

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Evaluation of Markov Chain and Automated Cell Integrated Model in Simulation of Land Use Change and Land Cover of Gotvand Dam

M. Kyanpoor Kal Khajeh¹, M. Pjooohesh², S. Emamgolizadeh³

1- Master of Water Structures, Shahrood University of Technology, Iran. 2- Associate Professor of Soil and Water Conservation, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran. 3- Professor of Water Structures, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Iran.

* (Corresponding Author Email: mohammadkianpoor@gmail.com)

Received: 12-12-2021

Revised: 06-02-2022

Accepted: 08-02-2022

Available Online: 21-09-2022

ارزیابی مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی سد گتوند

محمد کیانپور کل خواجه^۱، مهدی پژوهش^۲، صمد امامقلی‌زاده^۳

۱- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران. ۲- دانشیار حفاظت آبخاک، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران. ۳- دانشیار گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: mohammadkianpoor@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

Abstract

For sustainable land use, it is necessary to reveal the changes in land use and land cover and to identify the factors affecting the changes. The use of remote sensing and GIS provides accurate and systematic information on surface phenomena. The purpose of this study is to evaluate the efficiency of the integrated model of automatic cell and Markov chain in simulating and predicting temporal and spatial changes of land use changes and land cover in Gotvand dam area. The Kappa coefficient was 0.92 for 1991, 0.97 for 2008, and 0.93 for 2020. The accuracy of the CA-MARKOV model for predicting changes in the second period was 85%. Pastures form the dominant cover of the study area. Also, pasture and barren lands have been destroyed and reduced in area, and the area of other uses has increased. The results of the change prediction matrix based on the map of 2008 and 2020 showed that between 2020 and 2050, 10.37% of water areas, 21.49% of built-up areas, 44.41% of agricultural lands, 25.85% of Barren lands, 41.10% of pastures and 18.15% of meadows will remain unchanged. The results of revealing the land use map of 2050 showed that 31.2% of water areas, 37.5% of built-up areas, 13.9% of agricultural lands, 32.37% of barren lands and 44.78% of pastures in the studied area. The results show the increase of cultivated area and the development of agricultural lands. Also, the results showed that the increase in population and expansion of urbanization in the region has caused the destruction of pastures.

Keywords: CA-MARKOV, Remote Sensing, Forecasting, Land Use, Accuracy Assessment.

چکیده

برای استفاده پایدار از زمین، آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی و شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات، امری ضروری است. استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی اطلاعات دقیق و منظمی را در خصوص پدیده‌های سطح زمین ارائه می‌دهد. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی کارایی مدل تلفیقی سلول خودکار و زنجیره مارکوف در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی تغییرات کاربری و پوشش اراضی محدود سد گتوند است. ضریب کاپا برای سال ۱۳۷۰، ۰/۹۲، سال ۱۳۸۷، ۰/۹۷ و در سال ۱۳۹۹، ۰/۹۳ به دست آمد. دقت مدل CA-MARKOV برای پیش‌بینی تغییرات در دوره دوم ۸۵ درصد به دست آمد. مراتع پوشش غالب ناحیه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. همچنین اراضی مرتعی و بایر تخریب و کاهش مساحت را داشته و مساحت سایر کاربری افزایش یافته است. نتایج حاصل از ماتریس پیش‌بینی تغییرات بر مبنای نقشه سال ۱۳۸۷ و ۱۳۹۹ نشان داد احتمال می‌رود در فاصله زمانی ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۹، ۱۰/۳۷ درصد مناطق آبی، ۲۱/۴۹ درصد مناطق ساخته شده، ۴۴/۴۱ درصد اراضی کشاورزی، ۲۵/۸۵ درصد اراضی بایر، ۴۱/۱۰ درصد مراتع و ۱۷/۱۵ درصد از مرغزارها بدون تغییر باقی بمانند. نتایج آشکارسازی نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۲۹ نشان داد که مناطق آبی ۲/۳۱ درصد، مناطق ساخته شده ۵/۳۷ اراضی کشاورزی ۱۳/۹ درصد، اراضی بایر ۳۲/۳۷ درصد و مراتع ۴۴/۷۸ درصد منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده اند. نتایج بیانگر افزایش سطح زیر کشت و توسعه اراضی کشاورزی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی در منطقه باعث تخریب مراتع شده است.

واژه‌های کلیدی: CA-MARKOV، سنجش از دور، پیش‌بینی، کاربری اراضی، ارزیابی صحت.

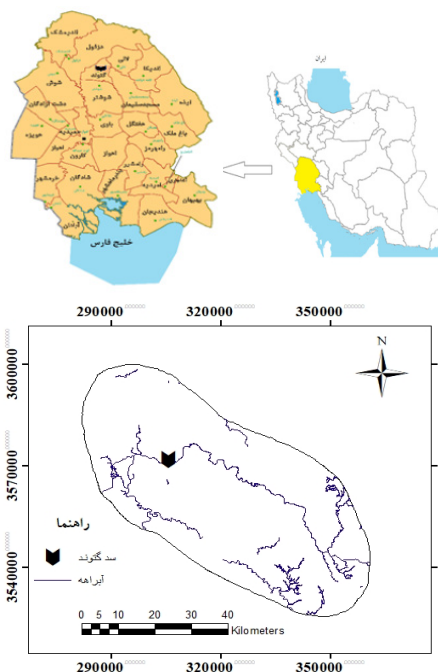
(Jie, ۲۰۱۱). مدل زنجیره مارکوف (MC) به صورت یک فرایند تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت آینده یک پیکسل تنها به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و بر پایه آن پیش‌بینی می‌شود. در ارتباط با موضوع این پژوهش، تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که علاوه بر مشخص شدن وضعیت تغییرات کاربری اراضی در زمان مورد مطالعه با استفاده از مدل زنجیره مارکوف همچنین کارایی این مدل نیز در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تأیید شده است.

Wang و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل سلولی Bhutan's خودکار و زنجیره مارکوف به بررسی و پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری اراضی شهر پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد چشم‌انداز شهر به طور قابل توجهی در طول مطالعه تغییر کرده است و پیش‌بینی می‌شود این روند تغییرات تا سال ۲۰۵۰ ادامه یابد. نتایج آشکارسازی در سال ۲۰۵۰ نشان می‌دهد ۷۳/۲۱ درصد از شهر را مناطق ساخته شده تشکیل می‌دهد و وسعت جنگل‌ها کاهش یافته است. Alabi و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود با بهره‌گیری از شاخص‌های پوشش گیاهی و زنجیره مارکوف منطقه مورد مطالعه خود را شناسایی کردند. نتایج اعتبارسنجی نشان داد دقت پوشش جنگلی پیش‌بینی شده بیش از ۷۵ درصد می‌باشد. همچنین نتایج پیش‌بینی نشان داد در صورت فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، پوشش جنگلی منطقه در خطر انقراض قرار می‌گیرد. شکوهیده و همکاران (۱۴۰۰) از تصاویر چند زمانه لندست سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ برای بررسی میزان تغییرات رخ داده در منطقه سد کارون ۳ استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد مدل‌های مارکوف اطلاعات مفیدی را ارائه می‌دهند می‌تواند جهت برنامه‌ریزی کاربری اراضی در آینده مفید واقع شود. علی‌خواه اصل و رضوانی (۱۳۹۷) تغییرات پوشش زمین را با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره‌ای مارکوف و سلول خودکار در افق ۱۴۰۷ را بررسی کردند. ماتریس خطا صحت کلی عملکرد را معادل ۷۱ درصد و ضریب کاپا را ۰/۸۷ درصد نشان داد تأییدکننده مدل زنجیره مارکوف و CA مارکوف برای پیش‌بینی کلاس‌های کاربری اراضی در ۱۳ سال آینده می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد روند کنونی تغییر کاربری در منطقه، مساحت دریاچه بزنگان در سال ۱۴۰۷ به ۱۲/۸۱ هکتار، مساحت زراعت آبی به ۴۹۵/۹۱ هکتار، اراضی زراعت دیم را به ۵۷۶۴/۴۲ هکتار، مراتع به ۴۵۹۲/۱۵ هکتار و مساحت اراضی مسکونی به ۹۴/۷۴ هکتار خواهد رسید. احداث سد گتوند باعث تغییر در چشم‌انداز منطقه شده است و اراضی بالادست و پایین‌دست تحت تأثیر ساخت سد قرار گرفته‌اند. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی کارایی مدل تلفیقی سلول خودکار و زنجیره مارکوف در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی تغییرات کاربری و پوشش اراضی محدوده سد گتوند است.

در سال‌های اخیر با تغییرات در محیط‌زیست محیطی جهانی، رشد جمعیت و درک یک‌طرفه انسان از محیط پیرامون خود سبب تخریب اراضی شده است و انواع کاربری‌های زمین پیوسته در حال تغییر می‌باشند (Zhao و همکاران، ۲۰۱۵). تغییرات پوشش اراضی به‌عنوان یکی از عمیق‌ترین تأثیرات انسانی بر سیستم اکولوژیکی زمین ظاهر شده است. تجزیه و تحلیل منشأ، روش‌ها و پیامدهای آن علاوه بر ارتباط بین فعالیت‌های انسانی و سیستم‌های کاربری زمین به‌عنوان موضوعات تحقیقاتی اساسی در اکولوژی شناخته می‌شود (Hobbs و Wu، ۲۰۰۲). در چند دهه گذشته، صنعتی شدن بی‌سابقه و گسترش سریع شهرنشینی منجر به ایجاد تغییرات در پوشش و کاربری اراضی شده است که به‌عنوان محرک‌های اساسی تأثیرگذار بر اکولوژی، کشاورزی، تنوع زیستی، اقلیم، حیات وحش و زیستگاه‌های منطقه‌ای از مقیاس جهانی تا منطقه‌ای ظاهر شده‌اند (Sharma و Gupta، ۲۰۲۰؛ Li و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین لازم است جهت ارتقا مدیریت پایدار منابع طبیعی و ارائه تصمیم‌های صحیح مدیریتی تغییرات اراضی بررسی شود. مدل‌سازی و شبیه‌سازی به روشی مؤثر برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش و کاربری زمین تبدیل شده است و همچنین به تصمیم‌گیری در مورد چگونگی تأثیر آن بر اجزای مختلف سیستم اکولوژیکی زمین کمک کرده است (Capitani و همکاران، ۲۰۱۹). مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مکانی - زمانی در سراسر دنیا ارائه و بهره‌برداری شده است. این مدل‌ها درک درستی از نیروهای محرک برای پیش‌بینی تغییرات آینده در بین دسته‌های تغییرات پوشش و کاربری اراضی که شامل سناریوها یا جنبه‌های مختلف برای هر منطقه است، ارائه می‌کنند (Camacho Olmedo و همکاران، ۲۰۱۸). با این حال، تکنیک‌های سنجش از دور (RST) با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان ابزاری ضروری در ذخیره‌سازی، نمایش و تجزیه و تحلیل تغییرات گذشته، حال و احتمالی آینده از طریق روش‌های مختلف مانند مدل سلولی خودکار و زنجیره مارکوف شناخته می‌شوند (Clarke و همکاران، ۱۹۹۷). ادغام مدل سلولی خودکار (CA) و زنجیره مارکوف (MC) به دلیل کارایی و انعطاف‌پذیری بالا به طور گسترده‌ای برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده می‌شوند و قابل قبول هستند (انصاری، ۱۳۹۵). مدل سلولی خودکار (CA) نوعی مدل دینامیکی شبکه گسسته است که زمان، مکان و حالت آن همگی گسسته هستند و تعامل مکانی و علیت در زمان بر اساس یک رابطه محلی مشخص می‌شوند. CA برای مطالعه سیستم جغرافیایی مکانی-زمانی پیچیده، به‌ویژه برای کاربری زمین شهری مناسب است و یک ابزار مهم و تمرکز تحقیقاتی برای مدل‌سازی تغییر کاربری و پوشش زمین بوده است

• منطقه مورد مطالعه

سد گتوند در نقطه جغرافیایی به طول شرقی ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه و عرض شمالی ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه و ۸ ثانیه در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال شهر شوشتر و در ۱۰ کیلومتری شمال شهر گتوند در استان خوزستان واقع شده است. سد گتوند آخرین سدی می‌باشد که بر روی رودخانه کارون واقع شده است. مساحت حوضه آبریز در محل ساختگاه سد ۴۲۴۲۵۰۰ هکتار می‌باشد. دبی متوسط سالانه رودخانه کارون در محل سد بر اساس یک دوره آماری ۴۰ ساله، معادل ۴۵۳ مترمکعب بر ثانیه و متوسط بارش سالانه در این حوضه در حدود ۳۷۲ میلی‌متر می‌باشد. (رضایان و همکاران، ۱۳۹۳). شکل (۱) موقعیت سد گتوند و حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت سد گتوند در ایران و استان خوزستان و محدوده مورد مطالعه

• داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق لایه‌های رقومی شده و نقشه توپوگرافی مربوط به حوضه آبخیز سد گتوند تهیه و تصاویر ماهواره‌ای از پایگاه داده زمین‌شناسی آمریکا (USGS) تهیه شد. جدول (۱) مشخصات تصاویر ماهواره‌ای در مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد. برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره لندست سنجنده TM برای سال ۱۹۹۱ سنجنده ETM⁺ برای سال ۲۰۰۸ و سنجنده OLI برای سال ۲۰۲۰ استفاده شد. همچنین از نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 برای ژئورفرنس کردن داده‌ها و آماده کردن نقشه‌های کاربری اراضی، نرم افزار ENVI 5.3 جهت انجام تصحیحات تصاویر ماهواره ای و از نرم‌افزار Terrset 18.6 برای بررسی، تجزیه و تحلیل تصاویر و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شد.

• تصحیحات تصاویر

در آغاز تصحیحات هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد. باتوجه به اینکه تصاویر از پایگاه داده‌های زمین‌شناسی آمریکا (USGS) دریافت شدند تصاویر فاقد خطای هندسی می‌باشند. جهت اطمینان بیشتر خطای RMS تصاویر نیز به دست آمد که نشان از عدم خطای هندسی تصاویر داشت. خطای رادیومتریک به خطاهایی گفته می‌شود که به دلایل اختلاف در شرایط اتمسفری، اختلاف زاویه تابش و یا خطاهای ناشی از سنجنده ایجاد می‌شود (Du و همکاران، ۲۰۰۲). جهت انجام تصحیحات رادیومتریک در نرم‌افزار ENVI با دستور Calibration Radiometric اعمال شد. در نهایت تصحیح اتمسفری تصاویر که بر اثر وجود گازها و هواویزه‌های اتمسفری، بخار آب و ابرها در جو بر روی بازتاب سطح شده تأثیرگذار است برطرف شد. تصحیح اتمسفری با روش FLASSH (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) در نرم‌افزار ENVI اعمال شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده در تحقیق

| ردیف | نوع ماهواره | سنجنده | تاریخ دریافت (میلادی) | تاریخ دریافت (شمسی) | اندازه پیکسل‌ها | تعداد باندها |
|------|-------------|------------------|-----------------------|---------------------|--|--------------|
| ۱ | لندست ۵ | TM | ۱۹۹۱/۰۵/۰۶ | ۱۳۷۰/۰۲/۱۶ | ۳۰ متر به جز باند حرارتی | ۷ |
| ۲ | لندست ۷ | ETM ⁺ | ۲۰۰۸/۰۵/۱۲ | ۱۳۸۷/۰۲/۲۳ | ۳۰ متر به جز باند حرارتی | ۸ |
| ۳ | لندست ۸ | OLI | ۲۰۲۰/۰۵/۲۱ | ۱۳۹۹/۰۳/۰۱ | ۳۰ متر به جز باند پانکروماتیک و باندهای حرارتی | ۱۱ |

• تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور شناسایی و تفکیک بهتر پدیده‌ها به‌صورت تصویر رنگی کاذب به کار گرفته شدند (Khoi و Murayama، ۲۰۱۰). سپس تصاویر مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. یک از روش‌های قدرتمند مرتبط با تولید نقشه‌های کاربری اراضی استفاده از روش‌های طبقه‌بندی می‌باشد. از میان روش‌های موجود برای طبقه‌بندی تصاویر، در این تحقیق از طبقه‌بندی تصاویر به روش شی‌گرا استفاده شد. طبقه‌بندی تصویر مبتنی بر شی‌گونه‌ای از روش طبقه‌بندی نظارت نشده می‌باشد که با استفاده از سنجش از دور در سال‌های اخیر توجه خاصی را به خود جلب کرده است. فرایند طبقه‌بندی شی‌گرا در سه مرحله سگمنت‌سازی، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی صورت می‌گیرد. مهمترین مرحله در طبقه‌بندی سگمنت‌سازی است (Ni و Huang، ۲۰۰۸).

• مدل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف (MC) یک فرایند تصادفی است که دنباله‌ای از رویدادها را توصیف می‌کند و در آن رویداد آینده فقط به رویدادهای فعلی و رویدادهای قبلی بستگی دارد بدون اینکه نیازی به در نظر گرفتن کل تاریخ رویداد باشد. توانایی بیان تغییرات زمانی از یک دوره زمانی به دوره دیگر، MC را به ابزاری مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین تبدیل می‌کند، بنابراین مبنایی برای پیش‌بینی تغییرات آینده را تشکیل می‌دهد. مدل MC تبدیل احتمالی بین کاربری‌های مختلف زمین را از طریق یک ماتریس احتمال انتقال توصیف می‌کند. هر ورودی در ماتریس نشان‌دهنده احتمال تغییر حالت پیکسل از یک کاربری به کاربری دیگر است.

• مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف (CA-MARKOV)

مدل CA-MARKOV ترکیبی از مدل سلول خودکار، مدل زنجیره مارکوف و ارزیابی چندمعیاره زمین و پیش‌بینی کاربری اراضی به‌منظور تجزیه و تحلیل مکانی تغییرات می‌باشد (Kumar و همکاران، ۲۰۱۶). با تحلیل دو نقشه کاربری زمین با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال یافته و چند تصویر احتمالی شرطی تشکیل شده و با توجه به تعداد کلاس‌های کاربری تعیین می‌شود. ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هر کدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. ماتریس مساحت انتقال یافته، تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند، ثبت می‌کنند. تصاویر احتمال شرطی، احتمال اینکه هر نوع از پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کند. در واقع مدل CA-MARKOV مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند.

• ارزیابی صحت طبقه‌بندی

پس از طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، لازم است تا صحت نقشه‌ها مورد ارزیابی قرار بگیرد. به همین منظور از تشکیل ماتریس خطا جهت محاسبه ضریب کاپا و صحت نقشه‌های کاربری استفاده می‌شود. ماتریس خطا از مقایسه بین تصویر واقعیت زمینی و تصویر طبقه‌بندی شده محاسبه می‌شود. در این ماتریس دریاچه‌هایی که بر روی قطر اصلی واقع شدند، پیکسل‌هایی هستند که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند و دریاچه‌های خارج از قطر اصلی پیکسل‌های درست طبقه‌بندی نشده می‌باشند و در نهایت ضریب کاپا محاسبه می‌شود و نحوه محاسبه آن در رابطه Alabi و همکاران (۲۰۲۱) ارائه شده است. مقدار ضریب کاپا بین صفر و یک متغیر است که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، میزان درستی نقشه حاصل از طبقه‌بندی به واقعیت نزدیک‌تر است.

$$Kappa = (Po - Pc) / (1 - pc) \times 100$$

Po: توافق مود انتظار Po: درستی مشاهده

• مدل سلولی خودکار (CA)

مدل سلولی خودکار (CA) یک تکنیک مدل‌سازی فضایی است که به طور گسترده در شبیه‌سازی سیستم‌های شهری استفاده شده است. محبوبیت CA ناشی از توانایی آن در مدل‌سازی مجاورت است و به‌عنوان یک عنصر فضایی ضروری در نظر گرفته می‌شود که منعکس‌کننده پویایی تغییرات کاربری زمین است. CA فرض می‌کند اگر مناطق همسایه به آن دسته تعلق داشته باشند، یک منطقه تمایل بیشتری به تغییر به یک طبقه کاربری اراضی دارد (Memarian و همکاران، ۲۰۱۲).

نتایج و بحث

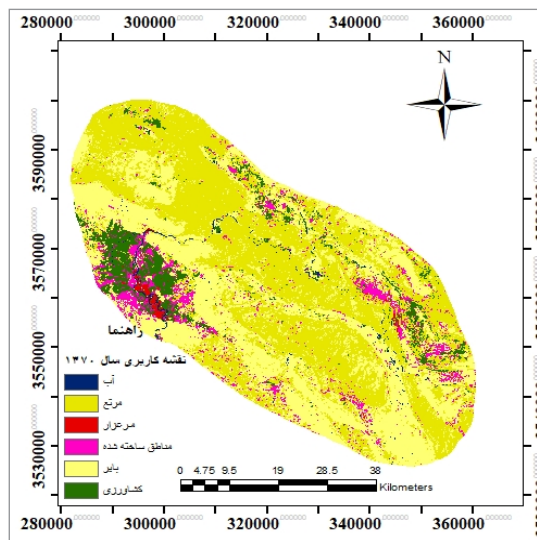
نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده مربوط به سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۹ که از روش طبقه‌بندی شی‌گرا تهیه شده‌اند، به ترتیب در شکل‌های (۲، ۳ و ۴) نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است؛ تصاویر به ۶ کلاس کاربری آب، مناطق ساخته شده، اراضی کشاورزی، اراضی بایر، مراتع و مرغزارها تقسیم‌بندی شدند.

جدول (۲) نتایج مربوط به آشکارسازی تغییرات را در هرکدام از کاربری‌ها نشان می‌دهد. مراتع در طول دوره مطالعه پوشش غالب منطقه را تشکیل می‌دهند. در طول دوره اول مطالعه مساحت مراتع روند افزایشی داشته و از ۱۵۹۵۰۱ هکتار در سال ۱۳۷۰ به ۱۸۷۰۷۸ هکتار در سال ۱۳۸۷ رسیده است و در طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹ روند کاهشی داشته‌اند و به ۱۷۴۲۴۶ هکتار در سال ۱۳۹۹ رسیده است. کاربری مناطق ساخته شده در سال ۱۳۷۰، حدود ۲۰۶۸۳ هکتار از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند که تا سال ۱۳۸۷ روند کاهشی داشته و در این سال ۷۱۲۷ هکتار از منطقه را دربرگرفته است اما در سال ۱۳۹۹ وسعت این کاربری به ۱۰۷۴۸ هکتار است. اراضی کشاورزی در طی بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۷ روند رو به کاهشی داشته و از ۲۱۸۱۹ هکتار در سال ۱۳۷۰ به ۱۶۰۱۹ هکتار رسیده است و در دوره دوم (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹) افزایش یافته و به ۳۶۸۹۴ هکتار در سال ۱۳۹۹ رسیده است. در طول دوره مطالعاتی اراضی بایر روند رو به کاهش داشته‌اند به طوری که مساحت این اراضی در سال ۱۳۷۰ حدود ۱۳۲۶۵۵ هکتار، سال ۱۳۸۷ حدود ۱۲۲۷۱۴ هکتار و در سال ۱۳۹۹ حدود ۱۰۵۷۴۶ هکتار را بوده است. همچنین مناطق آبی نیز در طول دوره مطالعاتی روند افزایشی را داشته و از ۲۵۹۱ هکتار در سال ۱۳۷۰ به ۳۷۹۶ هکتار در سال ۱۳۸۷ رسیده است و در سال ۱۳۹۹، ۹۵۷۵ هکتار از منطقه را دربرگرفته است. مرغزارها نیز در طول دوره اول افزایش داشته و از ۱۹۹۶ هکتار در سال ۱۳۷۰ به ۲۵۱۲ کیلومترمربع در سال ۱۳۸۷ رسیده است و همچنین دوره دوم، از ۲۵۱۲ هکتار در سال ۱۳۸۷ به ۲۰۳۸ هکتار در سال ۱۳۹۹ رسیده است.

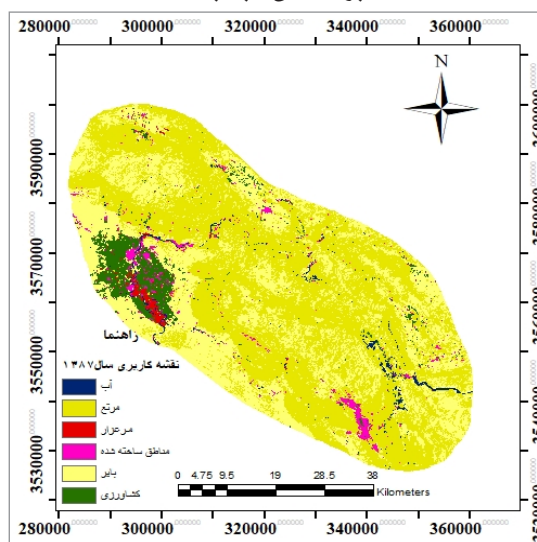
جدول ۲- میزان مساحت طبقات کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹

| نوع کاربری | سال ۱۳۷۰ | | سال ۱۳۸۷ | | سال ۱۳۹۹ | |
|-----------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | درصد | هکتار | درصد | هکتار | درصد | هکتار |
| آب | ۰/۶۷ | ۲۵۹۱ | ۱/۱۱ | ۳۷۹۶ | ۲/۵۲ | ۹۵۷۵ |
| مناطق ساخته شده | ۶/۱۵ | ۲۰۶۸۳ | ۲/۱ | ۷۱۲۷ | ۳/۱۸ | ۱۰۷۴۸ |
| کشاورزی | ۶/۵ | ۲۱۸۱۹ | ۴/۲۵ | ۱۶۰۱۹ | ۱۰/۷ | ۳۶۸۹۴ |
| بایر | ۳۹/۱ | ۱۳۲۶۵۵ | ۳۶/۷ | ۱۲۲۷۱۴ | ۳۱/۷ | ۱۰۵۷۴۶ |
| مرتع | ۴۷ | ۱۵۹۵۰۱ | ۵۵/۱ | ۱۸۷۰۷۸ | ۵۱/۳ | ۱۷۴۲۴۶ |
| مرغزار | ۰/۵۸ | ۱۹۹۶ | ۰/۷۴ | ۲۵۱۲ | ۰/۶ | ۲۰۳۸ |
| مجموع | ۱۰۰ | ۳۳۹۲۴۶ | ۱۰۰ | ۳۳۹۲۴۶ | ۱۰۰ | ۳۳۹۲۴۶ |

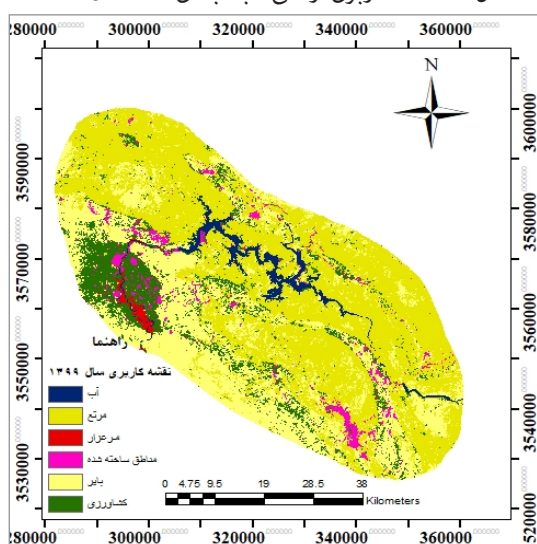
جدول (۳) نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده و ضریب کاپا را نشان می‌دهد. مقادیر ضریب کاپا نشان از دقت بالای طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی دارد.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی طبقه‌بندی شده سال ۱۳۷۰



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی طبقه‌بندی شده سال ۱۳۸۷



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی طبقه‌بندی شده سال ۱۳۹۹

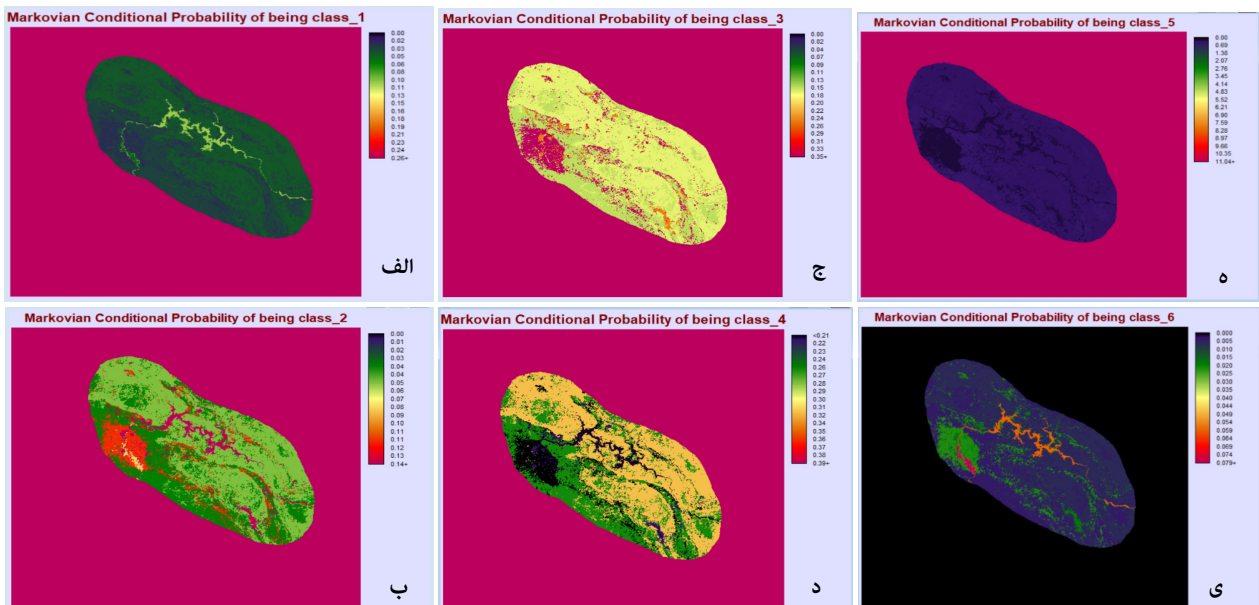
جدول ۳- شاخص کاپا

| سال | ضریب کاپا |
|------|-----------|
| ۱۳۷۰ | ۰/۹۲ |
| ۱۳۸۷ | ۰/۹۱ |
| ۱۳۹۹ | ۰/۹۳ |

زنجیره‌ای مارکوف (CA-MARKOV) از جدول مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمالی شرطی شد و ماتریس احتمال انتقال برای دو دوره بررسی شد. نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۲۹ تولید شد. باتوجه به اینکه در مدل مارکوف به تنهایی نتیجه مطلوب به دلیل نداشتن مؤلفه مکانی حاصل نمی‌شود با ترکیب مدل سلول‌های خودکار با مدل مارکوف ابتدا با نقشه سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۷ نقشه سال ۱۳۹۹ بررسی می‌شود؛ برای نقشه تهیه شده ضریب کاپا محاسبه شد. ضریب کاپا برای نقشه سال ۱۳۹۹، ۸۵ درصد به دست آمد که جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری برای دوره دوم قابل قبول می‌باشد. سپس با نقشه سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۹ نقشه کاربری اراضی برای سال ۱۴۲۹ با مؤلفه مکانی پیش‌بینی می‌شود.

• مدل‌سازی تغییرات به‌وسیله مدل‌های سلول خودکار و مارکوف در سال ۱۴۲۹

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، جهت اجرای مدل مارکوف از نقشه سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۹ به‌عنوان نقشه‌های کاربری اراضی در دوره اول و دوم استفاده شد. به‌منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل



شکل ۵- (الف) احتمال شرطی بودن کلاس آب، (ب) احتمال شرطی بودن کلاس ساخته شده، (ج) احتمال شرطی بودن کلاس کشاورزی، (د) احتمال شرطی بودن کلاس بایر، (ه) احتمال شرطی بودن کلاس مرتع، (و) احتمال شرطی بودن کلاس مرغزار

جدول ۴- ماتریس تغییرات کاربری‌های اراضی از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۸۷ برحسب درصد از مساحت کل

| مرغزار | مرتع | بایر | کشاورزی | مناطق ساخته شده | آب | کلاس کاربری |
|--------|-------|-------|---------|-----------------|-------|-----------------|
| ۱۴/۲۳ | ۲۰/۵۷ | ۰ | ۶/۹۸ | ۹/۲۰ | ۴۹/۰۲ | آب |
| ۰/۶۱ | ۱۲/۱۷ | ۶۰/۰۸ | ۱۲/۲۵ | ۱۴/۱۸ | ۰/۴۱ | مناطق ساخته شده |
| ۳/۰۲ | ۷/۹۹ | ۳۷/۵۶ | ۴۷/۳۲ | ۳/۳۹ | ۰/۷۲ | کشاورزی |
| ۰/۰۳ | ۵۹/۹۱ | ۳۴/۶۰ | ۱/۱۸ | ۲/۸۷ | ۱/۴۲ | بایر |
| ۰/۱۴ | ۵۶/۸۶ | ۴۱/۹۸ | ۰/۸۱ | ۰/۱۴ | ۰/۰۷ | مرتع |
| ۵۲/۵۲ | ۱۵/۸۹ | ۰/۱۹ | ۱۹/۴۱ | ۴/۵۱ | ۷/۴۸ | مرغزار |

جدول ۵- ماتریس تغییرات کاربری‌های اراضی از سال ۱۳۸۷ تا سال ۱۳۹۹ برحسب درصد از مساحت کل

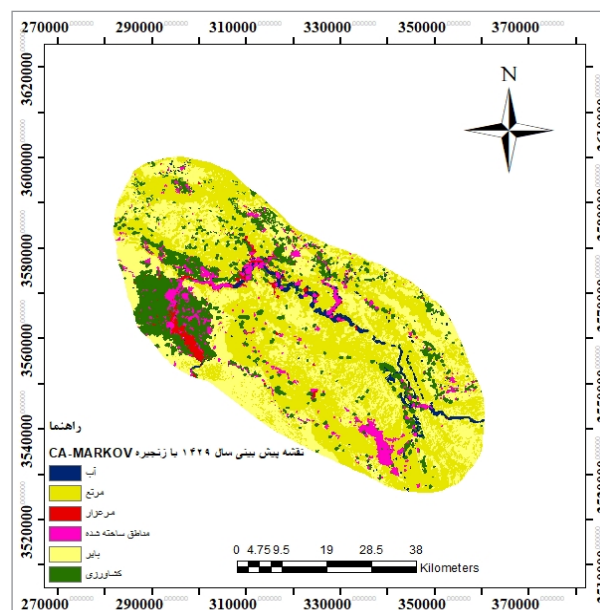
| مرغزار | مرتع | بایر | کشاورزی | مناطق ساخته شده | آب | کلاس کاربری |
|--------|-------|-------|---------|-----------------|-------|-----------------|
| ۵/۸۷ | ۲۴/۲۳ | ۲۱/۱۶ | ۱۶/۷۸ | ۲۱/۵۹ | ۱۰/۳۷ | آب |
| ۱/۸۲ | ۲۶/۱۶ | ۲۱/۶۱ | ۲۵/۰۴ | ۲۱/۴۹ | ۳/۸۹ | مناطق ساخته شده |
| ۲/۱۷ | ۲۳/۹۸ | ۱۵/۶۱ | ۴۴/۴۱ | ۱۱/۵۳ | ۲/۳۰ | کشاورزی |
| ۰/۴۱ | ۵۱/۶۱ | ۲۵/۸۵ | ۱۵/۴۲ | ۳/۵۲ | ۳/۲۵ | بایر |
| ۰/۶۴ | ۴۱/۱۰ | ۳۱/۹۳ | ۱۶/۷۰ | ۵/۲۴ | ۴/۳۹ | مرتع |
| ۱۸/۱۵ | ۲۲/۲۹ | ۱۱/۷۷ | ۳۵/۰۰ | ۷/۷۹ | ۴/۸۲ | مرغزار |

جدول ۶- مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۴۲۹

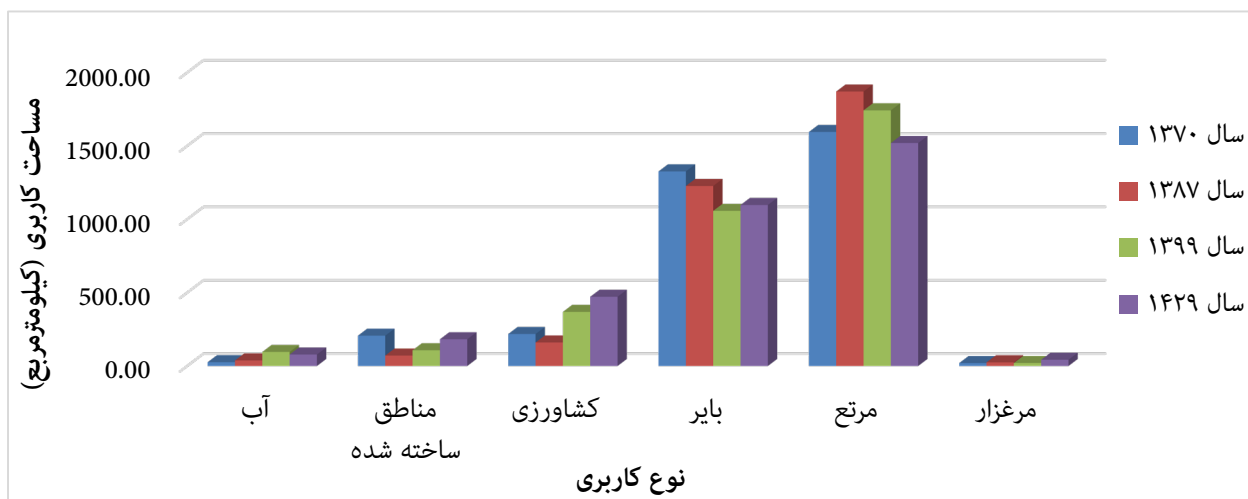
| نوع کاربری | مساحت | |
|-----------------|--------|-------|
| | هکتار | درصد |
| آب | ۷۸۴۲ | ۲/۳۱ |
| مناطق ساخته شده | ۱۰۸۹۲ | ۵/۳۷ |
| کشاورزی | ۴۷۱۹۱ | ۱۳/۹۱ |
| بایر | ۱۰۹۷۵۶ | ۳۲/۳۷ |
| مرتع | ۱۵۱۹۴۷ | ۴۴/۷۸ |
| مرغزار | ۴۲۷۵ | ۱/۲۶ |

باتوجه به نتایج آشکارسازی نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۲۹ (شکل ۶)، مناطق آبی در منطقه مورد مطالعه ۷۸۴۲ هکتار را به خود اختصاص داده‌اند که نسبت سال ۱۳۹۹ به کاهش مساحت همراه بوده است. کاربری مناطق ساخته شده روند افزایشی داشته و از ۱۰۷۴۸ هکتار در سال ۱۳۹۹ به ۱۰۸۹۲ هکتار در سال ۱۴۲۹ رسیده است. اراضی کشاورزی نیز روند افزایشی داشته و در سال ۱۴۲۹، ۴۷۱۹۷ هکتار از منطقه را تشکیل داده‌اند. مساحت مناطق بایر در طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۹ از ۱۰۵۷۴۶ هکتار به ۱۰۹۷۵۶ هکتار رسیده است. ولی مراتع کاهش مساحت داشته‌اند. مساحت این کاربری در سال ۱۳۹۹ حدود ۱۷۴۲۴۶ هکتار بوده است که در سال ۱۴۲۹ به ۱۵۱۹۴۷ هکتار رسیده است. در نهایت مرغزارها نیز از آخرین سال دوره تحقیق (۱۳۹۹) تا سال ۱۴۲۹ افزایش مساحت داشته که در سال ۱۴۲۹ حدود ۴۲۷۵ هکتار را تشکیل خواهد داد. جدول (۶) مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۴۲۹ را نشان می‌دهد.

احتمال انتقال تغییرات از یک کاربری در سال ۱۳۸۷ به نوع دیگر در سال ۱۳۹۹ از روش زنجیره مارکوف محاسبه شد. همان‌طور که از جدول (۴) مشخص است؛ طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۷ مناطق آبی ۴۹/۰۲ درصد، مناطق ساخته شده ۱۴/۱۸ درصد، اراضی کشاورزی ۴۷/۳۲ درصد، اراضی بایر ۳۴/۶۰ درصد، مراتع ۵۶/۸۶ درصد و مرغزارها ۵۲/۵۲ درصد بدون تغییر باقی خواهند ماند. بر اساس جدول (۵) طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹ کاربری کشاورزی و مراتع با ۴۴/۴۱ و ۴۱/۱۰ درصد ثبات بیشتری داشته‌اند.



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده با مدل زنجیره CA-MARKOV سال ۱۴۲۹



شکل ۷- مقایسه تغییرات کلاس‌های کاربری نسبت به هم در چهار سال مورد مطالعه

یک ماتریس احتمال مساحت و ۶ تصویر احتمال شرطی است. خروجی مدل سلول خودکار تصویر نهایی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۲۹ می‌باشد. نتایج حاصل از پیش‌بینی ترکیب زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در این تحقیق نشان می‌دهد در طول دوره مطالعه مناطق آبی افزایش وسعت داشته‌اند. مناطق ساخته شده که در سال ۱۳۷۰، ۶/۱۵ درصد از منطقه را تشکیل می‌دادند با کاهش مساحت همراه بوده و به ۲/۱ درصد رسیده است. اراضی کشاورزی با افزایش مساحت همراه بوده و از ۶/۵ درصد در سال ۱۳۷۰ به ۱۰/۷ درصد ۱۳۹۹ رسیده است. اراضی بایر در طول دوره مطالعاتی روند کاهشی داشته‌اند. مراتع در هر سال تحقیق پوشش غالب منطقه را تشکیل می‌دهند برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۴۷، ۵۵/۱ و ۵۱/۳ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. اما همان‌طور که در شکل (۶) مشخص است؛ در سال ۱۴۲۹ وسعت مناطق آبی، اراضی بایر و مراتع کاهش یافته و مناطق ساخته شده، اراضی کشاورزی و مرغزارها افزایش مساحت داشته‌اند. این نتایج بیانگر افزایش فعالیت‌های انسانی نظیر توسعه کشاورزی، تخریب مراتع و افزایش مناطق مسکونی و صنعتی در محدوده سد گتوند می‌باشد. باتوجه به انجام این پژوهش می‌توان گفت نقشه‌های کاربری شبیه‌سازی شده می‌توانند به‌عنوان سیستمی جهت هشدار عواقب فعالیت‌های صورت‌گرفته و اثرات محتمل در آینده در یک منطقه استفاده شوند. استفاده از داده‌های سنجش از دور جهت شناسایی تغییرات و چگونگی آن در گذشته و شبیه‌سازی پوشش کاربری زمین در آینده می‌تواند برنامه‌ریزان جهت مدیریت، برنامه‌ریزی و کاربرد سیاست‌های توسعه منطقه پایدار کمک کند.

نتیجه‌گیری

از لازمه‌های مدیریت صحیح مناطق جغرافیایی، داشتن آمار و اطلاعات درست و به‌هنگام از کاربری‌های موجود است. همچنین می‌توان با پیش‌بینی تغییرات و پوشش سطح زمین از گسترش و تخریب منابع جلوگیری نمود و تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد. یکی از منابع مهم جهت مدیریت مناطق جغرافیایی و عرصه‌های منابع طبیعی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. تجزیه و تحلیل این داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند بینش‌های صحیح جهت تعامل انسان با محیط طبیعی را فراهم کند. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل تسلط بر روی پدیده‌های سطح زمین، ثبت ویژگی پدیده‌ها و اطلاعات مربوط به آن‌ها توسط طیف الکترومغناطیسی، بهترین وسیله جهت ارزیابی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد (نظریان و همکاران، ۱۳۸۹). در این پژوهش از تصاویر لندست ۵ در سال ۱۳۷۰، تصاویر لندست ۷ در سال ۱۳۸۷ و تصاویر لندست ۸ در سال ۱۳۹۹ جهت آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات تا سال ۱۴۲۹ بهره گرفته شد. در این روش از سه نقشه کاربری تهیه شده برای دو دوره مطالعه استفاده شد. جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از طبقه‌بندی شی‌گرا در شش کلاس کاربری استفاده شد. ضریب کاپای نقشه‌های تهیه شده بالا ۹۰ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده قابلیت بالا و اعتمادپذیری این روش در استخراج نقشه‌های کاربری اراضی است. در این تحقیق از روش زنجیره مارکوف و تلفیق آن با سلول‌های خودکار جهت پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی در سال ۱۴۲۹ استفاده شد. خروجی زنجیره مارکوف به‌صورت یک ماتریس احتمال انتقال،

- Du Y., Teillet P.M. and Cihlar, J. 2002. RAadiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection, *Remote Sensing of Environment*, 82: 123-134.
- Gupta R. and Sharma L.K. 2020. Efficacy of spatial land Change modeler as a forecasting indicator for anthropogenic change dynamics over five decades: a case study of Shoolpaneshwar Wildlife Sanctuary, Gujarat, India. *Ecol. Indic*, 112: 106171.
- Huang L. and Ni N. 2008. Object-Oriented classification of high resolution satellite image for better accuracy. *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Shanghai, P. R. China.
- Jie Z. 2011. Accuracy assessments and uncertainty analysis of spatially explicit modeling for land use/cover change and urbanization: A case in Beijing metropolitan area. *SCIENCE CHINA Earth Sciences* 2010, 53(2): 173-80.
- Khoi D.D. and Murayama Y. 2010. Forecasting areas vulnerable to forest conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. *Remote Sensing*, 2(5): 1249-1272.
- Kumar K.S., Kumari K.P. and Bhaskar P.U. 2016. Application of Markov Chain & Cellular Automata based model for prediction of Urban transitions. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*. IEEE. Chennai, India.
- Li Z.T., Li M. and Xia, B.C. 2020. Spatio-temporal dynamics of ecological security pattern of the Pearl River Delta urban agglomeration based on LUCC simulation. *Ecol. Indic*, 114: 106319.
- Memarian H., Balasundram S.K., Talib J.B., Sung C.T.B. Sood A.M. and Abbaspour K. 2012. Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia. *Journal of Geographic Information System*, 4(6): 542-554.
- انصاری، ا. ۱۳۹۵. شناسایی کانون‌های برداشت و عوامل موثر در بروز طوفان‌های گرد و غبار در منطقه تالاب کویری میقان اراک. دانشگاه اراک. اراک.
- رضایان، س.، جوزی، ع.، ایزدینیا، م.، مرشدی، ج. و مرادی مجد، ن. ۱۳۹۳. تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر مورفولوژی رودخانه کارون (مطالعه موردی: محدوده سد گتوند تا تنگ عقیلی شوشتر). فصلنامه علوم محیطی، (۱۲(۱): ۷۷-۸۶.
- شکوهیده، ه.، پژوهش، م. و حیدری قهفرخی، ز. ۱۴۰۰. بررسی کارایی مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در شبیه‌سازی الگوی مکانی - مانی سد کارون ۳. مرکز توسعه پژوهش‌های نوین، (۱): ۷-۱۶۱-۱۷۷.
- علی خواه اصل، م. و رضوانی، ف. ۱۳۹۷. پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در افق ۱۴۰۷ با استفاده مدل تلفیقی زنجیره‌ای مارکوف و سلول خودکار؛ مطالعه موردی: حوزه آبخیز مشرف به دریاچه بزنگان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، (۳): ۷۴-۸۷.
- نظریان، ا.ا.، قربانی، م. و کوهبانی، ح.ر. ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز طالقان در دوره زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰. *مجله علمی پژوهشی مرتعداری*، (۳): ۴۰-۴۵۱.
- Alabi A., Tobore A., Oyerinde G. and Senjobi B. 2021. Forest cover change in Onigambari reserve, Ibadan, Nigeria: Application of vegetation index and Markov chain techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 24(3): 983-990
- Camacho Olmedo M.T., Paegelow M., Mas J. and Escobar F. 2018. Geomatic approaches for modeling land change scenarios. In: Cartwright, W., Gartner, G., Meng, L., Peterson, M.P. (Eds.), *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer International Publishing AG. Cham, Switzerland.
- Capitani C., Van Soesbergen A., Mukama K., Malugu I. and Mbilinyi et al. 2019. Scenarios of land use and land cover change and their multiple impacts on natural capital in Tanzania. *Environ. Conserv*, 46: 17-24.
- Clarke K.C., Hoppen S. and Gaydos L. 1997. A self-modelling cellular automata model of historical urbanization in the San Francisco bay area. *Environ. Plan*, 24: 247- 261.

- Wang Q., Guan Q., Lin J., Luo H., Ten Z. and Ma Y. 2021. Simulating land use/land cover change in an arid region with the coupling models. *Ecological Indicators*, 122(2021): 107231.
- Wu J. and Hobbs R. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landsc. Ecol*, 17: 355–365.
- Zhao Z., Zhang Y., Liu L., Liu F. and Zhang H. 2015. Recent changes in wetlands on the Tibetan Plateau: a review. *J. Geogr. Sci*, 25: 879–896.