

Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods

Tayebbeh Irani^a, Hiran Abghari^{*b}, Ali Akbar Rasouli^c

^a PhD graduate, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

^b Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

^c Professor in Environmental Sciences, University of Tabriz, Tbriz, Iran &

Professor Department Faculty of Science and Engineering, Macquarie University, Sydney, NSW, Australia.

Received: 20 May 2023

Revised: 24 July 2023

Accepted: 9 August 2023

Abstract

The water level reduction in Lake Urmia and its effects on the surrounding environment has been among the important national and international challenges in the past two decades. Therefore, this study aimed to investigate the current status and predict the future state of land use in the Gadarchai watershed, located in West Azerbaijan Province, which is one of the important sub-watersheds of the Lake Urmia basin. For this purpose, Sentinel-2 satellite images for 2016, 2020, and 2022 were obtained from the European Union's Copernicus website. Then, preprocessing methods were applied in various software environments, and the relevant images were sent to the eCognition software environment. In this environment, using various basic and object-oriented methods (especially segmentation and production of different coefficient layers), the nearest neighbor classification method was implemented, and land use maps were produced. Finally, the Markov chain model was used to predict changes in land use in future years. To verify the accuracy of the Markov chain model, the predicted land use change map for 2022 was compared with the 2022 classification map. The research results showed that with the application of basic methods, especially nearest neighbor classification, it is possible to produce land use maps with high accuracy (90% kappa coefficient). Also, by applying the Markov model, land use change maps with an acceptable accuracy level (around 80%) are possible. The final results indicate that by the year 2028, agricultural land use (13.89%), dry farming (14.1%), residential areas (0.33%), and salt pans of Lake Urmia (26%) will increase. It should be noted that the soil use class will decrease by 10.26%, and pastures will decrease by 5.35%. Overall, the final models demonstrate the high accuracy of basic and object-oriented methods and the suitable performance of the Markov model in the process of studying land use changes.

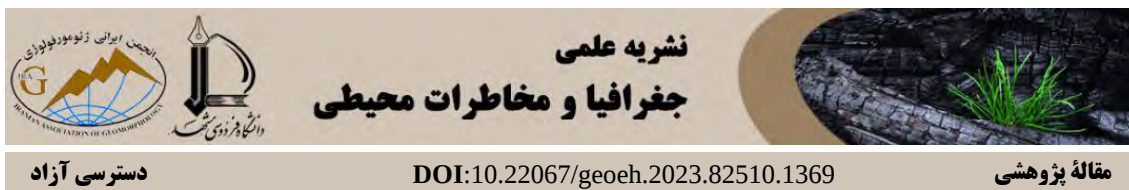
Keywords: Land use changes, Spatial analysis, Markov chain model, Water resource sustainability, Object-oriented classification, Lake Urmia

*. Corresponding author: Hiran Abghari Email: h.abghari@urmia.ac.ir Tel: +989148071900

How to cite this Article: Irani, T., Abghari, H., & Rasouli, A. (2024). Prediction of Landuse Changes Applying Knowledge-Based and Markov Chain Methods. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(2), 316-338.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)



پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش های پردازش شیء گرا و زنجیره مارکوف

طیبه ایرانی- فارغ التحصیل دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران 
 هیراد عبقری^۱- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران 
 علی اکبر رسولی- استاد گروه علوم محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز، ایران 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱۸

چکیده

کاهش سطح تراز آبی دریاچه ارومیه و اثرات آن بر محیط پیرامون دریاچه از موضوعات و چالش های مهم ملی و بین المللی در دو دهه اخیر بوده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته یکی از مهم ترین عامل اثرگذار بر این روند تغییرات اراضی، به ویژه کشاورزی بوده است. بر همین اساس هدف تحقیق حاضر بررسی وضع فعلی و پیش بینی وضعیت آتی کاربری اراضی حوزه آبخیز گدارچای واقع در استان آذربایجان غربی یکی از زیر حوضه های مهم حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. به همین منظور ابتدا تصاویر ماهواره ای سنیتل-۲ برای سال های میلادی ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ از سایت کپورنیک اتحادیه اروپا دریافت گردید. سپس روش های پیش پردازش در محیط نرم افزارهای مختلف اعمال و تصاویر مربوطه به محیط نرم افزار eCognition ارسال شد. در این محیط با استفاده از روش های مختلف دانش پایه و شیء گرا (به ویژه سگمنت سازی و تولید لایه های ضرایب مختلف) روش طبقه بندی نزدیک ترین همسایگی اجرا و نقشه های کاربری اراضی تولید شد. در نهایت از مدل زنجیره مارکوف به منظور پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در سال های آتی استفاده گردید. برای بررسی صحت مدل CA مارکوف، ابتدا نقشه تغییرات پیش بینی شده سال ۲۰۲۲ با نقشه طبقه بندی ۲۰۲۲ صحت سنجی شد. نتایج تحقیق نشان داد که با کاربرد روش های دانش پایه به ویژه طبقه بندی نزدیک ترین همسایگی امکان تولید نقشه های کاربری اراضی با دقت بالا (ضریب کاپا ۹۰ درصد) امکان پذیر است. ضمناً با اعمال مدل مارکوف نقشه های تغییرات کاربری اراضی با دقت قابل قبول (در حد ۸۰ درصد) امکان پذیر است. نتایج نهایی مبین این واقعیت است که تا سال ۲۰۲۸ میلادی کاربری اراضی کشاورزی (۱۳۸۹) کشت دیم (۱/۱۴) محدوده های مسکونی (۰/۳۳) و عرصه های نمکی دریاچه ارومیه حدود (۲۶) درصد افزایش خواهد داشت. یادآور می گردد کلاس کاربری خاک در حد (۱۰/۲۶) و مراتع به میزان (۵/۳۵) درصد کاهش خواهند داشت. در مجموع مدل های نهایی مبین دقت بالایی روش های دانش پایه و شیء گرا و کارایی مناسب مدل مارکوف در روند مطالعه تغییرات کاربری اراضی هستند.

کلیدواژه ها: تغییرات کاربری اراضی، تحلیل مکانی، مدل زنجیره مارکوف، پایداری منابع آبی، طبقه بندی شیء گرا، دریاچه ارومیه

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عامل‌ها برای درک تغییر محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی-مکانی تغییر کاربری زمین است (Kumar, Bhaskar, & Padmakumari, 2015). تغییر کاربری زمین با عامل‌هایی مانند افزایش ارتفاع در حوزه‌های آبخیز، افزایش ظرفیت سیلابی رودخانه‌ها و افزایش ارتفاع آب بر حجم رواناب در رودخانه تأثیر خواهد داشت (Moe, et al., 2017). آگاهی از تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی زمین در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای است. پیشرفت در درک حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین می‌تواند در شناسایی و تشخیص فرآیندهای زمین (سیلاب و...) در آینده مناسب باشد (Armenteras, Murcia, González, Barón, & Arias, 2019)، بررسی تغییرات می‌تواند به درک فرآیندهای انسانی کمک کرده تا بتوان از میزان تخریب ایجاد شده جلوگیری شود (Donnay, Longley, & Barnsley, 2001). تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی، بخش زیادی از اطلاعات موردنیاز متخصصان و برنامه‌ریزان توسعه شهری و روستایی را فراهم می‌کند. تهیه این اطلاعات در سطح وسیع و با دقت بالا از طریق انجام عملیات زمینی امری هزینه‌بر، زمان‌بر و در مواردی غیرممکن است. امروزه فناوری سنجش از راه دور راهکاری ارزشمند در جهت شناسایی، تشخیص، پایش، و پهنه‌بندی منابع طبیعی به‌ویژه در مورد روند تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، در مناطق مختلف جهان به‌صورت علمی مورد استناد قرار خواهد گرفت (رسولی، ۱۳۷۸).

منطقه‌های وسیع حوزه‌های آبخیز توسط داده‌های سنجش‌ازدور پوشش داده می‌شوند و همچنین پوشش زمانی زیاد این داده‌ها اطلاعات باارزشی از مکان، فرآیند، نسبت، روند طبیعی و الگوی تغییر پوشش کاربری زمین فراهم خواهد کرد (Munthali, Botai, Davis, Ade La Abiodun, 2019). برای شناخت الگوی کاربری زمین و مکانیزم‌های پیچیده مدل‌ها و تحلیل حالت‌های ممکن ابزاری توانا است. برخی از این مدل‌های شبیه‌سازی ممکن است به تصمیم‌گیری در مورد پیش‌بینی حالت‌های که در آینده اتفاق می‌افتد کمک کند. ازجمله مدل‌های که می‌توان نام برد، مدل‌ها اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف است (Samie, Deng, Jia, & Chen, 2017). مدل‌سازی مکانی تغییر کاربری زمین به اطلاعاتی در مورد اندازه تغییر و این‌که تغییر در کجا اتفاق خواهد افتاد (مقدار و مکان) نیازمند می‌باشد. مدل زنجیره مارکوف اطلاعاتی از مکان نمی‌دهد و تنها پویایی زمانی را به‌دست می‌آورد اما در مقایسه با مدل زنجیره مارکوف، مدل اتوماتای سلولی CA^1 دارای مؤلفه مکانی می‌باشد، که با قانون‌های خاصی از سلول‌های همسایه تغییر در آینده به‌دست می‌آورد. خروجی مدل مارکوف از نظر ماهیت، مکانی نیست؛ یعنی در آن از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین هیچ دانش و آگاهی وجود ندارد. زمان $t+1$ برای پیش‌بینی موقعیت کاربری‌ها، به همراه مدل مارکوف روش سلول‌های خودکار به کار گرفته می‌شود. مدل CA مارکوف

دانش کاربر و مؤلفه‌های مجاورت مکانی را به توزیع مکانی به مدل زنجیره مارکوف احتمال تبدیل کاربری‌ها را اضافه می‌کند (میتاق و همکاران، ۱۳۹۷). مدل CA مارکوف در پیش‌بینی مکانی-زمانی بسیار مفید است چون روند تغییر کاربری زمین و حالت ممکن در نظر می‌گیرد (Mujiono, Harmantyo, Rukmana, & Nadia, 2017)، به‌طور کلی توانایی شبیه‌سازی و مدل‌سازی حالت‌های ممکن مختلف با به‌کاربردن روش‌های نوین در پردازش تصویرهای ماهواره‌ای و مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی، امکان پیش‌بینی و بررسی تغییر زمانی - مکانی کاربری زمین را می‌دهد (Ebrahimi, Rasuly, & Ahmadpour, 2019). برای استخراج اطلاعات کاربردی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌ها محسوب می‌شود (Blaschke, 2010). در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای با سه روش کلی پردازش پیکسل پایه، شیء‌گرا، و آموزش‌گرای انجام می‌شود (جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۳). اخیراً روش جدید شیء‌گرا برای تجزیه و تحلیل تصویر استفاده می‌شود که قطعه‌بندی سطح پایین و بدون دانش را با روش‌های طبقه‌بندی فازی سطح بالا و مبتنی بر دانش ادغام می‌کند. این روش جدید از طریق نرم‌افزار eCognition، که شامل محیطی شیء‌گرا برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بود، طراحی شد (Tzotsos & Argialas, 2008). در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا اطلاعات طیفی، شکل و بافت‌ها را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد. معمولاً خطاهای متعددی در روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل قابل انتظار است که با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده و سایر عوامل متأثرکننده باید شناسایی شوند؛ اما مجموعه‌ای از پیکسل‌های نسبتاً مشابه عارضه مشخصی در روش‌های شیء‌گرا نشان می‌دهند؛ بنابراین، مجموعه پیکسل‌های مشابه تحت یک عنوان شناسایی و سپس عملیات طبقه‌بندی و فرآیندهای تقسیم‌بندی اعمال می‌گردد (رسولی، ۱۳۷۸). در این بخش از تحقیق به بررسی و مرور نتایج انجام شده، به چند نمونه بارز در خارج از کشور و ایران اشاره می‌گردد. (Munthali, Botai, Davis, Ade La Abiodun, 2019)، با استفاده از شبکه سلول خودکار مارکوف به پیش‌بینی پوشش کاربری اراضی مالووی پرداختند. در این پژوهش با ترکیب GIS1 و سنجش‌ازدور تلاش کردند تغییرات کاربری اراضی را برای بازه‌های زمان ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ بررسی کنند و از صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت نقشه‌ای تولید شده استفاده کردند. نتایج نشان داد کاربری‌های مناطق مسکونی، پهنه‌های آبی و زمین‌های بایر افزایش مساحت خواهند داشت و جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی کاهش مساحت خواهند داشت و همچنین بیشترین میزان تغییر مربوط به مناطق جنگلی به مقدار ۶۴ درصد خواهد بود. همچنین در تحقیق دیگری (Rasouli, Asgarova, & Safarov, 2021)، به بررسی تغییرات ۳۰ ساله LU/LC2 در منطقه قره‌باغ با استفاده از روش‌های تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مبتنی بر شیء‌گرا

1. Geographic Information System
2. Land Use/ Land Cover
3. Object-Based Image Analysis

(OBIA) پرداختند. نتایج ۱ (DTI) نشان داد که از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱، تغییرات LC کاملاً معنادار است. کاهش پوشش گیاهی (۱۰/۲٪)، افزایش سطح بدون پوشش گیاهی (۱۱/۸٪) و بیشترین تغییرات در اراضی تخریب شده با مساحت ۴۵/۱ کیلومترمربع (۲۶/۸٪) مشاهده شد. همچنین مساحت اراضی فرسوده ۳۵ درصد و اراضی بایر ۴/۴ درصد افزایش یافته است. دقت کلی ۰/۹۵ و کاپا ۰/۹۳ تغییرات قابل توجهی را در LC/LU تأیید کرد. (Igué, Houndagba, Gaiser, & Stahr, (2022) با استفاده از روش شیء‌گرا، نقشه کاربری اراضی حوزه‌های اویم و اونین با دقت کلی ۸۷ درصد تهیه شد و به‌عنوان کارآمدترین روش معرفی گردید. همچنین در ایران (Ghafari, Moradi, & Modarres, (2018) با استفاده از تصاویر لندست TM2 سال ۱۹۸۵ و OLI سال ۲۰۱۵ به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی شیء‌گرا و پیکسل پایه، در دشت‌های اصفهان-برخور، نجف‌آباد و چادگان و بررسی تغییر کاربری اراضی در طول دوره آماری پرداخته‌اند. طبقه‌بندی کاربری اراضی شامل قطعه‌بندی داده‌های تصویری با استفاده نرم‌افزار eCognition انجام گرفت. نتایج نمایانگر اینکه طبقه‌بندی شیء‌گرا با صحت کلی بالای ۹۰ درصد نسبت به طبقه‌بندی پیکسل پایه از دقت بالاتری برخوردار بوده است. (Abiyat, Attar Roshan, & Abiyat, (2020) در پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM4 و زنجیره CA مارکوف در شهر اهواز از طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند و نتایج نشان داد که پوشش گیاهی روند کاهشی، و بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته شده است و کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهنه‌آبی است و نتایج پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹ نشان‌دهنده کاهش سطح پوشش گیاهی می‌باشد. (Abedini, Pasban, & nezafat taklhe, (2023) با استفاده از روش شیء‌گرا نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز نیرچای در استان اردبیل تهیه کردند. با استفاده از طبقه‌بندی الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه شیء‌گرا، صحت طبقه‌بندی بررسی شد. نتایج نشان داد که با استفاده از روش شیء‌گرا، صحت کلی ۹۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۸ درصد در طبقه‌بندی به دست آمده است. علیرغم ارزشمند بودن تحقیقات انجام شده در مبحث بررسی تغییرات کاربری اراضی، در این تحقیق با دسترسی به داده‌های جدید فناوری سنجش‌ازدور تصاویر Sentinel2 با تفکیک مکانی ۱۰ متر و با اعمال روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای دانش پایه پرداخته است. از اهداف اصلی این تحقیق نظارت بر تغییرات زمانی-مکانی حوزه آبخیز گذارچای-دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲، و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۸ بود. به همین دلیل، چندین تکنیک پردازش تصویر سنجش‌ازدور با استفاده از تمام تصاویر موجود برای تشخیص تغییرات کاربری و پیش‌بینی آن برای آینده استفاده می‌شود؛ و درنهایت با استفاده از نتایج مدل، کاربری اراضی آینده پیش‌بینی

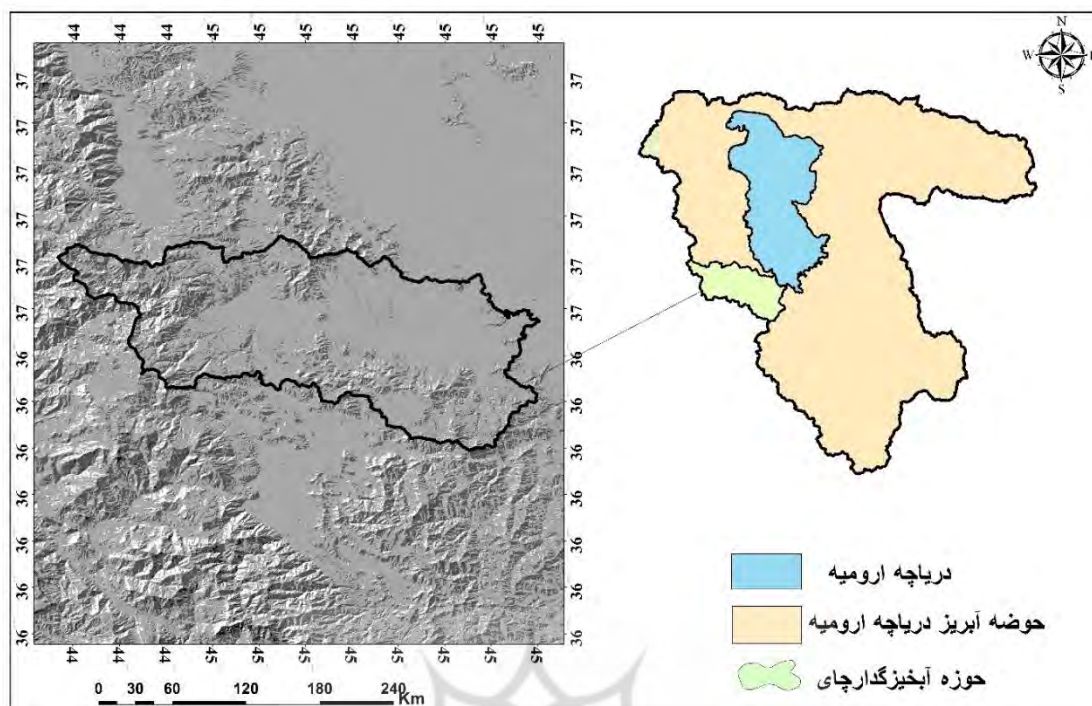
1. Dynamic Thresholds Indexing
2. Thematic Mapper
3. Operational Land Imager
4. Land Change Modeler

خواهد شد. با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی و محیطی محتمل در سرتاسر کشور ایران، می‌توان امیدوار بود مدل‌های نهایی تحقیق با جنبه‌های کاربردی متعددی همراه گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گدارچای سومین حوضه بزرگ حوضه آبریز دریاچه ارومیه در کشور ایران، بعد از زرينه‌رود و سيمينه‌رود است که به عرض‌های شمالی در موقعیت $45^{\circ}36'$ تا $37^{\circ}10'$ و طول‌های شرقی در موقعیت $42^{\circ}44'$ تا $45^{\circ}41'$ محدود است. وسعت این حوضه بالغ بر 2090 کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه گدارچای پیه جیک از کوه‌های اشنویه سرچشمه و از منطقه جاشیران وارد دشت سولدوز شده و بعد از تغذیه آب‌های زیرزمینی و آبیاری زمین‌های کشاورزی نهایتاً طی طریق 100 کیلومتر در روستای ممیند به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. رودخانه گدارچای دارای 12 ایستگاه هیدرومتری است که مهم‌ترین آن‌ها ایستگاه‌های پی قلعه، پل پیه جیک و پل بهراملو (جاده سنتو) است. بر روی رودخانه گدارچای سدی هنوز احداث نشده است؛ ولی سد حسنلو با حجم مخزن 96 میلیون مترمکعب، که خارج از بستر این رودخانه است، از رودخانه گدارچای آبیگری می‌کند؛ و از لحاظ ویژگی‌های فیزیوگرافیکی حوضه گدارچای، دارای 11 واحد کاری پل بهراملو سنتو، محمد شاه سفلی، نقده، بالچی، با یزید آباد، پیه جیک، چپرآباد، صوفیان، اشنویه، پی قلعه و دورود می‌باشد. پل بهراملو سنتو با مساحت $2029/84$ کیلومتر مربع بیشترین وسعت و صوفیان با مساحت $12/16$ کیلومتر مربع کمترین وسعت را به خود اختصاص داده است. این حوضه در محدوده ارتفاعی $1266/83$ تا $3474/62$ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بیش‌ترین شیب متوسط وزنی با مقدار $45/22$ درصد مربوط به واحدکاری پی قلعه و کمترین با مقدار $13/01$ درصد مربوط به واحد کاری صوفیان می‌باشد (Yamani, & Abbasi, 2020). در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدارچای در ایران و استان آذربایجان غربی ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گذارچای - دریاچه ارومیه
Fig.1. Geographical Location of the Godarchay Watershed - Lake Urmia

روش تحقیق

در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع (۱۳ باند برای Sentinel2) استفاده گردید. این تصاویر از اواخر سال ۲۰۱۵ میلادی از سایت Copernicus آژانس فضایی اتحادیه اروپا دریافت گردید. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

Table1- Information on Satellite Images Used in the Study of Land Use Change and Prediction

نام سنجنده	تاریخ کسب داده	قدرت تفکیک مکانی
Sentinel2	۲۰۱۶/۰۷/۱۶ معادل ۱۳۹۵/۴/۲۶	چند طیفی ۱۰ و ۶۰ متر
Sentinel2	۲۰۲۰/۰۶/۲۶ معادل ۱۳۹۹/۰۴/۶	چند طیفی ۱۰ و ۶۰ متر
Sentinel2	۲۰۲۲/۰۶/۲۰ معادل ۱۴۰۱/۰۳/۳۰	چند طیفی ۱۰ و ۶۰ متر

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به‌منظور پیش‌پردازش موزائیک‌سازی و برش تصاویر، تولید شاخص‌های کاربری اراضی، طبقه‌بندی کلاسیک تصاویر و ارسال لایه‌های تولید شده در محیط نرم‌افزارهای (ERDAS Imagine & ENVI) انجام شد.

۲-۲-۲- در مرحله پردازش برای ایجاد فضای کار نرم‌افزاری، ورود داده‌ها و تصاویر، ایجاد پروژه‌های موردنیاز، بعد از فراخوانی تصویر و ایجاد ترکیبی باندی مناسب، که در این تحقیق از باندهای ۲، ۳، ۴، ۸ و ۱۱ استفاده شد. بعد از ایجاد ترکیب باندی سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی) انجام شد. سگمنت‌سازی به مفهوم جداسازی پیکسل‌های تصویری در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای و یکپارچه‌سازی مجدد آن بر مبنای پارامترهای مختلف نظیر شباهت‌های بازتابشی، هندسی، تراکمی، فشردگی، ارتباط ذاتی آن‌ها باهمدیگر از طریق اعمال الگوریتم‌های تقسیم‌بندی متعدد تعریف می‌گردد (رسولی، ۱۳۸۷). نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 جهت طبقه‌بندی راه‌های مختلفی در پیش روی کاربر قرار می‌دهد. طبقه‌بندی‌هایی که غالباً در این زمینه و با استفاده از این نرم‌افزار انجام گرفته به‌صورت مراحل سگمنت‌سازی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی است. از آنجایی که در مرحله طبقه‌بندی شیء‌گرا تعریف شیء‌ها یا سگمنت‌ها است، به همین منظور برای سگمنت‌سازی، مقدار ۵۶، ۰/۳ و ۰/۷ به ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی مطلوب بودن در نظر گرفته شد. جهت تفکیک بهتر پوشش گیاهی از شاخص $(NDWI^1)$ و $(NDVI^2)$ استفاده شد. رابطه شاخص‌ها برای ماهواره Sentinel2 در رابطه ۱ و ۲ بیان شده است (Rasuly Pirouzian, Chnung, Moharrami, & Derafshi, 2015)

$$NDVI_{Sentinel2} = (Near\ Infraredb8 - REDb4) / (Near\ Infraredb8 + REDb4) \quad (1)$$

$$NDWI_{Sentinel2} = (Greenb3 - Near\ Infraredb8) / (Greenb3 + Near\ Infraredb8) \quad (2)$$

پس از ایجاد شاخص‌ها، با توجه به هدف تحقیق که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، کلاس‌های کاربری در نظر گرفته‌شده شامل کاربری پهنه آب، مسکونی، مرتع، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم و خاک است. در طبقه‌بندی تصویر با روش شیء‌گرا از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه NNC استفاده شد و متناسب با خصوصیات بصری و به کمک شاخص‌ها نمونه برای هرکدام از کلاس‌ها انتخاب و شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی تعریف شد و نقشه‌های کاربری اراضی برای ۳ دوره با روش شیء‌گرا استخراج گردید و مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی شده محاسبه گردید. در مرحله بعد پیش‌بینی تغییرات کاربری به کمک مارکوف و CA-مارکوف انجام شد.

پیش‌بینی روند تغییرات با مدل CA-مارکوف

1. Normalized Difference Water Index
2. Normalized Difference Vegetation Index

با توجه به توانایی الگوریتم تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، از این مدل برای پوشش سطح زمین و پیش‌بینی کاربری در آینده استفاده می‌شود. این مدل با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال^۱، ماتریس مساحت انتقال یافته^۲ و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد می‌گردد (بسته به تعداد کاربری‌ها)، ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هرکدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد (Mirakhorlo, & Rahimzadegan, 2018)، این مدل پیش‌بینی آینده را با ایجاد یک ماتریس انتقال احتمال تغییرات کاربری بین سال اول (T_0) و دوم (T_1) انجام می‌دهد. محاسبه پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین از طریق رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$S = (T_0 + T_1) = P_{ij} * S(t) \quad (3)$$

که در آن، $S(t)$ وضعیت کاربری سال اول و $S(t_1)$ وضعیت کاربری زمان دوم را نشان می‌دهد و P_{ij} ماتریس احتمال انتقال می‌باشد (Hamad & Kolo, 2018).

اساس تولید ماتریس احتمال انتقال این است که می‌توان از شرایط قبلی کاربری زمین برای پیش‌بینی استفاده کرد. برای تعیین ماتریس احتمال انتقال از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{vmatrix} \quad (0 \leq P_{ij} \leq 1) \quad (4)$$

که در آن، P_{ij} احتمال انتقال را از اولین سال (i) تا دومین سال (j) نشان می‌دهد (Mirakhorlo, & Rahimzadegan, 2018).

مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی ۲۰۲۲ با مدل CA مارکوف

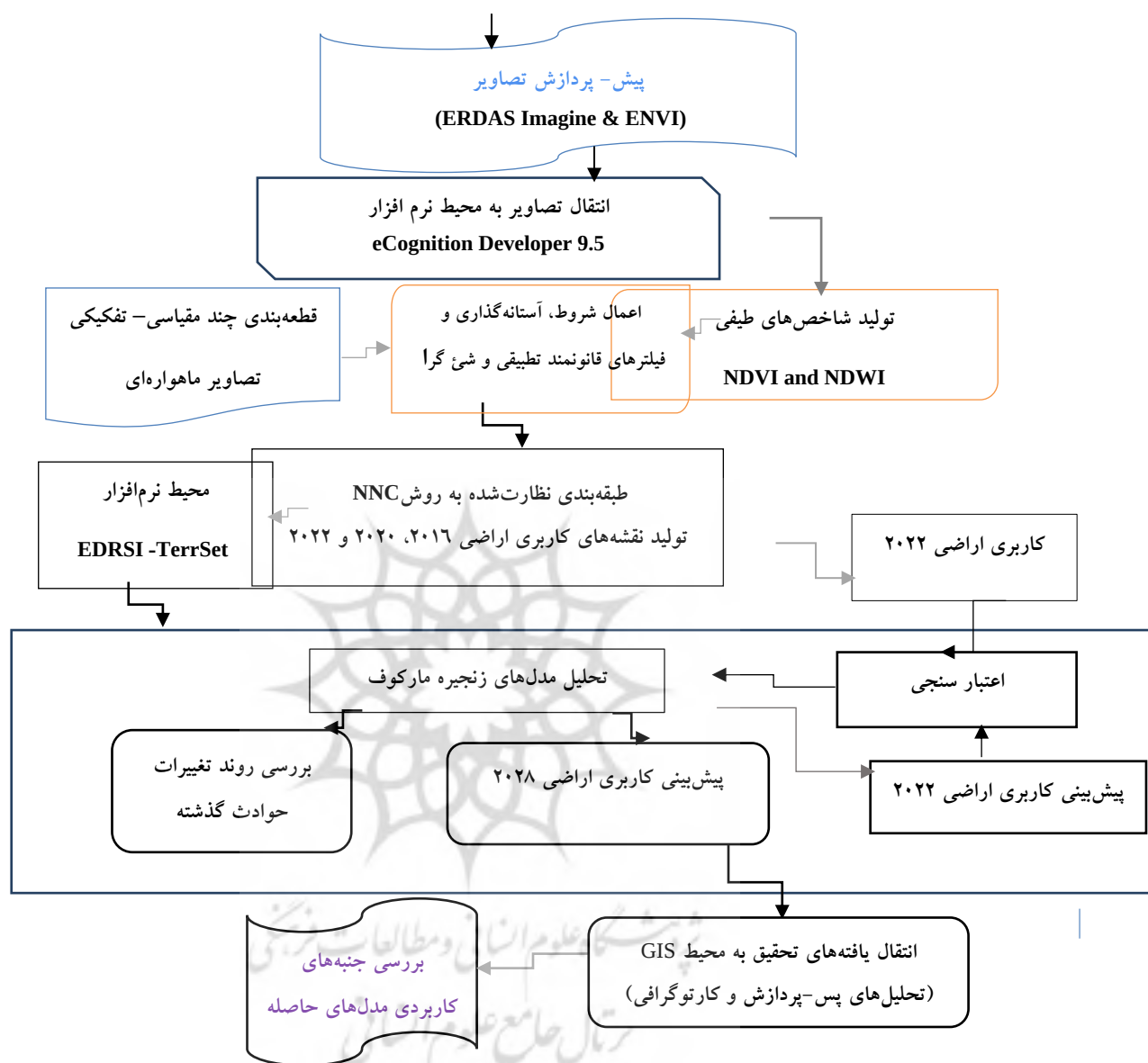
جهت تولید نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی ۲۰۲۲ ابتدا به وسیله مدل مارکوف از نقشه کاربری اراضی ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ برای تهیه ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال جهت صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی استفاده شد. ورودی مدل مارکوف تصویر طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰، فاصله زمانی بین این دو تصویر (۴ سال)، فاصله زمانی پیش‌بینی (۲ سال) می‌باشد.

مرحله پس‌پردازش ورود لایه‌های رقومی، فرمت‌سازی تصاویر طبقه‌بندی شده، ارزش‌گذاری کلاس‌های کاربری اراضی، تولید لایه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی، ارزیابی نتایج نهایی و ارسال نتایج به محیط نرم‌افزار ArcGIS10.8 ترکیب و تحلیل هدفمند لایه‌ها انجام می‌شود و نتایج نهایی استخراج گردید. در شکل (۲) فرآیند کلی انجام تحقیق ارائه شده است.

دریافت و مدیریت تصاویر ماهواره‌ای

Sentinel-2

1. Transition Probabilities
2. Transition Areas

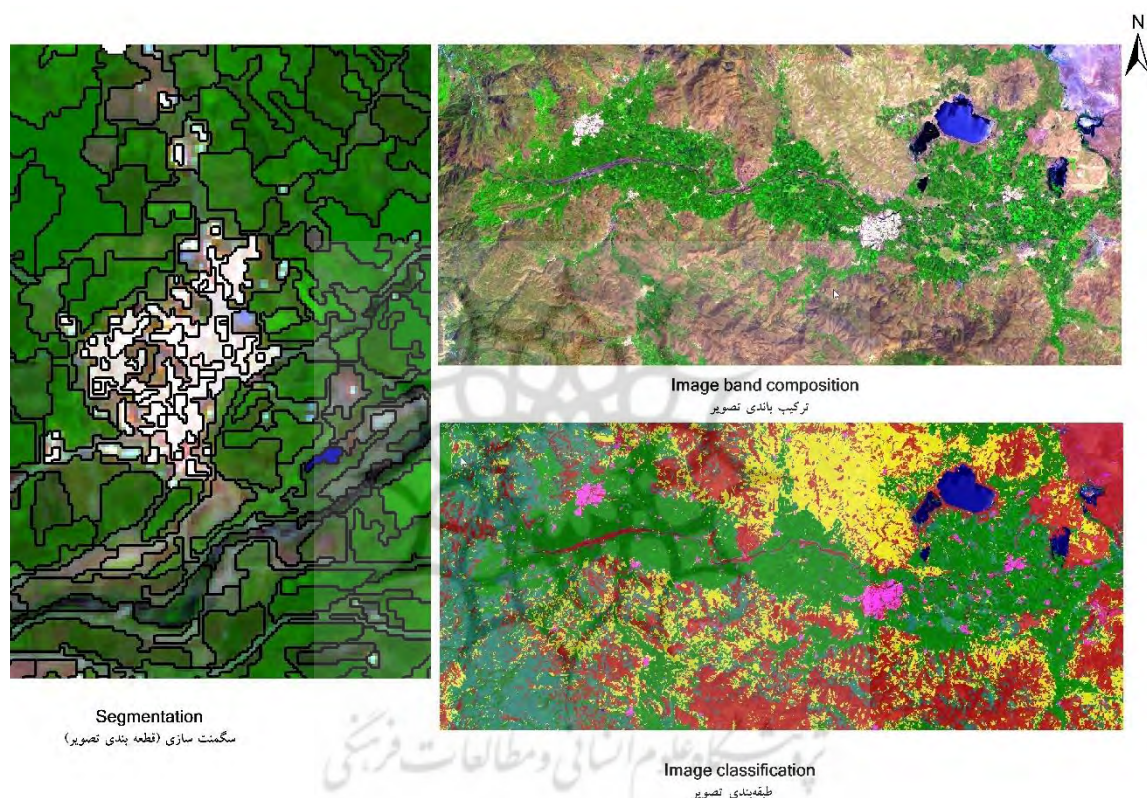


شکل ۲- نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق

Fig.2. Flowchart of research steps

نتایج و بحث

پردازش تصاویر به روش‌های شیء‌گرا پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای (تشکیل‌دهنده باندهای تصویری) با اعمال الگوریتم‌های سگمنت‌سازی (Segmentation) و با توجه به میزان بازتابش، شکل، تراکم و سایر ارزش‌های زمین-آماری به شیء‌های تصویری تبدیل گردید با اعمال روش‌های ایندکس‌سازی، طبقه‌بندی تصاویر انجام گردید. در این تحقیق از ترکیب باندهای ۲، ۳، ۴، ۸ و ۱۱ تصویر Sentinel2 استفاده شده است. نتایج ترکیب باندی تصویر، سگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصویر در شکل (۳) ارائه شده است.

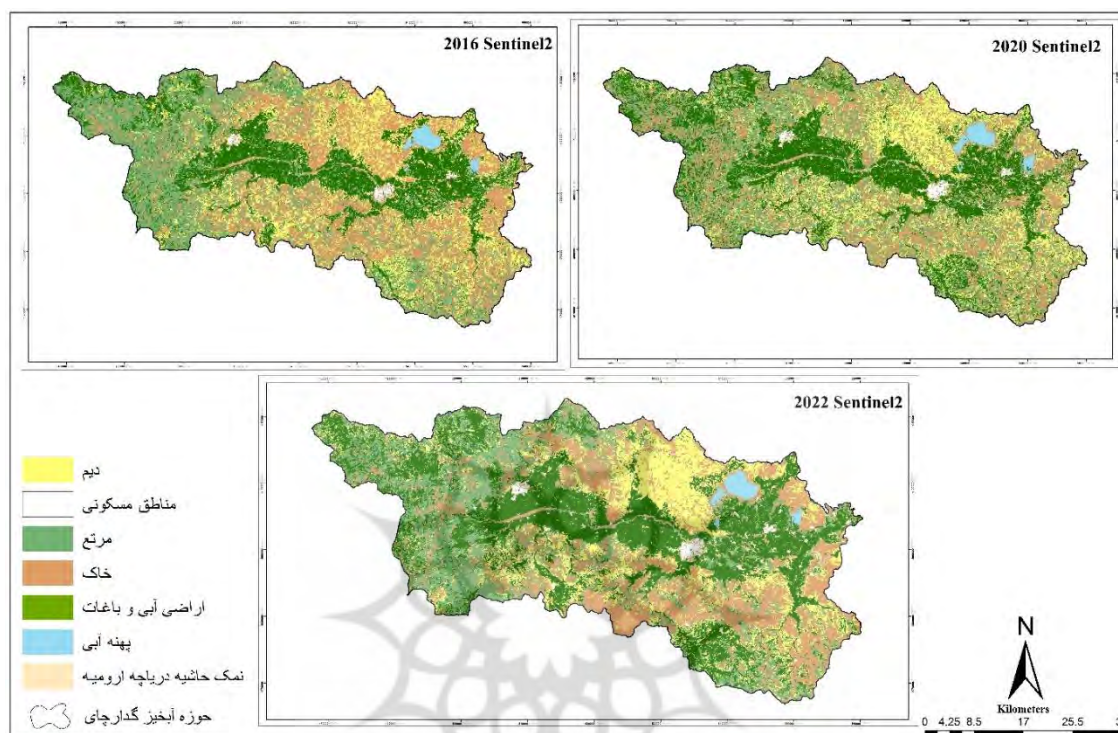


شکل ۳- ترکیب باندی، سگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصویر

Fig.3. Band composition, segmentation and image classification

بعد از طبقه‌بندی تصاویر به روش NNC در هفت کاربری پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی، نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ با دقت ۹۱ درصد، سال ۲۰۲۰ با دقت ۹۵ درصد و سال ۲۰۲۲ با دقت ۹۳ درصد تهیه گردید. مساحت هر کاربری محاسبه شد. شکل (۴) نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ نمایش می‌دهند. طبق نتایج برای سال ۲۰۱۶ مساحت پهنه آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۰۶/۹۲، ۵۰/۱۹، ۴۳۲، ۱۹/۶۶۰، ۳۵۱/۱۹، ۰/۰۵، ۶۰۴/۷۰ و ۲۲/۵۲ کیلومترمربع به دست آمد. برای سال ۲۰۲۰ مساحت پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۲۷/۳۹، ۵۳۵/۵، ۵۰۸/۳۴، ۳۵۷/۹۱، ۲/۳۱، ۶۳۵/۴۹

و ۲۴/۰۵ کیلومترمربع، همچنین در سال ۲۰۲۲ مساحت برای کاربری‌های پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۲۱/۳، ۵۱۸/۵، ۶۲۶/۲، ۳۷۴/۹، ۲/۸، ۵۱۹/۱ و ۲۸/۲ کیلومترمربع بود.



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی برای سال‌های موردبررسی در حوزه آبخیز گدارچای-دریاچه ارومیه

Fig.4. Land Use Maps for the Years Under Study in the Godarchay Watershed - Lake Urmia

صحت‌سنجی مدل CA مارکوف

به‌منظور صحت‌سنجی نقشه طبقه‌بندی ۲۰۲۲ با نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۲ مقایسه گردید. مقادیر Kno برابر با ۰/۸۶ درصد، Klocation برابر با ۰/۹۲ درصد، KlocationStrata برابر با ۰/۹۲ درصد و کاپای استاندارد (Kstandard) برابر با ۰/۸۳ درصد محاسبه گردید و با توجه به دقت بالای مدل در پیش‌بینی نقشه تغییرات سال ۲۰۲۲ اقدام به استخراج نقشه تغییرات ۲۰۲۸ شد. در این راستا، در مطالعه‌ای (HUA, 2017) از تصویر طبقه‌بندی‌شده و تصویر پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل CA مارکوف برای صحت‌سنجی استفاده شده است. ضریب کاپای استاندارد برابر با ۰/۸۴۳، کاپای موقعیت برابر با ۰/۸۶۳ و کاپای موقعیت استاندارد برابر با ۰/۸۶۳ به‌دست آمده است.

ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال جدول (۲) و (۳) با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ به دست آمد. ماتریس مساحت انتقال ۲۰۱۶-۲۰۲۰ به عنوان ورودی به مدل CA معرفی شد تا نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲ به دست آید.

جدول ۲- ماتریس مساحت انتقال یافته تغییر کاربری (۲۰۱۶-۲۰۲۰) با استفاده مدل زنجیره مارکوف بر حسب کیلومترمربع

Table2- Land Use Change Transition Area Matrix (2016-2020) Using the Markov Chain Model in Square Kilometers

کاربری اراضی	پهنه آبی	خاک	مناطق مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه
پهنه آبی	۶۰/۹۹	۱۷/۶۶	۰	۱/۷	۲/۹۶	۰/۳۶	۰/۶۸
خاک	۲۲/۹۱	۵۸۷/۲۱	۸/۶۸	۴۲/۲۰	۳۲۴/۲	۱۹۳/۵۴	۳
مناطق مسکونی	۰/۱۲	۵/۹۳	۱۶/۱۲	۰/۸۹	۳/۸۴	۲/۱۷	۰/۰۱
باغات و اراضی آبی	۶/۹۴	۷۵/۷۸	۱/۰۳	۵۲۵/۵۶	۱۶۶/۲۱	۳۹/۴۷	۴/۹۵
مرتع	۶/۵۳	۳۲۳/۲۶	۱/۳۳	۲۶۷/۵۵	۴۷۲/۱۵	۱۰۱/۷۳	۳/۵۵
دیم	۱/۰۵	۱۲۲/۰۳	۱/۳۵	۵۱/۹۸	۱۸۰/۱۶	۱۷۷/۸۷	۰/۳۴
نمک حاشیه دریاچه	۹/۶۳	۱/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۱۷	۰	۰/۱۳

براساس نتایج حاصل از جدول (۲)، ۶۰/۹۹ کیلومترمربع از پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ در سال ۲۰۲۰ در همان کاربری پهنه آبی باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ۱۷/۶۶ کیلومترمربع از پهنه آبی به کاربری خاک، ۱/۷ به کاربری باغات و اراضی آبی و ۲/۹۶ کیلومترمربع به کاربری مرتع در سال ۲۰۲۰ تبدیل خواهد شد.

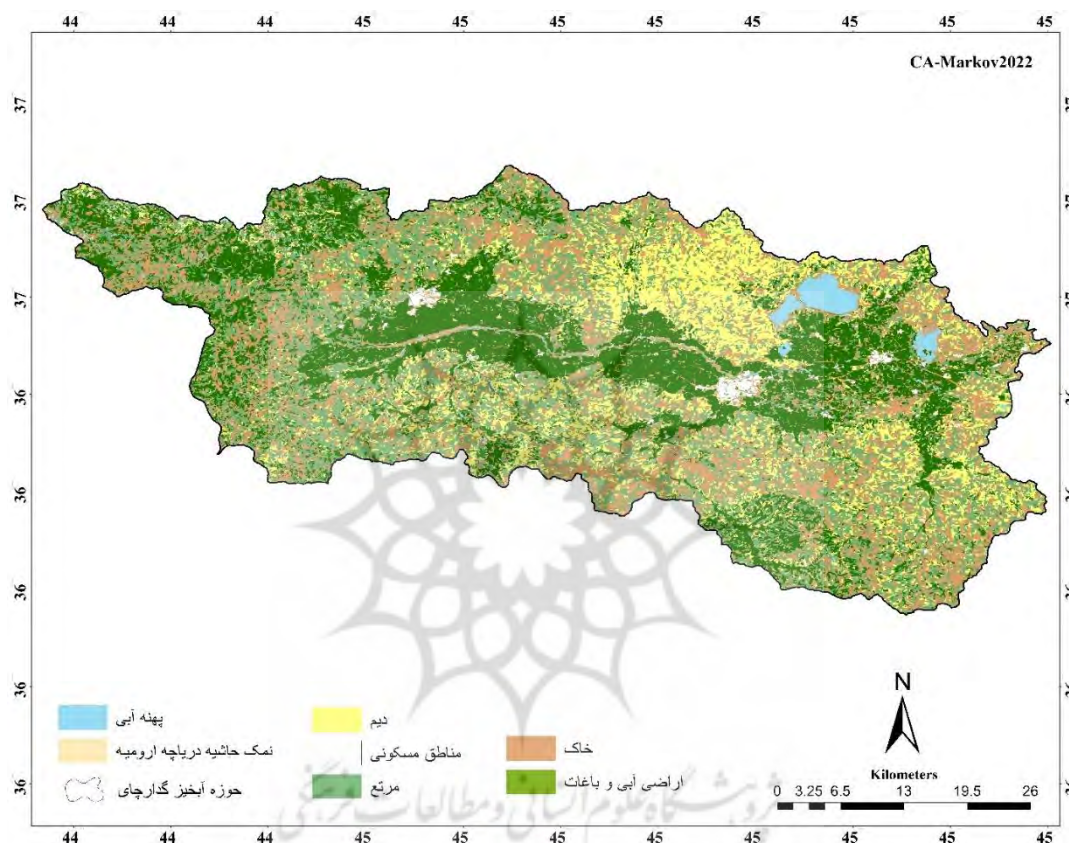
جدول ۳- ماتریس احتمال انتقال (پیش‌بینی شده برای ۲۰۲۲ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۱۶-۲۰۲۰) بر حسب درصد

Table3- Transition probability matrix (predicted for 2022 using 2016-2020 classification) in percentage

کاربری اراضی	پهنه آبی	خاک	مناطق مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه
پهنه آبی	۷۱/۰۸	۲۰/۶	۰	۲	۳/۴	۰/۴	۰/۸
خاک	۱/۹۲	۴۹/۳	۰/۷	۳/۵	۲۷/۲	۱۶/۳	۰/۳
مناطق مسکونی	۰/۴۲	۲۰/۳	۵۵/۲	۳	۱۳/۱	۷/۴	۰
باغات و اراضی آبی	۰/۸۴	۹/۲	۰/۱	۶۳/۷	۲۰/۱	۴/۸	۰/۶
مرتع	۰/۵۵	۲۷/۳	۰/۱	۲۲/۶	۳۹/۹	۸/۶	۰/۳
دیم	۰/۱۹	۲۲/۷	۰/۳	۹/۷	۳۳/۶	۳۳/۱	۰/۱
نمک حاشیه دریاچه	۷۹/۴۲	۸/۳	۰	۰/۱	۱/۴	۰	۰/۱

با توجه به نتایج جدول (۳) ۷۱/۰۸ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ در همان کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۲۲ باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ۲۰/۶ درصد، ۰/۰۰ درصد، ۲ درصد، ۳/۴ درصد و ۰/۴ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ به کاربری‌های خاک، مناطق مسکونی، باغات و اراضی آبی، مرتع و دیم تبدیل خواهد شد.

شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع (۲۰۱۶) و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان (۲۰۲۲) می‌باشد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس مساحت انتقال) به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۱۶ به‌عنوان تصویر پایه و تعداد دوره چهار سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۲ **شکل (۵)** تهیه شد.



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۲

Fig.5. Land Use Prediction Map for 2022

بعد از دستیابی به دقت مورد نیاز برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲، پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۸ انجام شد. برای پیش‌بینی تغییرات از مدل مارکوف و CA مارکوف استفاده شد. در سنجش دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف ضریب کاپا نشان‌دهنده میزان دقت پیش‌بینی مدل می‌باشد مقدار این ضریب بین ۰ و ۱ می‌باشد که در این تحقیق دقت بالای ۰/۸ به‌دست آمد؛ که هرچه‌قدر مقدار آن نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج [Yirsaw, Wu, Shi, Temesgeh, & Bekele, \(2017\)](#) در مطالعه‌ای ضریب کاپا برابر با ۰/۹۱ به‌دست آورد؛ که بیانگر دقت بالای مدل CA مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌باشد مطابقت دارد. برای به‌دست آوردن ماتریس مساحت انتقال ابتدا به‌وسیله مدل مارکوف

تصاویر طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ استفاده شد تا ماتریس مساحت انتقال ایجاد شده و به‌عنوان ورودی به مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۸ معرفی شود. فاصله زمانی بین دو تصویر ۶ سال و فاصله زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۲۸، ۶ سال در نظر گرفته شد. در این تحقیق ماتریس مساحت انتقال (۲۰۲۲-۲۰۱۶)، نقشه پایه (۲۰۲۲) و تعداد کل تکرارها به‌عنوان ورودی‌های مدل CA مارکوف بود. تعداد کل تکرارها بر اساس زمان تعیین شده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد (Sarabuddin Mondal, Sharma, Kappas, & Garg, 2019)؛ که در این مطالعه تعداد دوره‌ها ۶ سال انتخاب شد. ماتریس مساحت انتقال و ماتریس مساحت احتمال انتقال جدول (۴) و (۵) با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ به‌دست آمد.

جدول ۴- ماتریس مساحت انتقال یافته (۲۰۱۶-۲۰۲۲) با استفاده مدل زنجیره‌ای مارکوف بر حسب کیلومترمربع

Table4- Transition Area Matrix (2016-2022) Using the Markov Chain Model in Square Kilometers

کاربری اراضی	آب	خاک	مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه ارومیه
پهنه آبی	۲۳/۷۲	۱۰/۲۰	۰/۰۴	۱/۴۳	۰/۷۶	۰/۲۸	۰/۷۵
خاک	۵/۰۷	۶۴۶/۳۰	۱۳/۹۳	۷۱/۱۵	۲۰۹/۰۵	۱۹۷/۷۱	۲/۶۷
مسکونی	۰/۰۵	۶/۸۶	۲۰/۴۸	۲/۰۸	۵/۳۴	۲/۶۹	۰/۰۱
باغات و اراضی آبی	۵/۵۷	۳۶/۳۰	۱/۹۰	۷۷۰/۵۷	۱۷۷/۲۱	۵۲/۴۰	۴/۸۱
مرتع	۲/۱۲	۱۸۴/۱۵	۱/۷۸	۲۸۱/۶۰	۴۳۹/۴۱	۱۰۰/۶۱	۴/۹۵
دیم	۰/۳۹	۱۲۸/۱۷	۲/۴۷	۱۱۶/۷۵	۱۲۲/۰۴	۲۲۱/۵۵	۰/۳۷
نمک حاشیه دریاچه ارومیه	۰/۵۵	۱۳/۶۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰	۰/۰۴	۱/۲۸

براساس نتایج حاصل از جدول (۴)، ۲۳/۷۲ کیلومترمربع از کاربری آب در سال ۲۰۱۶ در سال ۲۰۲۲ در همان کاربری آب باقی خواهد ماند. هم‌چنین، ۱۰/۲۰ کیلومترمربع از کاربری آب به خاک، ۰/۰۴ کیلومترمربع به کاربری مسکونی، ۱/۴۳ کیلومترمربع به کاربری باغات و اراضی آبی، ۰/۷۶ کیلومترمربع از کاربری آب به مرتع، ۰/۲۸ کیلومترمربع به کاربری دیم و ۰/۷۵ کیلومترمربع به نمک حاشیه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۲۲ تبدیل خواهد شد. ماتریس احتمال انتقال، احتمال اینکه هر نوع کاربری اراضی را در یک دوره زمانی معین در آینده مربوط به هر پیکسل در تصویر باشد گزارش می‌دهد.

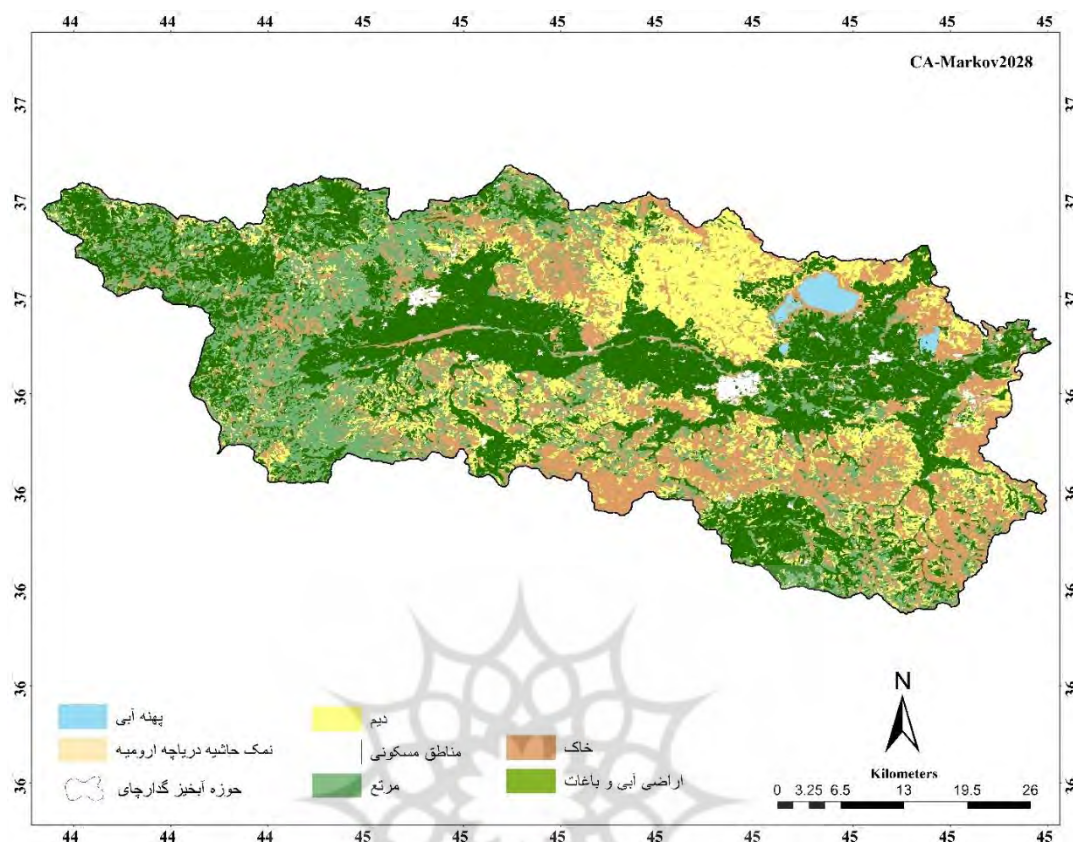
جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال (پیش‌بینی شده برای ۲۰۲۸ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۱۶-۲۰۲۲) بر حسب

درصد

Table5- Transition probability matrix (predicted for 2028 using 2016-2022 classification) in percentage

کاربری اراضی	آب	خاک	مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتج	دیم	نمک حاشیه دریاچه ارومیه
پهنه آبی	۶۳/۸۱	۲۷/۴۴	۰/۱۱	۳/۸۵	۲/۰۴	۰/۷۵	۲
خاک	۰/۴۴	۵۶/۴۰	۱/۲۲	۶/۲۱	۱۸/۲۴	۱۷/۲۵	۰/۲۳
مسکونی	۰/۱۲	۱۸/۲۸	۵۴/۵۳	۵/۵۳	۱۴/۲۱	۷/۱۸	۰/۰۳
باغات و اراضی آبی	۰/۵۳	۳/۴۶	۰/۱۸	۷۳/۴۷	۱۶/۹۰	۵	۰/۴۶
مرتج	۰/۲۱	۱۸/۱۵	۰/۱۸	۲۷/۷۵	۴۳/۳۱	۹/۹۲	۰/۴۹
دیم	۰/۰۷	۲۱/۶۶	۰/۴۲	۱۹/۷۳	۲۰/۶۲	۳۷/۴۴	۰/۰۶
نمک حاشیه دریاچه ارومیه	۳/۵۵	۸۷/۵۹	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۲۷	۸/۲۶

با توجه به نتایج جدول (۵) ۶۳/۸۱ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ در همان کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۲۸ باقی خواهد ماند. همچنین، ۲۷/۴۴ درصد، ۰/۱۱ درصد، ۳/۸۵ درصد، ۲/۰۴ درصد، ۰/۷۵ درصد و ۲ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ به کاربری‌های اراضی خاک، مسکونی، باغات و اراضی آبی، مرتج، کشاورزی دیم و نمک حاشیه دریاچه ارومیه تبدیل خواهد شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع (۲۰۱۶) و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان (۲۰۲۸) می‌باشد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس مساحت انتقال) به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۲۲ به‌عنوان تصویر پایه، تعداد دوره ۶ سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۸ تهیه شد. در تهیه نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۸ از ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال به‌دست آمده سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۲۲ استفاده شد. در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۲۲ بیش‌ترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکرشده به ترتیب مربوط به خاک، باغات و اراضی آبی، دیم، مرتج، مسکونی، پهنه آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه بود. ماتریس مساحت انتقال، میزان تغییر در تعداد پیکسل‌ها را از یک طبقه کاربری به طبقه دیگر در دوره مشخص را نشان می‌دهد. دلیل بالا بودن مساحت انتقال در کاربری مرتج و خاک را می‌توان افزایش اراضی آبی و باغات دانست. نتایج نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های کشاورزی (کشاورزی آبی و باغات) به سرعت افزایش پیدا کرده است به‌طوری‌که مساحت کاربری کشاورزی آبی از ۲۰/۶۸ درصد کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به بیش ۳۴/۵۷ درصد در سال ۲۰۲۸ افزایش پیدا خواهد کرد؛ و همچنین مساحت کاربری مرتج و خاک به ترتیب ۲۸/۹۲ و ۳۱/۵۷ درصد کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به ۲۳/۵۷ و ۲۱/۳۰ درصد در سال ۲۰۲۸ کاهش پیدا خواهد کرد که با نتایج (Kangabam, Selvaraj, & Govindaraju, 2019) در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی برای دلتای نیل مصر در طول ۲۸ سال، بیان نمودند گسترش مداوم اراضی کشاورزی و مناطق شهری، هم‌زمان با کاهش در پهنه آب و مراتع رخ داده است مطابقت دارد. نقشه کاربری پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۸ به روش CA مارکوف با ضریب کاپا ۰/۸۷ تهیه گردید؛ که در شکل (۶) آمده است.



شکل ۶- نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۸

Fig.6. Predicted Land Use Map for 2028

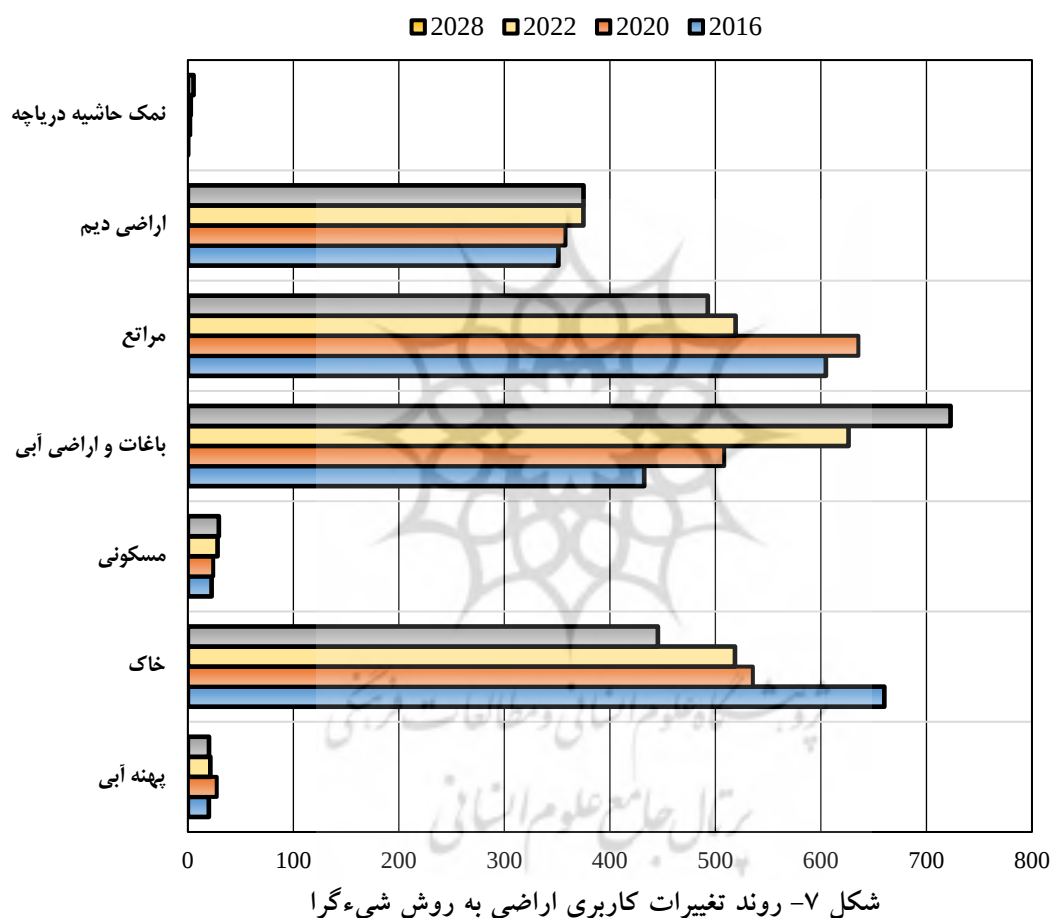
آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۸ به کیلومتر مربع و درصد در [جدول \(۶\)](#) ارائه شده است.

جدول ۶- مساحت کاربری اراضی به کیلومتر مربع و درصد
Table6- Land use area in square kilometers and percentage

سال	۲۰۱۶	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۸	کلاس کاربری اراضی
کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد
۱۹/۹۲	۰/۹۵	۲۷/۳۹	۱/۳۱	۲۱/۳	۱/۰۲
۶۶۰/۰۹	۳۱/۵۷	۵۳۵/۵	۲۵/۶۱	۵۱۸/۵	۲۴/۷۹
۲۲/۵۲	۱/۰۸	۲۴/۰۵	۱/۱۵	۲۸/۲	۱/۳۴
۴۳۲/۵۰	۲۰/۶۸	۵۰۸/۳۴	۲۴/۳۱	۶۲۶/۲	۲۹/۹۴
۶۰۴/۷۰	۲۸/۹۲	۶۳۵/۴۹	۳۰/۳۹	۵۱۹/۱	۲۴/۸۲
۳۵۱/۱۹	۱۶/۸۰	۳۵۷/۹۱	۱۷/۱۲	۳۷۴/۹	۱۷/۹۳
۰/۰۵	۰/۰۰۲	۲/۳۱	۰/۱۱	۲/۸	۰/۱۳
۰/۲۶	۵/۴	۰/۲۶	۵/۴	۰/۲۶	۵/۴

با توجه به **جدول (۶)** بیشترین تغییرات از کل مساحت منطقه، مربوط به کلاس اراضی باغات و اراضی آبی (کشاورزی آبی) می‌باشد به گونه‌ای که مساحت این کلاس از ۴۳۲/۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به ۶۲۶/۲ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۲ رسیده است به بیان دقیق‌تر مساحت دو کاربری خاک و مرتع مقدار کاهشی و اراضی دیم، مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه مقدار افزایشی داشته است؛ و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۸ مساحت کاربری خاک و مرتع کاهشی، و مساحت کاربری مسکونی، باغات و اراضی آبی، دیم و نمک حاشیه دریاچه ارومیه افزایش یابد. درنهایت کاربری‌های دیم، مسکونی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه با مساحت ۱۶/۸، ۱/۰۸ و ۰/۰۰۲ درصد کل مساحت در سال ۲۰۱۶ به ۱۷/۹۳، ۱/۴۱ و ۰/۲۶ درصد کل مساحت در سال ۲۰۲۸ خواهد رسید. افزایش مساحت کاربری‌های کشاورزی در حوزه آبخیز گدارچای بخصوص دو کاربری باغات و زمین‌های کشاورزی آبی، باعث افزایش مصرف منابع آب خواهد شد. دلیل بالا بودن احتمال انتقال کاربری اراضی آبی و باغات را می‌توان گرایش مردم به سمت ایجاد باغ و درآمدهای حاصل از باغداری در منطقه مورد مطالعه دانست. براساس پیش‌بینی مدل CA مارکوف سطح کشاورزی آبی و باغات در مجاور منابع آبی و نیز در مجاور اراضی کشاورزی آبی موجود افزایش خواهد یافت که دلیل آن را می‌توان در با توسعه زراعت آبی و استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و غیره توسط کشاورزان مرتبط دانست. علاوه بر این، دلیل افزایش مساحت باغات را می‌توان علاقه مردم به داشتن باغ شخصی و درآمد ناشی از محصولات باغی دانست. نتایج این تحقیق با نتایج [Aburas, Abdullah, Ramli, \(2018\)](#)، اذعان کردند که ناحیه‌های کشاورزی از ناحیه‌های شهری در ۱۰ سال آینده تأثیر خواهد گرفت، که این امر ناشی از توسعه اقتصادی خواهد بود، مطابقت دارد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج [Rasouli, Asgarova, & Safarov, \(2021\)](#) در مطالعه‌ای شناسایی و ارزیابی تغییرات

LU/LC با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱، با بکارگیری تکنیک‌های پیشرفته شیء‌گرا انجام گردید. در نهایت، برای پیش‌بینی انواع LU، یک مدل زنجیره مارکوف، خودکار سلولی CA استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات کاهشی در انواع LU، عمدتاً در جنگل‌ها و مراتع، و روند افزایشی قابل توجهی در زمین‌های بایر و رها شده وجود خواهد داشت. دقت کلی ۰/۹۵ و ضریب کاپا نزدیک به ۹۴ درصد بود که تأیید کرد تغییرات قابل توجهی بر نقشه‌های LU منطقه مورد مطالعه وجود داشته است مطابقت دارد. روند تغییرات کاربری اراضی در شکل (۷) آمده است.



شکل ۷- روند تغییرات کاربری اراضی به روش شیء‌گرا

Fig.7. Trends in Land Use Changes Using the Object-Oriented Method

براساس نتایج حاصل از روند تغییرات در این تحقیق، بیش‌ترین شدت تغییرات هر یک از کاربری‌ها به کل کاربری‌ها (تبدیل کاربری مرتع و خاک به کل اراضی آبی و باغات، دیم و مسکونی) را نشان می‌دهد، که با نتایج (Birhanu, Masih, van der Zaag, Nyssen, & Cai, 2019). در تحقیق بر روی حوضه آبریز گومارا^۱ اتیوپی

نشان دادند در مدت ۲۹ سال در اتیوپی مساحت مراتع کاهش یافته و در مقابل مساحت اراضی کشت شده افزایش یافته و همین امر باعث کاهش حجم آب‌های جاری حوضه آبریز شده است مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای آشکارسازی و تحلیل تغییرات سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۸ از تصاویر سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ استفاده شد. برای اعتبارسنجی مدل، نقشه شبیه‌سازی شده سال ۲۰۲۲ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همان سال مقایسه شد. ضریب کاپای به‌دست آمده بیانگر قابلیت بالای مدل CA مارکوف برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گدارچای بود بعد از تهیه نقشه‌های کاربری سال ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲، و دستیابی به دقت مورد نیاز برای نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲، با استفاده از مدل CA مارکوف، پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۸ انجام شد و نقشه تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۸ تهیه شد. ضریب کاپای ۰/۸۷ به‌دست آمده بیانگر قابلیت بالای مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گدارچای بود. نتایج نشان دهنده افزایش اراضی آبی و باغات، مسکونی و دیم در سال‌های آتی می‌باشد. براساس نتایج تحقیق، می‌توان در راستای کنترل تغییر کاربری اراضی متناسب با قابلیت اراضی و اتخاذ استراتژی‌های کاربردی در حفظ اراضی طبیعی اقدام نمود. قابل ذکر است که نتایج حاصل از تفسیر سناریوهای مختلف کاربری اراضی می‌تواند در پیش‌بینی اثرات تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه‌های تولید رسوب، سیل‌خیزی و نیز اثرات اکولوژیک مورد استفاده قرار گیرد. باید اشاره شود که کاربری اراضی به‌عنوان عامل موازنه مؤلفه‌های اکولوژی، هیدرولوژی و اقتصاد به‌شمار می‌رود که تغییرات آن می‌تواند در ارزیابی اثرات وضعیت اقتصادی و نیز معیشت آبخیزنشینان استفاده شود.

References

- جویباری مقدم، یاسر؛ اخوندزاده، مهدی؛ سراجیان، محمدرضا. (۱۳۹۳). تخمین سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landset8. اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. ۷ صفحه.
- رسولی، علی اکبر. (۱۳۷۸). مبانی سنجش‌ازدور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای، چاپ اول. انتشارات دانشگاه تبریز.

Abedini, M., Pasban, A., & nezafat taklhe, B. (2023). Evaluation and Preparation of Land Use Map of Nirchai Watershed Using Object Oriented Method. *Geography and Human Relationships*, 5(4), 318-328. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/gahr.2023.393602.1849>

- Aburas, M.M., Abdullah, S.H., Ramli, M.F., Ash'aari, Z.H., & Ahamad, M.S.S. (2018). Simulating and monitoring future land-use trends using CA-Markov and LCM Models. In IOP Conference Series: Earth and Environmental science, 169(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012050>
- Abiyat, M., Attar Roshan, S., & Abiyat, M. (2020). Evaluating and Predicting Vegetation Changes Pertaining to Land Use Changes using LCM Model and CA-Markov Chain (Case Study: Ahvaz City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(3), 183-204. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geoe.2020.67236.0>
- Armenteras, D., Murcia, U., González, T.M., Barón, O.J., & Arias, J.E. (2019). Scenarios of Land Use and Land Cover Change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and conservation*, 17, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567>
- Birhanu, A., Masih, I., van der Zaag, P., Nyssen, J., & Cai, X., (2019). Impacts of Land Use and Land Cover Changes on Hydrology of the Gumara Catchment. Ethiopia, 4th International Conference on Ecohydrology, *Soil and Climate Change*, 109, 1-78. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.006>
- Blaschke, T. (2010). Object Based Image Analysis for Remote Sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Donnay, J.P., Longley, P.A., & Barnsley, M.J. (2001). Remote Sensing and Urban Analysis: A Research Agenda. London, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482268119>
- Ebrahimy, H., Rasuly, A., & Ahmadpour, A. (2019). Modeling dynamic changes of Land Use with Object Based Image Analysis and CA-Markov approach (Case study: Shiraz city). *Geographical Data*, 27(108), 137-149. [In Persian] <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34625>
- Ghafari, S., Moradi, H.R., & Modarres, R. (2018). Comparison of Object-Oriented and Pixel-Based Classification Methods for Land Use Mapping (Case Study: Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan Plains). *Journal of Remote sensing and Geographical information system for natural Resources*, 9(1), 40-57. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_540415.html
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a Ca-Markov Model Under Two Different Scenarios. *Sustainability*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- HUA, A. (2017). Application of CA-Markov Model and Land Use/Land Cover Changes in Malacca River Watershed, Malaysia. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15 (4), 605-922. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1504_605622
- Igué, A.M., Houndagba C.J., Gaiser, T., & Stahr, K., (2022). Accuracy of the Land Use/Cover Classification in the Oueme Basin of Benin (West Africa). *International Journal of AgriScience*, 2(2), 174-184. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20123239823>
- Kangabam, R.D., Selvaraj, M., & Govindaraju, M. (2019). Assessment of Land Use Land Cover Changes in Loktak Lake in Indo-Burma Biodiversity Hotspot Using Geospatial Techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22 (2), 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.005>
- Kumar, K. S., Bhaskar, P. U., & Padmakumari, K. (2015). Application of Land Change Modeler for Prediction of Future Land Use Land Cover: A Case Study of Vijayawada City. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(01), 773-783. <https://cdn.usharama.edu.in/documents/civil-eng-faculty-publications/k-sundara-kumar-research-scholar.pdf>

- Mirakhorlo, M., & Rahimzadegan, M. (2018). Integration of SimWeight and Markov Chain to Predict Land Use of Lavasanat Basin. *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2(4), 146-158. [In Persian] <https://www.magiran.com/p2062797>
- Misagh, N., Neysani Samani, N., & Tomanain, A. (2018). Simulation of Urban Development in Tabriz Using CA-Markov Model and Multi-criteria Decision Making. *Human Geography Research*, 50(1), 217-231. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2017.224800.1007382>
- Moe, I.R., Kure, S., Januriyadi, N.F., Farid, M., Udo, K., Kazama, S., Koshimura, S., 2017. Future Projection of Flood Inundation Considering Land-Use Changes and Land Subsidence in Jakarta, Indonesia. *Hydrological Research Letters*, 11(2), 99-105. <https://doi.org/10.3178/hrl.11.99>.
- Mujiono, T.L., Harmantyo, D., Rukmana, I.P., & Nadia, Z. (2017). Simulation of Land Use Change and Effect on Potential Deforestation Using Markov Chain-Cellular Automata. In AIP Conference Proceedings. 1862(1), 1-9. <https://doi.org/10.1063/1.4991281>
- Munthali, M., Botai, J., Davis, N., Ade La Abiodun, M. (2019). Muti-Temporal Analysis of Land Use and Land Cover Change Detection for Dedza District of Malawi Using Geospatial Techniques. *Applied Engineering*, 14(5), 1151-1162. <http://hdl.handle.net/2263/71103>.
- Rasouli, A.A., Asgarova, M.M., & Safarov, S.H. (2021). Mapping of LC/LU Changes Inside the Aghdam District of the Karabakh Dconomics Region Applying Object-Based Satellite Image Analysis. *Journal of Life Sciences & Biomedicine*, 3(76), 54-69. <http://dx.doi.org/10.29228/jlsb.22>
- Rasouli, A.A., Safarov S.H., Asgarova M., Safarov E.S., & Milani M. (2021). Detection and Mapping of Green-Cover and Landuse Changes by Advanced Satellite Image Processing Techniques (A Case Study: Azerbaijan Eastern Zangezur Economic Region). *ANAS Transactions, Earth Sciences*, 2, 27-45. <https://doi.org/10.33677/ggianas20220200080>
- Rasuly Pirouzian, A.A., Chnong, K., Moharrami, M., & Derafshi, A. (2015). Signifying of the Urmia Lake Changes Using Objected-Oriented Image Processing Techniques. *Journal of Applied Hydrology*, 2(2), 13-23. [In Persian] https://www.researchgate.net/publication/335107512_Signifying_of_the_Urmia_Lake_changes_using_Object-Oriented_image_processing_techniques/citations
- Samie, A., Deng, X., Jia, S., & Chen, D. (2017). Scenario-Based Simulation on Dynamics of Land-Use-Land-Cover Change in Punjab Province, Pakistan. *Sustainability*, 9(8), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su9081285>
- Sarabuddin Mondal, M., Sharma, N., Kappas, M., & Garg, P. (2019). CA Markov Modeling of Land Use/Land Cover Dynamics and Sensitivity Analysis, Identify Sensitive Parameters. *Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2 (13), 723-729. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-723-2019>

- Yamani, M., & Abbasi, M. (2020). Evaluation of Flooding below Gadar Catchments Based on Morphometric Parameters and Statistical Correlation. *Town and Country Planning*, 12(1), 205-224. [In Persian] https://jtcp.ut.ac.ir/article_74823.html
- Tzotsos, A., & Argialas, D. (2008). Support vector machine classification for object-based image analysis. Object-based image analysis: Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications, 663-677. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77058-9_36
- Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgeh, H., & Bekele, B. (2017). Land Use and Land Cover Change Modeling and the Prediction of Subsequent Changes in Ecosystem Service Values in a Coastal Area of China, the Su-Xi-Change Region. *Sustainability*, 9 (1204), 2-17. <https://doi.org/10.3390/su9071204>.

