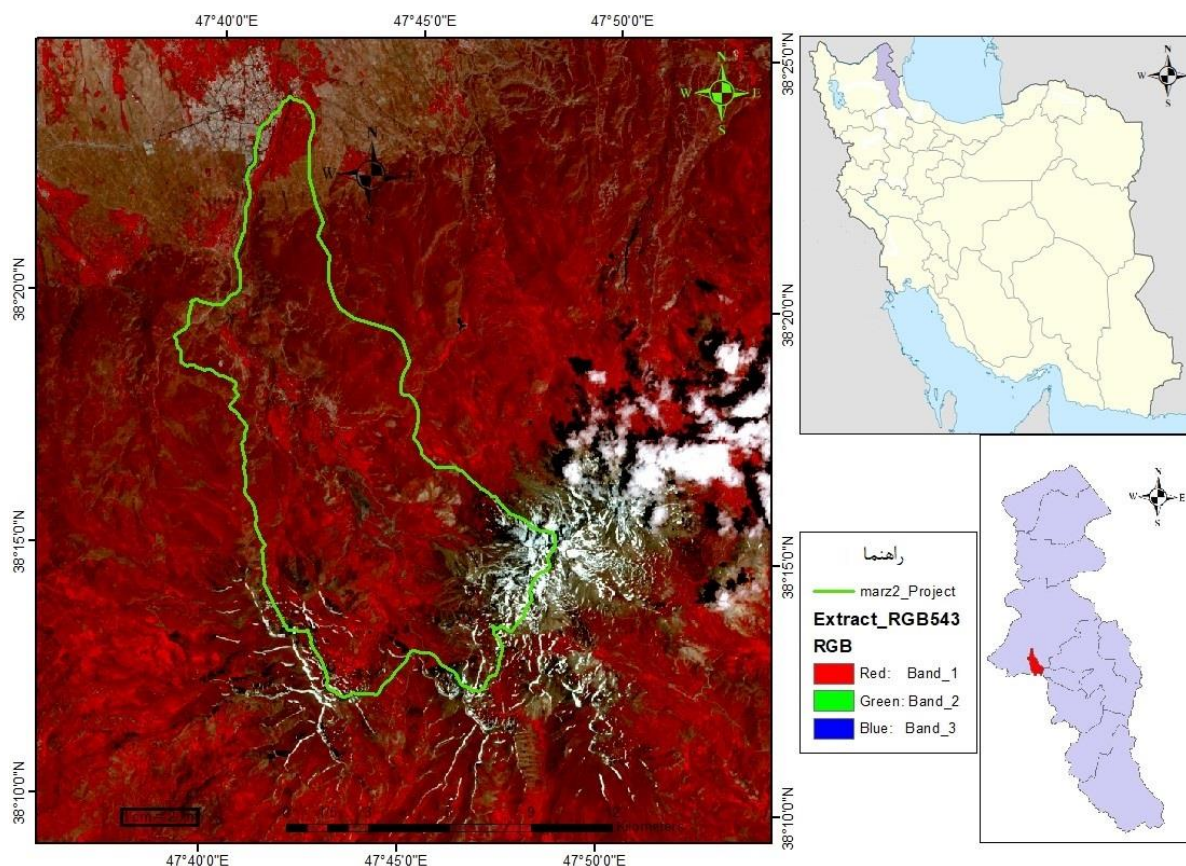
قرار دادند. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۴۷ نواحی شهری و کاربری کشاورزی روند افزایشی و کاربریهای پوشش گیاهی و زمینهای بایر روند کاهشی خواهد داشت که بیشتر این تغییرات در ارتفاعات ۱۰۴۲ تا ۱۵۸۷ متری اتفاق افتاده است. همچنین تخریب اراضی به نواحی شهری در جهات شمال و شمال شرق رخ خواهد داد. شکرپان و سلیمانی (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات کاربری اراضی جلگه هراز در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ پرداختند. برای سنجش تغییرات، از داده‌های لندست و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده کردند. نتایج بررسی روند تغییرات کاربریهای اراضی منطقه مورد مطالعه حاکی از آن است که مساحت اراضی جنگلی و مرتعی کاهش یافته و به مساحت اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی در اثر دخالت‌های عوامل انسانی افزوده شده است. مونتالی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ مربوط به سالهای ۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵، به بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه ددزا^۲ واقع در آفریقای جنوبی پرداختند و در نهایت نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۳۵ را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار، برای محدوده‌ی مورد مطالعه خود تهیه نمودند. نتایج نشان می‌دهد که پهنه‌های آبی، زمین‌های بایر و مناطق ساخته شده افزایش خواهند یافت در حالی که زمین‌های کشاورزی، تالاب‌ها و زمین‌های جنگلی به ترتیب تا سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ به طور قابل توجهی کاهش خواهند یافت. منصور و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان پایش تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در شهرهای کوهستانی عمان با استفاده از GIS و تکنیک مدل‌سازی CA-Markov، از طریق تصاویر لندست مربوط به سالهای ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸، نقشه کاربری اراضی شهر نزوا^۳ در استان الدخلیه^۴ را برای سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که طی سالهای ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۸، درصد زیادی از زمین‌های بایر (۱۲۸۱۳ هکتار) و پوشش گیاهی (۳۵ هکتار) به تدریج به کاربری مسکونی تبدیل خواهند شد. گریما و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و ویژگی‌های فیزیکی حوضه به مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی بوسیله ادغام مدل شبکه عصبی مصنوعی با مدل زنجیره مارکوف و سلول خودکار در حوضه رودخانه گیدابو، واقع در دره اصلی اتیوپی پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که تغییرات کاربری و پوشش اراضی در حوضه مورد مطالعه تا سال ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ ادامه خواهد داشت. آیت‌الحاج و همکاران (۲۰۲۳) اقدام به شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی در زیرحوضه لخداری مراکش با استفاده از تصاویر بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ ماهواره لندست نمودند. نتایج استفاده و مقایسه دو مدل CA-Markov و LCM نشان داد که روند تغییرات به طور عمده بر روی کاربری جنگل تأثیر می‌گذارد بطوری که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۹ با کاهش ۷۰ درصدی مساحت جنگلی و به موازات آن افزایش حدود ۳۷ درصدی کاربری‌های زمین بایر و شهری، را خواهیم داشت. آنیا و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده تصاویر سنجنده‌های MSS، TM، ETM+ و OLI به شناسایی و پیش‌بینی تغییر کاربری و پوشش اراضی در منطقه اکولوژیکی ساوانا غنا پرداختند. نتایج بررسی روند تغییرات از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ نشان داد که در ناحیه بونگو زمین‌های کشاورزی بیشترین افزایش را داشته‌اند. در حالی که منطقه جنگلی ساوانا شاهد بیشترین کاهش بوده است. همچنین در غرب منطقه کاسنا- نانکانا ساواناهای درختچه‌ای و درختی و زمین‌های کشاورزی با روندی افزایشی و منطقه جنگلی ساوانا با روندی کاهشی روبرو بوده است. طبق پیش‌بینی‌های آتی، روند مشاهده شده تا سال ۲۰۵۰ ادامه خواهد داشت. سیسای و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های زنجیره مارکوف و سلول خودکار در حوضه آبخیز گوانگ اتیوپی به مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی پرداختند. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۶۰ وسعت زمین‌های کشاورزی روندی افزایشی خواهد داشت، در حالی که مساحت جنگل‌ها، بوته‌زارها و علف‌زارها به سرعت کاهش خواهد یافت. فوجیو فوگانگ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مدل CA-Markov و تصاویر سنجنده‌های TM و OLI-TIRS در ذخیره‌گاه حیات وحش سانچو واقع در غرب کامرون به پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی پرداختند. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۳۲ اراضی کشاورزی، جنگل‌های دشتی و مناطق ساخته شده با روندی افزایشی روبرو خواهند بود. درحالی که کاربری‌های جنگل‌های کوهستانی،

جنگل‌های دشتی تخریب شده و جنگل‌های کوهستانی تخریب شده دارای روندی کاهشی خواهند بود. یانگ و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از مدل CA-Markov به شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در اطراف ایستگاه‌های راه آهن پرداختند. نتایج تحقیق در ایستگاه جنوبی میانژو چین نشان داد که از مساحت اراضی زراعی ۸۳.۴۳ هکتار کاسته و به مساحت اراضی جنگلی و مسکونی به ترتیب ۳۵.۸ هکتار و ۴۱.۵۲ هکتار در سال ۲۰۲۶ افزوده خواهد شد. روشون و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از تصاویر سالهای ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ مربوط به ماهواره سنتینل ۲ و لندست به تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در حوضه رودخانه برنامه‌مالزی پرداختند. نتایج پیش‌بینی‌ها برای سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۷۵ حاکی از روند افزایشی در کاربری‌های آبی، تالاب‌ها، کشاورزی، شهری، بایر و مناطق مرتعی است. همچنین از مساحت کاربری جنگل ۱۲ درصد کاسته خواهد شد. سو و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مدل زنجیره مارکوف-سلول خودکار به شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دونگوان چین پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که مساحت منطقه اکولوژیکی در مقایسه با سال ۲۰۲۰ در سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۳۰ و ۲۰۳۵ به ترتیب ۰/۶۷، ۱/۴۲ و ۲/۰۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین مساحت جنگل‌ها تا ۷/۴۲ درصد کاهش و نرخ رشد مناطق مسکونی آهسته خواهد بود. بنابراین اهمیت بررسی تغییرات کاربری اراضی، تبدیلات و یا تخریب آنها در طی سالهای گذشته و همچنین پیش‌بینی آینده این تغییرات و تبدیلات در مناطق مختلف از اقدامات مهم و قابل توجه جهت جلوگیری از وقوع تغییرات بدون برنامه، غیروصولی و همچنین استفاده مطلوب از منابع طبیعی است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه همه ساله دستخوش حوادث محیطی مانند سیل می‌شود لذا انجام پژوهش حاضر، ضمن بررسی تغییرات و تبدیلات کاربری اراضی روی داده در طی سالهای گذشته و نیز تهیه نقشه پیش‌بینی آینده این تغییرات با کمک تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره مارکوف و سلولهای خودکار در منطقه مورد مطالعه، می‌تواند به عنوان راهنما و راهگشایی مهم مورد توجه برنامه‌ریزان آمایش سرزمین و بهره‌برداران قرار گیرد تا بدین طریق، هرگونه تغییر و بهره‌برداری در منطقه براساس چهارچوب اصولی و علمی صورت گیرد تا شاید بتوان از بروز خسارات و حوادث جبران‌ناپذیر محیطی جلوگیری نمود و یا آن را کاهش داد.

۳- مواد و روش‌ها:

- منطقه‌ی مورد مطالعه:

حوضه خیاوچای با وسعت تقریبی ۱۲۹۵۰ هکتار، در زون ۳۹ شمالی و در حاشیه شمال غربی کوه سبلان، در جنوب شهرستان مشگین‌شهر استان اردبیل با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه ۳۷ دقیقه ۳۸ ثانیه تا ۴۸ درجه ۴۸ دقیقه ۱۸ ثانیه طول شرقی و ۳۸ درجه ۱۱ دقیقه ۵۰ ثانیه تا ۳۸ درجه ۲۳ دقیقه ۵۶ ثانیه عرض شمالی، 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 (ناجی راد و همکاران، ۱۳۹۶). از نظر زمین‌شناسی روستای موئیل و سایر مناطق اطراف آن از جمله خیاوچای از نظر زمین‌شناسی به دوره ائوسن مربوط می‌شوند. از نظر اقلیمی شهرستان مشگین‌شهر به دلیل استقرار در پهنه شمال غربی کشور، عمدتاً تحت تاثیر 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 سالانه ۳۷۶ میلیمتر می‌باشد (مددی و همکاران، ۱۳۹۹). از مراکز مهم جمعیتی می‌توان به شهرستان مشگین‌شهر که در خروجی حوضه قرار دارد اشاره کرد. به طور کلی این شهرستان در زمستان سرد تا بسیار سرد و در تابستان معتدل است. شکل (۱)، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



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

تصاویر و نرم افزارهای مورد استفاده:

جهت مدل سازی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۵ با سنجنده TM و لندست ۸ با سنجنده OLI-TIRS استفاده گردید. تصاویر مورد نظر از تارنمای سازمان زمین شناسی آمریکا (<https://earthexplorer.usgs.gov>) و در سطح تصحیحاتی L^۱T درخواست و تهیه گردید. مشخصات تصاویر مربوطه در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و نرم افزارهای ArcGIS ۱۰.۲ و IDRISI TerrSet در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. انجام مدل سازی تغییرات کاربری اراضی بمنظور آشکارسازی روند تغییرات و نیز پیش بینی تغییرات کاربری اراضی، در چند گام اساسی صورت می گیرد که شامل: ۱- تهیه نقشه های پوشش اراضی سال های مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره ای، ۲- بررسی و آنالیز تغییرات پوشش اراضی طی سال های مختلف، ۳- شبیه سازی 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 سلول های خودکار و در نهایت تولید نقشه پوشش اراضی برای سال مورد انتظار، ۵- تعیین اعتبار و ارزیابی صحت مدل سازی بین نقشه پیش بینی شده در یک زمان خاص با نقشه واقعی مربوط به همان زمان، می باشد.

جدول ۱: ویژگی های تصاویر ماهواره ای لندست.

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	نوع سنجنده	اندازه ی پیکسل	تعداد باند	شماره ی 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

۳-۱- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی:

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

- پیش پردازش و آماده سازی تصاویر ماهواره‌ای:

در این مرحله تصاویر به دلیل وجود خطاهای هندسی، رادیومتریکی، اتمسفری و توپوگرافی مورد بررسی قرار گرفتند. منظور از تصحیح هندسی یک تصویر، تغییر سیستم مختصات اجزای سازنده تصویر می‌باشد (زیبری و مجد، ۱۳۸۷). از آنجایی که تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در سطح تصحیحات L^۱T می‌باشند و این سطح از تصاویر به لحاظ هندسی تصحیح شده می‌باشند، بنابراین به انجام تصحیح هندسی نیاز نداشتند. همچنین به دلیل کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه، فرآیند تصحیح توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه انجام گردید (اسمعیلی و نگهبان، ۱۴۰۰).

- تهیه نمونه‌های تعلیمی و ایجاد امضاء طیفی:

نمونه‌های تعلیمی را می‌توان براساس بازدیدهای میدانی، تصاویر گوگل ارث، عکس‌های هوایی و همچنین ایجاد ترکیب رنگی کاذب بر روی تصاویر که با استفاده از آن می‌توان پوشش گیاهی را تفکیک نمود، تهیه کرد. در این مطالعه انواع کاربری/پوشش اراضی براساس بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث شناسایی گردید که شامل مناطق شهری، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، خاک لخت، مرتع و پوشش برفی می‌باشد. سپس با استفاده از تصویر رنگی کاذب (شکل ۱) و ابزارهای نمونه گیری در نرم‌افزار ادریسی انجام شد. بعد از تهیه نمونه‌های تعلیمی، با استفاده از ترکیب نمونه‌های تعلیمی و باندهای تصویر امضاء طیفی^۵ تهیه گردید (آرخی و اصفهانی، ۱۳۹۳).

- طبقه‌بندی تصاویر:

طبقه‌بندی فرآیندی است که از طریق آن پیکسل‌هایی که ویژگی‌های طیفی مشابه دارند با یک رنگ به خصوصی برای هر کلاس مشخص می‌شوند. روش‌های طبقه‌بندی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند و با توجه به تنوعی که دارند به کاربران امکان تولید انواع مختلفی از اطلاعات را می‌دهند. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش حداکثر احتمال تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش شناخته شده است که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفت (اسمعیلی و نگهبان، ۱۴۰۰). روش حداکثر احتمال^۶ درجه عضویت یک پیکسل به هر کلاس را با تابع توزیع احتمال چند متغیری بررسی نموده و سلول را به کاربری با بالاترین احتمال عضویت، براساس رابطه (۱) اختصاص می‌دهد (قدوسی و همکاران، ۱۳۹۹).

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

در رابطه‌ی فوق i نشانگر هر کلاس کاربری می‌باشد. X داده‌ی n بعدی است (n تعداد باندها می‌باشد). پارامتر $p(wi)$ احتمال اینکه کلاس wi در تصویر وجود داشته باشد را محاسبه می‌کند و فرض شده است که مقدار آن برای همه کلاس‌ها یکسان است. $|\sum i|$ دترمینان ماتریس کوواریانس داده‌ها در کلاس wi ، $\sum xi^{-1}$ ماتریس معکوس آن و mi نیز بردار میانگین می‌باشد.

- ارزیابی دقت طبقه‌بندی:

۱-Signature

۲- Maximum Likelihood

با توجه به اینکه ارزیابی دقت طبقه‌بندی انجام شده از ضروریات پژوهش می‌باشد، معمول‌ترین عامل‌های برآورد دقت و صحت شامل دقت کلی و ضریب کاپا می‌باشند. رایج‌ترین روش تجزیه و تحلیل به منظور ارزیابی دقت، استفاده از ماتریس خطا^۷ می‌باشد. توسط این ماتریس دو گروه داده که یکی مربوط به کلاس‌های حاصل از طبقه‌بندی بوده و دیگری که مربوط به داده‌ی زمینی یا مرجع می‌باشد با هم مقایسه می‌شوند. با استفاده از این ماتریس می‌توان به ماهیت دو گروه خطای حذف شده^۸ و خطای اضافه شده^۹ پی برد. خطای حذف شده بدین معنی می‌باشد که یکسری از پیکسل‌ها باید در یک کلاس خاص طبقه‌بندی می‌شدند، اما طبقه‌بندی کننده آنها را در کلاس دیگر طبقه‌بندی کرده است. همچنین خطای اضافه شده بدین معنی می‌باشد که یکسری پیکسل متعلق به یک کلاس خاص نمی‌باشند اما طبقه‌بندی کننده آنها را جزو این کلاس طبقه‌بندی کرده است. تئوری محاسبه‌ی ضریب کاپا به صورت زیر می‌باشد (چاوز، ۱۹۹۶).

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

در رابطه فوق N تعداد کل پیکسل‌های نمونه مرجع یا واقعیت زمینی، $\sum X_{ii}$ مجموع عناصر سطر iام و $\sum X_{+i}$ مجموع عناصر ستون iام (تعداد کاربری) می‌باشد.

۳-۲- مدل زنجیره مارکوف:

زنجیره مارکوف یک ابزار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی از یک دوره به دوره دیگر را بیان می‌کند. زنجیره مارکوف تصاویر طبقه‌بندی شده‌ی کاربری اراضی را تحلیل و یک خروجی به شکل ماتریس احتمالی تغییرات و یک تصویر خروجی از ماتریس احتمالی تغییرات برای سال افق ارائه می‌دهد. مشکل اساسی زنجیره مارکوف در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی عدم ارائه اطلاعات مکانی در مدل‌سازی می‌باشد. به عبارت دیگر، نقشه‌های تولید شده فاقد وابستگی اطلاعات مکانی می‌باشند. بدین ترتیب برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل از سلول‌های خودکار (CA_Markov) استفاده گردید (اسمعیلی و نگهبان، ۱۴۰۰). در واقع مدل سلول‌های خودکار تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چند منظوره اراضی می‌باشد. مدل سلول‌های خودکار بدلیل داشتن ماهیت دینامیک و همچنین خصوصیات منحصر به فرد آن در مدل‌سازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی دارد. تئوری زنجیره مارکوف به صورت ذیل می‌باشد:

$$VT^2 = MVT^1 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن VT^1 : بردار پوشش زمین در زمان اول، VT^2 : بردار پوشش زمین در زمان دوم، M: ماتریس احتمال انتقال $m \times m$ برای فاصله زمانی $\Delta T = T^2 - T^1$ است. احتمال انتقال بین دو دوره (P_{ij}) از رابطه (۴) زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن n_{ij} برابر است با:

$$n_i = \sum_{j=1}^q n_{ij} \quad \text{رابطه (۵)}$$

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

- ارزیابی صحت مدل‌سازی:

۳- Error Matrix

۴- Omission Error

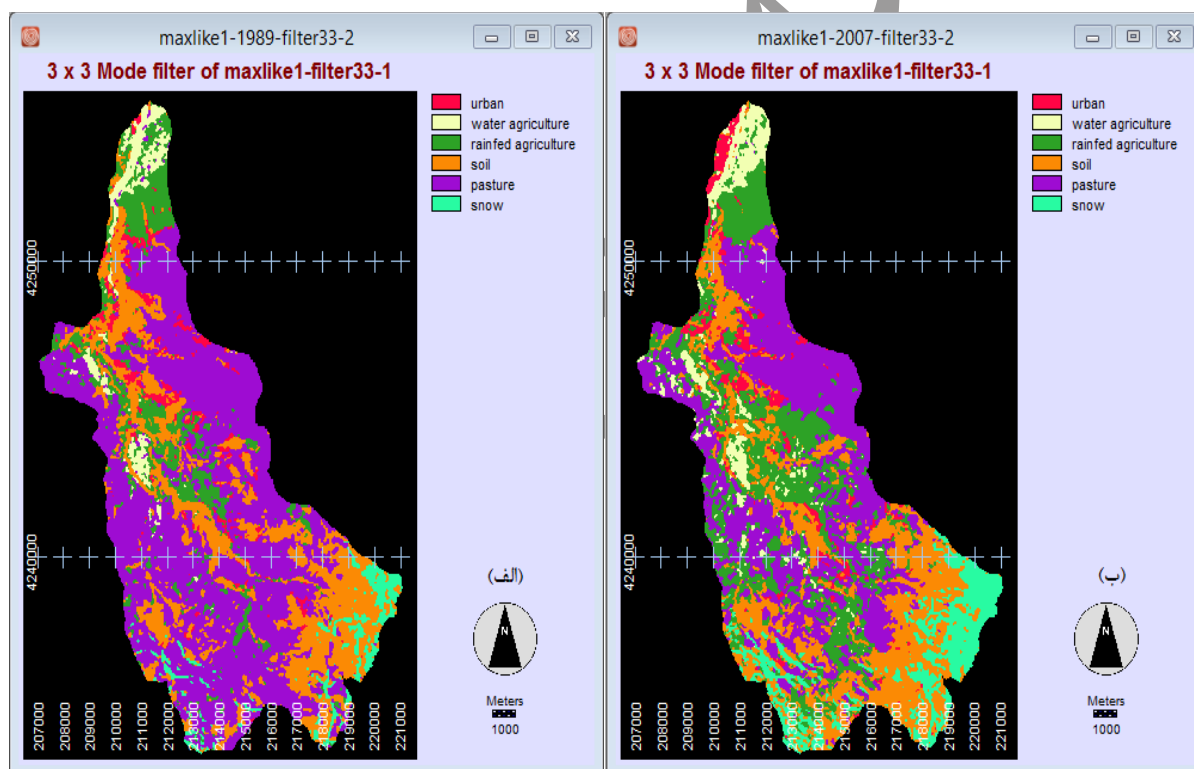
۵- Commission Error

نقشه پیش‌بینی شده حاصل از ترکیب مدل مارکوف و سلول‌های خودکار مربوط به سال ۲۰۲۳ با نقشه واقعی مربوط به سال ۲۰۲۳ با استفاده از دستور Validate در نرم افزار ادریسی و با توجه به مقدار شاخص کاپا، با هم مورد مقایسه قرار گرفتند تا بدین طریق میزان صحت پیش‌بینی مدل برآورد گردد.

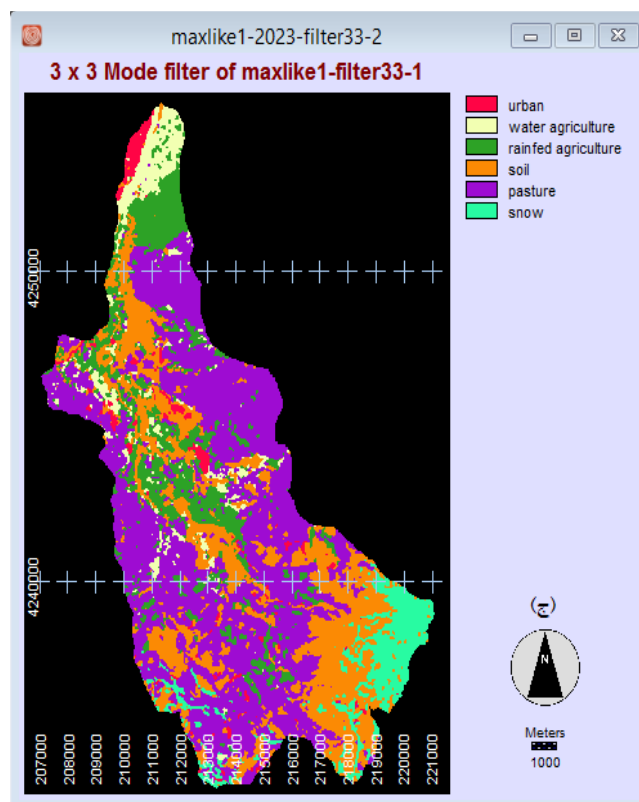
۴- نتایج:

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 گردید (شکل ۲). با توجه به جدول (۲) مشخص گردید که بیشترین مساحت مربوط به کاربری‌های مرتع، خاک لخت و کشاورزی دیم می‌باشد. ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بوسیله ماتریس خطا مورد بررسی قرار گرفت و ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به ترتیب برابر ۰/۸۳، ۰/۸۲ و ۰/۸۸ و دقت کلی برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۳ به ترتیب برابر ۸۲/۸۷، ۸۸/۴۰ و ۹۲/۳۲ محاسبه گردید (جدول ۳). طبق نتایج بدست آمده می‌توان بیان نمود که دقت طبقه‌بندی تصاویر در سطح مطلوبی انجام شده است.



شکل ۲- الف- تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۹۸۹ ب- تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۰۷.



ادامه شکل ۲- ج- تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۲۳

جدول ۲: مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی

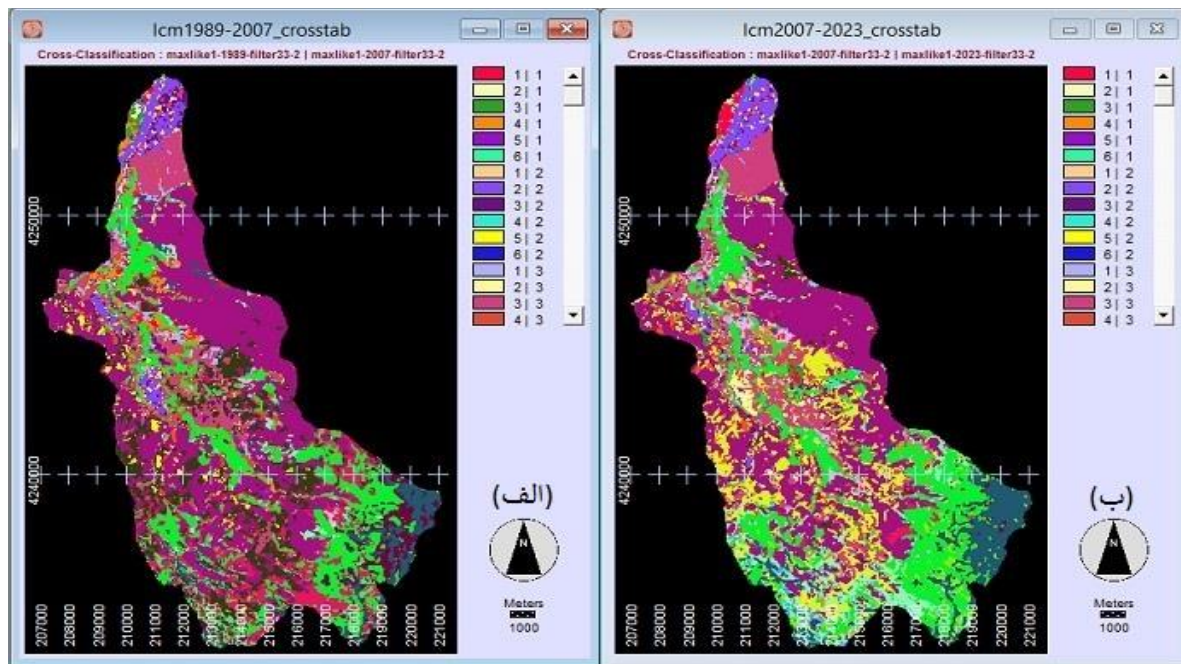
نوع کاربری	سال		۱۹۸۹		۲۰۰۷		۲۰۲۳	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
مناطق شهری	۴۹۰/۵۹	۳/۷۸۶	۵۳۵/۲۳	۴/۱۳۰	۳۳۷/۳۲	۲/۶۰۳		
کشاورزی آبی	۴۶۱/۶۱	۳/۵۶۲	۷۱۴/۰۶	۵/۵۱۱	۷۱۳/۲۵	۵/۵۰۴		
کشاورزی دیم	۱۵۲۸/۴۷	۱۱/۷۹۶	۳۰۲۹/۹۴	۲۳/۳۸۵	۱۸۱۷/۲۸	۱۴/۰۲۵		
خاک لخت	۳۲۱۸/۹۴	۲۴/۸۴۴	۳۲۳۷/۸۴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

۲-۴- بررسی و آنالیز تغییرات پوشش اراضی در طی دوره‌های مختلف:

پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، از دستور crosstab جهت آشکارسازی تغییرات و تبدیلات که بیانگر تعداد پیکسل‌هایی که از یک کاربری به کاربری دیگر تبدیل شده، و نیز تعداد پیکسل‌هایی که در طی دو دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۸۹ و ۲۰۲۳-۲۰۰۷ بدون تغییر باقی مانده‌اند، تهیه گردید که در شکل (۳) ارائه شده است. مساحت حاصل از تغییرات و تبدیلات هر یک از کاربری‌ها به سایر کاربری‌ها در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است.



شکل ۳- نقشه تغییرات کاربری‌ها به یکدیگر. الف- طی دوره زمانی ۱۹۸۹-۲۰۰۷ ب- طی دوره زمانی ۲۰۰۷-۲۰۲۳

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

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

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

کلاس های کاربری اراضی موجود 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 کاربری های اراضی به یکدیگر براساس شناسه های کاربری اراضی											
ردیف	تغییرات کلاس های کاربری	میزان تغییرات		ردیف	تغییرات کلاس های کاربری	میزان تغییرات		ردیف	تغییرات کلاس های کاربری	میزان تغییرات	
		هکتار	درصد			هکتار	درصد			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

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 در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷ بدون تغییر مانده است. همچنین 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 در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ بدون تغییر مانده است.

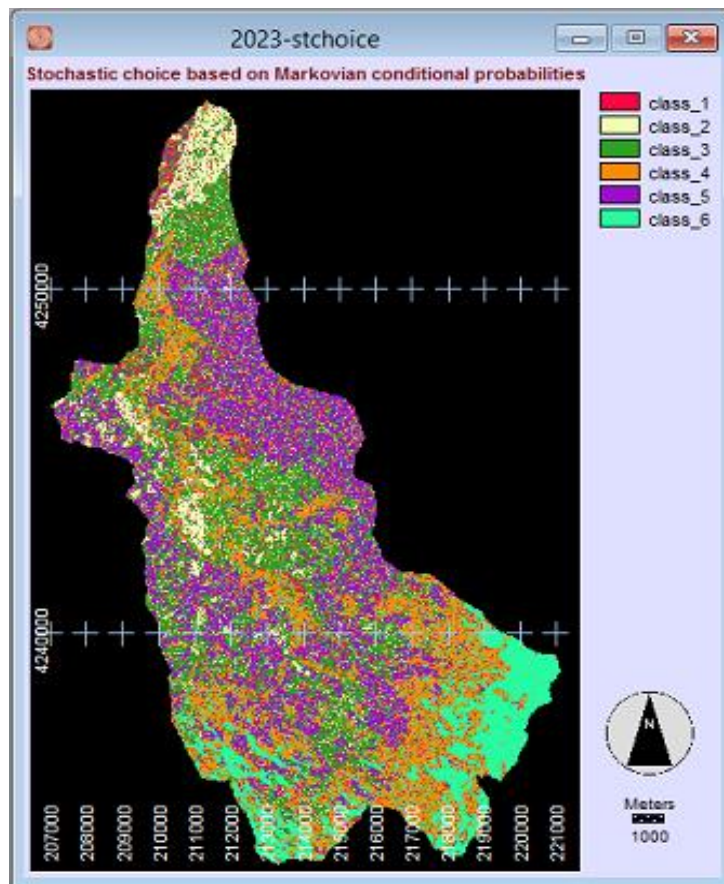
۳-۴- پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۳

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

جدول ۶: ماتریس احتمال انتقال برای 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

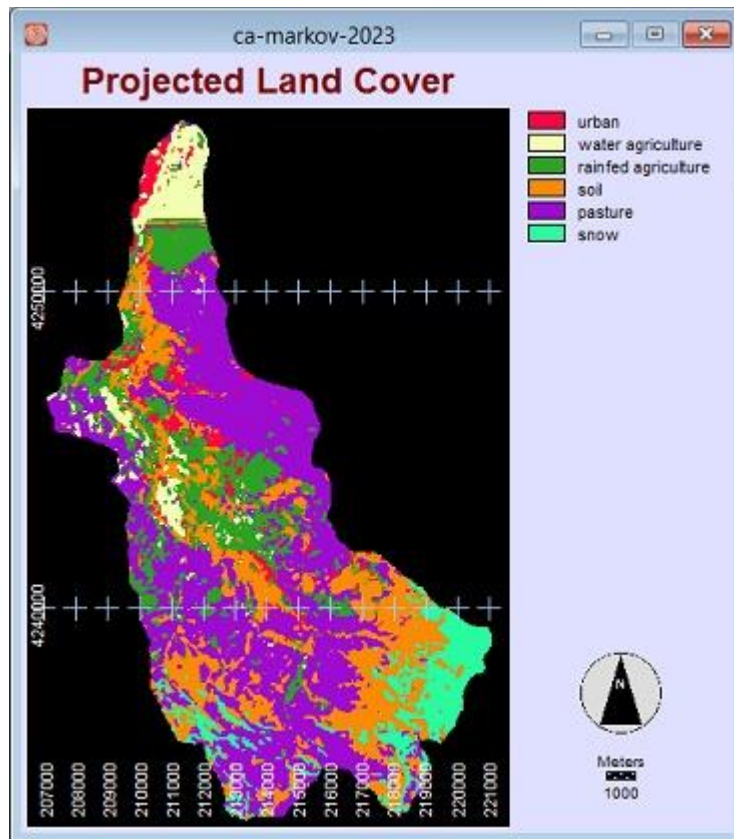
برف	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۱۵۸	۰/۰۰۰۰	۰/۹۸۳۲
-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------



شکل ۴- نقشه‌ی پیش‌بینی سال ۲۰۲۳ بوسیله‌ی مدل زنجیره‌ی مارکوف

۴-۴- ترکیب مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

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



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۳ بوسیله‌ی ترکیب مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

جدول ۷: میزان مساحت کاربری‌های موجود 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	۲/۲٪
	مجموع	۱۲۹۵۶/۵۸	۱۰۰٪

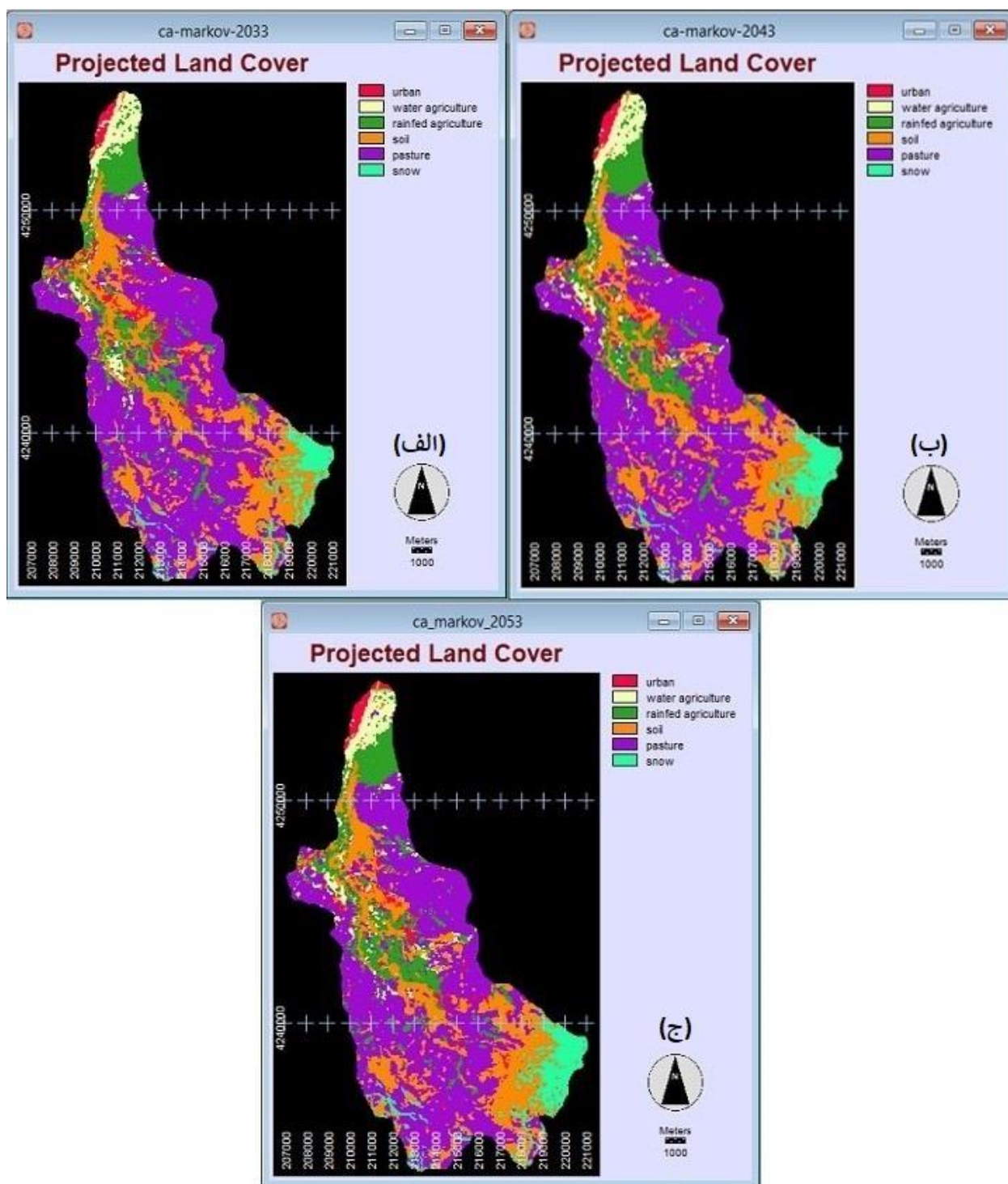
۵-۴- ارزیابی صحت مدل‌سازی و تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سه دهه آینده

نتایج ارزیابی صحت مدل نشان داد که توافق بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی برابر ۰/۸۴ و عدم توافق بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی برابر ۰/۱۶ و ضریب کاپا برابر ۰/۸۸ می‌باشد که بیانگر قابلیت نسبتاً بالای مدل جهت انجام فرآیند پیش‌بینی تغییرات می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۸: توافق و عدم توافق بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی سال ۲۰۲۳

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

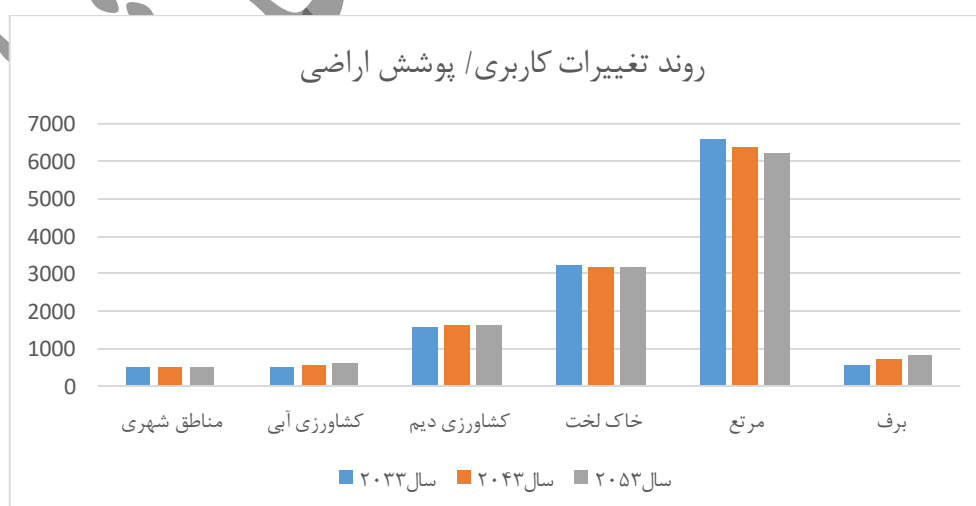
درنهایت، پس از اطمینان از دقت پیش‌بینی مدل و صحت نتایج به دست آمده، نقشه کاربری اراضی مربوط به سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۲۳ وارد مدل شده و نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ پیش‌بینی گردید (شکل ۶). با مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳ با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۳ مشخص گردید که در سه دهه آینده به ترتیب کاربری شهری با ۴۵/۹٪، ۴۶/۹٪ و ۴۷/۵٪ دارای روندی افزایشی و 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 ۱۳/۴٪، ۱۱/۲۳٪ و ۹/۳٪، خاک لخت با ۲/۲٪، ۲/۶٪ و ۳/۳٪ و پوشش برفی با ۳۲/۹٪، ۱۹/۴٪ و ۵/۱٪ دارای روندی کاهشی نسبت به سال ۲۰۲۳ خواهند بود (جدول ۹). نمودار روند تغییرات در شکل (۷) ارائه شده است.



شکل ۶- الف- نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۳۳ ب- نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۴۳ ج- نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۵۳

جدول ۹: میزان مساحت کاربری‌های موجود در نقشه‌های پیش‌بینی شده

نقشه‌ی پیش‌بینی شده‌ی سال ۲۰۳۳				
ردیف	کاربری	مساحت (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به سال ۲۰۲۳	روند تغییرات نسبت به 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
نقشه‌ی پیش‌بینی شده‌ی 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
نقشه‌ی پیش‌بینی شده‌ی 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 ۷- روند تغییرات کاربری / پوشش اراضی

۵- بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر در حوضه خیاوچای مشگین شهر، 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 به دلیل دارا بودن توان تفکیک مکانی و زمانی مناسب و همینطور رایگان بودن آنها، استفاده شده است. پس از انجام تصحیحات لازم روی تصاویر، نقشه‌های تغییرات کاربری تهیه و پیش‌بینی آینده تغییرات انجام شد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که در سه دهه آینده (۲۰۳۳، ۲۰۴۳ و ۲۰۵۳) 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 و کاربری های 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٪ دارای روندی افزایشی و پوشش برفی با ۳۲/۹٪، ۱۹/۴٪ و ۵/۱٪ دارای روندی کاهشی نسبت به سال ۲۰۲۳، خواهند بود. در این زمینه، قربانی و همکاران (۱۴۰۰) اظهار کردند که طی ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در استان اردبیل مشخص گردید که در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۴ عمده‌ترین تغییراتی که در منطقه رخ داده است شامل، تبدیل مراتع به دیم زار برابر با ۱۳/۸٪ در حدود ۱۴۱۷۹۴/۲ هکتار و اراضی کشت آبی ۴/۸٪ برابر ۴۹۸۳۶/۹ هکتار از مراتع، 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 می باشد. رئوف و همکاران (۱۴۰۱) بیان کردند که اثر تغییر شماره منحنی روی دی‌های حداکثر سیلاب در دوره بازگشت کم به مراتب بیشتر از دوره بازگشت زیاد است، به نحوی که در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با افزایش ۲۵ درصد شماره منحنی دی‌ی حداکثر سیلاب ۶/۳۸ برابر شده، در حالی که در دوره‌های بازگشت دو ساله دی‌ی حداکثر ۶۳ برابر افزایش داشته است. نتایج حاکی از آن است که کمترین تغییر در نوع کاربری باعث افزایش شدید دی‌ی سیلاب در حوضه خیاوچای می‌شود. عابدینی و پاسبان (۱۴۰۲) بیان کردند که واکاوی ارتباط بین دمای سطح زمین با کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی در حوضه آبخیز خیاوچای نشان داد که میانگین دمای سطح زمین برای ماه خرداد سال ۱۳۸۱ با بیشینه دما ۳۸/۷۱ درجه سانتیگراد در قسمت‌های شمالی خیاوچای به وقوع پیوسته است و کمینه دما در نواحی جنوبی با متوسط دمای ۱۵/۸۷ درجه سانتیگراد رخ داده است. از طرفی وضعیت میانگین دمای ماه خرداد برای سال ۱۴۰۱ نشان داد که هسته حرارت گرمایی نسبتاً در عرض‌های بالاتر متمرکز شده است و این رابطه مستقیمی را با شاخص پوشش گیاهی دارد. از طرفی براساس نتایج به دست آمده تخریب پوشش گیاهی در نواحی شمالی خیاوچای و محدود شدن آن به عرض‌های پایین بر تمرکز حرارت گرمایی در قسمت‌های شمالی حوضه مذکور منجر شده است. مصطفی زاده و طالبی خیای (۲۰۲۱) بیان کردند که ارزیابی پویایی تغییرات کاربری اراضی در منطقه خیاوچای در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶، نشان داد که بیشترین تغییر در کاربری اراضی متعلق به مناطق مسکونی با درجه پویایی ۷/۹۷٪ است. پس از آن، بیشترین تغییر مربوط به کاربری جنگل بود که در این دوره ۳۲ ساله روند کاهشی با سطح پویایی ۱/۸۵٪ داشته است. کاهش مساحت مراتع، ارزش پویایی کاربری زمین را به میزان ۲/۳۷٪ افزایش داده است که می‌توان آن را به تشدید استفاده و تبدیل مراتع به سایر کاربری‌ها نسبت داد. مراتع، اصلی‌ترین عامل هستند که می‌توان آن را به افزایش جمعیت و در طول این مدت، افزایش استفاده از این کاربری مرتبط با زمین نسبت داد. مصطفی زاده و همکاران (۲۰۲۲) طی بررسی زمانی تغییرات کاربری اراضی و ارزش‌های اقتصادی آن در حوضه خیاوچای بیان کردند که بیشترین میزان تغییر کاربری اراضی، تبدیل مراتع به اراضی بایر بوده است. در حالی که در دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۳، بالاترین میزان تغییر کاربری اراضی، تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی بود که باعث افزایش درآمد خالص کشاورزان شده است. تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ارزیابی تغییر کلی کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ نیز تغییر کاربری مراتع به اراضی بایر را تأیید می‌کند. همچنین، میزان قابل توجهی از تغییر کاربری اراضی در کاربری کشاورزی در دوره ۲۰۱۳-۲۰۱۹ رخ داده است که با سال‌های اولیه بهره‌برداری از سد سبلان مطابقت دارد. با توجه به نتایج به دست آمده و بررسی صورت گرفته می‌توان گفت که کاربری‌های منطقه مورد مطالعه، طی دوره آماری مورد نظر (۱۹۸۹ تا ۲۰۲۳) با تغییرات مساحت، که تا دهه‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت روبه‌رو بوده‌اند. دخالت عوامل انسانی در قالب طرح‌های کشاورزی، استخر پرورش آبزیان، احداث راه‌های متعدد جهت دسترسی به معادن و چشمه‌های آب گرم نقش اصلی را در تغییرات کاربری اراضی ایفا کرده و می‌کند. با در نظر گرفتن اینکه منطقه مورد مطالعه جزو مناطق کوهستانی می‌باشد پیشنهاد می‌شود که جهت کنترل تغییرات کاربری اراضی اقداماتی مانند تدوین و اجرای طرح جامع مدیریت حوضه خیاوچای،

تقویت نظارت و کنترل از طریق نظارت مستقیم با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، افزایش درآمد آبخیز نشینان از طریق اکوتوریسم، حفاظت از منابع طبیعی و احیای پوشش گیاهی از طریق اجرای طرح‌های بیولوژیک و کنترل ظرفیت چرا، آموزش و جلب مشارکت مردمی، صورت گیرد.

– منابع:

- ۱- Ait El Haj, Fatiha., Ouadif, Latifa., & Akhssas, Ahmed., ۲۰۲۳, **Simulating and predicting future land use/ land cover trends using CA-Markov and LCM models**, Journal of Case Studies in Chemical and Environmental Engineering ۷ (۲۰۲۳) ۱۰۰۳۴۲, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100342>.
- ۲- Alikhah Asl, M., & Naseri, D., ۲۰۱۷, **Evaluation of land cover changes in Kaftareh watershed using remote sensing technique**. Journal of Environmental Science and Technology, ۱۹(۳ (۷۴)), PP. ۸۳-۹۹.
- ۳- Aniah, Philip., Bawakyillenuo, Simon., Nii Ardey Codjoe, Samuel., & Mawunyo Dzanku, Fred., ۲۰۲۳, **Land use and land cover change detection and prediction based on CA-Markov chain in the savannah ecological zone of Ghana**, Environmental Challenges ۱۰ (۲۰۲۳) ۱۰۰۶۶۴, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100664>.
- ۴- Arkhi, S., & M., Esfahani., ۲۰۱۴, **A Visual Learning to Idrisi Selva**, Golestan University Press, ۳۳۶ pages.
- ۵- Chavez, P. S., ۱۹۹۶, **Image-based atmospheric corrections-revisited and improved**, Photogrammetric engineering and remote sensing, ۶۲(۹), PP. ۱۰۲۵-۱۰۳۵.
- ۶- Abedini, M., & A. Pasban., ۱۴۰۳, **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 ۱۴۰۲, Volume ۶, Number ۲, pp. ۲۲-۳۷, doi: ۱۰.۲۲۰۳/GAHR.۲۰۲۳.۴۱۸۸۵۰.۱۹۵۳.
- ۷- Darvishi, Sh., Solaimani, k., & Shabani, M., ۲۰۲۰, **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) Vo.۲۹, No. ۱۱۴, Summer ۲۰۲۰, ۲۹(۱۱۴), PP. ۱۴۷-۱۶۳.
- ۸- Esmacili, H., & Negahban, S., ۲۰۲۱, **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, Volume ۱۲, Issue ۴۳, PP. ۴۱-۶۱.
- ۹- Feudjio Fogang, Lyrette., Franklin Tiomo, Idriss., Yanick Kanga, Borel., Mounmemi Kpoumie, Hubert., Delanot Tanougong Nkondjoua, Armand., Francois Nguetsop, Victor., & Zapfack, Louis., ۲۰۲۳, **Predicting land use/land cover changes in the Santchou Wildlife Reserve (Santchou, West-Cameroon) using a CA-Markov model**, Trees, Forests and People ۱۴ (۲۰۲۳) ۱۰۰۴۳۸, <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100438>.
- ۱۰- Girma, Rediet., Fürst, Christine., & Moges, Awdenegest., ۲۰۲۲, **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 ۶ (۲۰۲۲) ۱۰۰۴۱۹, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100419>.
- ۱۱- Ghodousi, J., R, Rezaei, A, Hassani, R, Arjomandi., & A, Vafaei neghad., ۲۰۲۰, **Classification and changes of land use change using Landsat satellite, Case study: Qazvin plain aquifer**, Quarterly Journal of Geographical Space, Year ۲۰, Issue ۷۲, Winter ۲۰۲۰, PP. ۱۸۵-۲۰۴.
- ۱۲- Ghorbani, A., A, Kakehmami, M, Moameri., & S, Gafari., ۲۰۲۱, **Evaluation of land use changes in Ardabil province using satellite image processing**, Iranian Journal of Range and Desert Research, Vol. ۲۸ No. (۳), PP. ۵۳۷-۵۵۰, <https://doi.org/10.22092/ijdr.2021.125011>.
- ۱۳- Jafari Gorzin, B., Kavyan, A., & Soleimani, K., ۲۰۲۳, **Investigation of Landuse Changes and Its Role in the Hydrology of the Upstream Areas of Siahroud Watershed**, Journal of Watershed Management Research, Vol. ۱۴, No.۲۷, Spring and Summer ۲۰۲۳, PP. ۲۶-۳۷.
- ۱۴- Kyanpoor Kal Khajeh, M., Pajooheh, M., & Emamgolizadeh, S., ۲۰۲۲, **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, ۹(۲), PP. ۴۷-۵۶, <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2112.1106>.
- ۱۵- Mansour, S., Al-Belushi, M., & Al-Awadhi, T., ۲۰۲۰, **Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques**, Land Use Policy, ۹۱, ۱۰۴۴۱۴, DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.landusepol.2019.104414.
- ۱۶- Munthali, M., Mustak, S., Adeola, A., Botai, J., Singh, S., & Davis, N., ۲۰۲۰, **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, 100276, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100276>.

17- Madadi, A., A. Pirooz, & A. Shekarzadeh Fard., 2019, **Study of spatial analysis of flood risk in the Khiauchai watershed**, Environmental Research, Year 11, Issue 11, Spring-Summer 2019, PP. 17-26.

18- 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, 2021, 36(3), PP. 270-284.

19- Mostafazadeh, Raoof, & H. Talebi Khiavi., 2021, **Land use change dynamics assessment in the Khiavchay region, the hillside of Sabalan mountainous area**, Arabian Journal of Geosciences (2021) 14:2207, <https://doi.org/10.1007/s12017-021-08690-z>.

20- Najirad, S., S. Ghiyashi., F. Rajabzadeh., S. Feiznia., & A. Nazari-Samani., 2017, **Determining the effective factors in the occurrence of shallow landslides in the Khiavchay watershed**, Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management, Volume 9, Issue 2, PP. 140-154, doi: <http://dx.doi.org/10.22092/jwmse.2017.109697>.

21- Mostafazadeh, R., H. Talebi Khiavi., M. Asaadi., & S. Asbaghian Namini., 2022, **Temporal land use change and its economic values under competing driving forces in a diverse land use configuration**, Arabian Journal of Geosciences (2022) 15:1097, <https://doi.org/10.1007/s12017-022-10890-0>.

22- 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, vol. 12, no. 2 (43), PP. 30-53, <http://dori.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.2.3.7>.

23- 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**, Volume 27, November 2024, 101281, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101281>.

24- Solaimani, K., 2020, **Spatial and temporal analysis of land use changes using remote sensing in Sari city**, Journal of Urban Structure & Function Studies, 7(2), PP. 57-72, <https://doi.org/10.22080/USFS.2020.18.207.1932>.

25- Raoof, M., J. Kazemi., R. Mostafazadeh., Y. Hoseini., & S. Mirzaei., 2024, **Effect of curve number changes on flood hydrograph in a rapid response watershed (Case study: Ardabil Khiavchay Basin)**, Water and Soil Management and Modeling, 4(1), 248-261, doi: 10.22094/mmws.2023.12290.1221.

26- 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), Volume 11, Issue 20, Summer 2023, PP. 57-82, <https://doi.org/10.22080/USFS.2023.119>.

27- Shokrian, F., & Solaimani, k., 2024, **Land Use Change Detection Based on Satellite Images in the Haraz Watershed Plain**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 2024, 16 (1), PP. 113-128, <https://doi.org/10.48304/gisj.2023.232979.1176>.

28- Su, Meirong., Yue, Wencong., Qin, Chenghao., Teng, Yanmin., & Xu, Chao., 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) 100300, <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100300>.

29- Sisay, Getahun., Gessesse, Berhan., Fürst, Christine., Kassie, Meseret., & Kebede, Belaynesh., 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) e20088, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20088>.

30- 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, 100262, doi: 10.1016/j.rsase.2019.100262.

31- Yang, Linchuan., Fu, Fei., Jia, Xia., Zhao, Qiuji., Tian, Fangzhou., Wei, Dong., Zhao, Ya., Zhang, Yingzi., Zhang, Jian., & Hu, Xia., 2024, **Predicting land use change around railway stations: An enhanced CA-Markov model**, Sustainable Cities and Society, Volume 101, February 2024, 105138, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105138>.

32- Zandi, R., Safaei, 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, Year: 2022, Volume: 9, Issue: 4, PP. 31-46.

۳۳- Zubiri, M., & Majd, A., ۲۰۰۸, **Introduction to remote sensing technology and its application in natural resources, satellite data, aerial photographs, space**, (۷th edition), Tehran University Press, ۳۲۶ pages.

نسخه پیش انتشار