ISSN: 2538-4384; Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(3):73-87

Prediction of Land Cover Changes in Horizon of 2028 through a Hybrid Model of Markov Chain and Cellular Automata; Catchment Area around Bazangan Lake Case Study

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Alikhah Asl M.* *PhD,*
Rezvani F.[1] *MSc*

How to cite this article
Alikhah Asl M, Rezvani F. Prediction of Land Cover Changes in Horizon of 2028 through a Hybrid Model of Markov Chain and Cellular Automata; Catchment Area around Bazangan Lake Case Study. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(3):73-87.

ABSTRACT

Introduction and Background Detection and prediction of changes are necessary for maintenance of an ecosystem particularly in rapidly-changing and often unplanned regions in developing countries.

Aims This study predicts the land use changes in catchment area around Bazangan Lake for the year of 2028 with the aim of investigating the development in Bazangan Lake ecosystem based on the observed degradation from 2002 to 2015.

Methodology The classification of studied area was carried out based on five categories of irrigated agriculture, rainfed agriculture, rangeland, water zones and residential areas through TM, ETM and OLI sensors and utilization of independent component analysis (ICA) with an overall accuracy of 92.23% and kappa coefficient of 0.89% for the years of 1999, 2002 and 2015. Afterwards, the land use changes were predicted by a hybrid model of Markov chain and cellular automata. The overall accuracy and kappa coefficient were determined in IDRISI software by the help of ERRMAT Module to verify mode.

Conclusion According to error matrix, the overall accuracy of performance was 71 percent and kappa coefficient 0.87 percent which proved Markov chain and cellular automaton (CA-Markov) for predicting the land use classes in upcoming 13 years. According to results, the continued current process of land use changes in this region will change Bazangan Lake area to 12.81 hectares, the irrigated agriculture land area to 495.91 hectares, rainfed agriculture land area to 5764.42 hectares, rangelands to 4592.15 hectares, and residential land area to 94.74 hectares in the next 13 years.

Keywords Prediction of Changes; Markov Chain Model; Cellular Automata; Bazangan Lake; Remote Sensing

[*]Department of Natural Resources & Environmental Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran
[1]Department of Natural Resources & Environmental Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

Correspondence
Address: Branch of Tehran-Shargh, Payame Noor University, 15Metri Shirazi Street, Sazmane Ab Street, Hakimiyeh, Tehran, Iran. Postal Code: 1659639884
Phone: -
Fax: -
Alikhahasl@pnu.ac.ir

Article History
Received: January 18, 2018
Accepted: October 1, 2018
ePublished: December 09, 2018

CITATION LINKS

[Anderson, et al.; 1976] A land use and land cover classification ...; [Brown, et al.; 2000] Modeling the relationships between ...; [Dejkam; 2011] Studying the trend and pattern of urban ...; [Department of Natural Resources of Khorasan Razavi Province; 2008] Detailed executive studies of ...; [Eslah, et al.; 2014] Evaluation of Markov chain model ...; [Falahtakar, et al.; 2009] Investigating the ability of CA ...; [Fan, et al.; 2007] Land use and land cover change in Guangzhou ...; [Fatahi & Habibi Arbatani; 2011] Applied remote ...; [Gobattoni, et al.; 2009] Assessing the effects of ...; [Goldsmith; 1991] Monitoring for conservation ...; [Guan, et al.; 2011] Modeling urban land use change ...; [Hashemi, et al., 2013] Change detection of Bakhtegan ...; [Islam Bonyad & Haji Ghaderi; 2007] Preparation of Zanjan forests natural ...; [Jensen; 2007] Remote sensing of the environment ...; [Kifer; 2000] Fundamentals of remote sensing ...; [Lu & Weng; 2007] A survey of image classification ...; [Majidian; 2015] Evaluating and modeling land use ...; [Namdar, et al.; 2014] Land-use and land-cover classification in ...; [Piquer-Rodríguez, et al.; 2012] Future land use effects on the connectivity ...; [Pontius Jr & Chen; 2006] Geomod ...; [Pontius; 2000] Quantification error versus ...; [Ramezani & Jafari; 2015] Land use/cover change detection ...; [Safyanian & Khodakarmi; 2011] Preparation of land use map using ...; [Samii, Aghazadeh & Khodadadi; 2007] Environmental impact assessment of ...; [Schulz, et al.; 2010] Monitoring land cover change of ...; [Stéphenne & Lambin; 2001] A dynamic simulation model of ...; [Wang, et al.; 2012] Accuracy assessments of land ...; [Whitford; 2008] Ecology of desert ...; [Wu, et al.; 2006] Monitoring and predicting land use ...; [Zare Garizi, et al.; 2012] Simulating the spatiotemporal changes ...; [Ziaian Firoozabadi, et al.; 2009] Remote sensing, geographic information ...

Copyright© 2018. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و سوم، شماره سوم، پاییز۱۳۹۷، شماره پیاپی ۱۳۰

دکتر مرضیه علی خواه اصل، استادیار، گروه منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
فرزانه رضوانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

Alikhah Asl M. PhD
Rezvani F. MSc
Alikhahasl@pnu.ac.ir

پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در افق ۱۴۰۷ با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره‌ای مارکوف و سلول خودکار؛ مطالعه موردی: حوزه آبخیز مشرف‌به دریاچه بزنگان

دریافت مقاله:۱۳۹۶/۱۰/۲۸ پذیرش نهایی:۱۳۹۷/۷/۹

DOI: 10.29252/geores.33.3.73

چکیده

مقدمه: آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات، لازمه مراقبت از یک اکوسیستم به‌ویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی در کشورهای درحال‌توسعه است.

اهداف: هدف این پژوهش، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز مشرف‌به دریاچه بزنگان برای سال ۱۴۰۷ باهدف بررسی تحولات اکوسیستم دریاچه بزنگان و برمبنای تغییرات مشاهده‌شده بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور کلاس‌بندی محدوده موردمطالعه بر اساس پنج رده زراعت آبی، زراعت دیم، مراتع، پهنه آب و اراضی مسکونی برای سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۴ با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM وOLI و بهره‌گیری از متد ICA با صحت کلی۹۲/۲۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۹ درصد انجام‌شده است. سپس با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، تغییرات کاربری اراضی پیش‌بینی گردیده است. جهت اعتبارسنجی مدل، صحت کلی و ضریب کاپا در نرم‌افزار ایدریسی و به کمک ماژول ERRMAT تعیین‌شده است.

نتیجه‌گیری: ماتریس خطا صحت کلی عملکرد را معادل ۷۱ درصد و ضریب کاپا را ۰/۸۷ درصد نشان داد که تأییدکننده مدل زنجیره مارکوف و CA مارکوف برای پیش‌بینی کلاس‌های کاربری اراضی در ۱۳ سال آینده می‌باشد. نتایج حاصله نشان می‌دهد ادامه روند کنونی تغییر کاربری در منطقه، مساحت دریاچه بزنگان را در سال ۱۴۰۷ به ۱۲/۸۱ هکتار، مساحت اراضی زراعت آبی را به ۴۹۵/۹۱ هکتار، اراضی زراعت دیم را به ۵۷۶۴/۴۲ هکتار، مراتع را به ۴۵۹۲/۱۵ هکتار و مساحت اراضی مسکونی را به ۹۴/۷۴ هکتار خواهد رساند.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی تغییرات، مدل زنجیره‌ای مارکوف، سلول خودکار، دریاچه بزنگان، سنجش‌ازدور

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت، فشار بر عرصه‌های طبیعی را افزایش داده و بهره‌برداری بی‌رویه و غیراصولی از اراضی و تغییر کاربری‌ها، باعث عکس‌العمل‌های متفاوت اکوسیستم‌ها شده است (Lu & Weng, 2007). فعالیت‌های انسانی مثل تخریب پوشش گیاهی، توسعه کشت غلط و تکنیک‌های نامناسب کشاورزی مکانیسم‌های طبیعی را تغییر می‌دهند (Gobattoni, Pelorosso, & Leone, 2009). بنابراین در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع طبیعی و محیطزیست آگاهی از نسبت تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی و عوامل ایجادکننده آن از ضروریات محسوب می‌شود. در این زمینه داده‌های سنجش‌ازدور به دلیل داشتن

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

DOI: 10.29252/geores.33.3.73

ویژگی‌هایی مانند پوشش وسیع، به هنگام بودن، تکراری بودن، توان تفکیک طیفی، رادیو متریک و مکانی بالا، فرمت رقومی امکان پردازش رایانه‌ای، از قابلیت بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و کاربری اراضی برخوردار هستند (Jensen, 2007).

اتخاذ تدابیر و سیاست‌گذاری‌های صحیح در جهت استفاده بهینه از منابع طبیعی و توسعه پایدار در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای نیازمند اطلاعات کافی و جامع از منابع زیست‌محیطی است. بدین منظور نقشه‌های پوشش/ کاربری اراضی و نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات زمانی - مکانی در آینده بخش عمده‌ای از اطلاعات موردنیاز مدیران و برنامه‌ریزان را در امر برنامه‌ریزی به‌منظور استفاده بهینه و مطلوب از منابع طبیعی و محیط‌زیست در جهت توسعه پایدار را تأمین می‌کند (Samii, Aghazadeh, & Khodadadi, 2007). از سوی دیگر، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده اهمیت دارد (Stéphenne & Lambin, 2001). مدل‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از زمین یک نیاز ضروری است (Kifer, 2000). به‌علاوه، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و برقراری ارتباط بین این تغییرات با عواقب اقتصادی– اجتماعی حاصل از آن، اهمیت بسیار بالایی برای مدیریت پایدار اراضی دارد (Whitford, 2008).

بدین منظور، مدل‌سازی به‌عنوان یک موضوع علمی، در حال رشد سریع است و بیش از یک دهه است که موضوع تحقیقات علمی شده است (Pontius Jr & Chen, 2006). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات، لازمه مراقبت از یک اکوسیستم به‌ویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی در کشورهای درحال‌توسعه است. پیش‌بینی مکانی کاربری و پوشش اراضی را می‌توان به‌وسیله مدل‌های تجربی بر اساس برون‌یابی الگوهای تغییری که درگذشته نزدیک مشاهده‌شده‌اند، با ارائه‌ای محدود از عوامل مؤثر بر این تغییرات صورت داد (Stéphenne & Lambin, 2001).

مدل‌سازی الگوی مکانی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی اطلاعات ارزشمندی را جهت ادراک بهتر فرآیند تغییر، تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی مناطق در معرض تغییر فراهم می‌آورد. استفاده از مدل‌های تغییر کاربری را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم‌بندی نمود: مدل‌های تخمین تجربی (Emprical estimation models)، مدل‌های شبیه‌سازی پویا (Dynamic simulation models) و مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر قاعده (Rule – base simulation models). مدل زنجیره مارکوف از دسته مدل‌های تخمین تجربی محسوب می‌شود (Lu & Weng, 2007). مدل زنجیرهای مارکوف به‌صورت یک فرآیند تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت آینده یک پیکسل تنها به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و بر اساس آن پیش‌بینی می‌شود. نتیجه مستقیم حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال[1] است؛ اما در این مدل هیچ درک جغرافیایی به دست نمی‌آید و در پایان مدل‌سازی نقشه واحدی که نشان‌دهنده توزیع مکانی کلاس‌ها باشد، تولید نمی‌گردد. برای رفع این مشکل در دهه ۱۹۵۰ مدل CA مارکوف توسط جان وان نیومن[2] برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل مارکوف طراحی شد (Fan, Weng, & Wang, 2007). مدل مارکوف همچنین موقعیت هر کاربری را با تولید مجموعه‌ای از تصاویر احتمال وضعیت از ماتریس احتمال انتقال نشان می‌دهند. در مرحله آخر از مدل‌سازی با استفاده از ماتریس مساحت انتقال در مدل CA مارکوف می‌توان نقشه شبیه‌سازی‌شده از کاربری اراضی در آینده را به دست آورد (Pontius, 2000). با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (Goldsmith, 1991). با پیش‌بینی تغییرات کاربری، می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (Brown, Pijanowski, & Duh, 2000).

در ارتباط با موضوع این پژوهش، تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. ضیائیان فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۸)، در مقاله‌ای تحت عنوان سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلول‌های خودکار به‌عنوان ابزاری

1 Transition probability matrix
2 John Von Neumann

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری، باهدف الگوی روش‌شناختی جدید برای شبیه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلول‌های خودکار، تغییرات کاربری اراضی شهری شهرکرد را در یک دوره زمانی ۳۵ ساله شبیه‌سازی کردند. در این روش تبدیل کلی از روش زنجیره مارکوف و روش وزن‌های شاهد به‌دست آمد. احتمالات تبدیل محلی به‌وسیله متغیرهای مربوط به عوامل زیرساخت شهری و با استفاده از روش وزن‌های شاهد بر اساس تئوری بیزی و مدل رگرسیون لجستیک محاسبه گردید. سپس قوانین تبدیل وارد مدل urban-CA گردید و کاربری‌ها برای آینده شبیه‌سازی شد. بهترین نتایج در استفاده از ترکیب دو روش زنجیره مارکوف و روش لجستیک با گامای ۰/۵ برای استخراج قوانین تبدیل حاصل شد (Ziaian Firoozabadi, Shakiba, Matkan, & Sadeghi, 2009). فلاحتکار و همکاران (۱۳۸۸)، در مطالعه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای MSS سال ۱۳۵۱ و TM سال ۱۳۶۹ و +ETM سال ۱۳۸۰ برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی شهر اصفهان و اراضی اطراف آن استفاده کردند و از مدل مارکوف، فیلتر شبکه خودکار، برای پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی در ۲۴ سال آینده بهره گرفتند. برای بررسی توانایی مدل شبکه خودکار مارکوف نیز از دو روش محاسبه جدول توافق و آزمون نکویی برازش استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که در صورت ثابت ماندن فرآیندهای تغییر پوشش اراضی در منطقه، مدل مارکوف - شبکه خودکار بااعتباری کمتر از۷۰ درصد به پیش‌بینی تغییرات در ۲۴ سال آینده (سال ۱۴۰۴) می‌پردازد (Falahtakar, Safiyanian, Khajeddin, & Ziaei, 2009).

شولز[1] و همکاران (۲۰۱۰)، به‌منظور پایش تغییرات پوشش سرزمین از چشم‌انداز جنگل خشک شیلی، مدل‌سازی تغییر سرزمین و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به چهار دوره ۱۹۷۵، ۱۹۸۵، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ را به کار گرفتند. آن‌ها به این نکته پی بردند که گرایش عمده تغییرات در این چشم‌انداز بسیار پویا، به سمت کاهش جنگل خشک و تبدیل درختچه زارها به کاربری‌های فشرده‌شده‌ای چون کشاورزی بوده است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۸، نرخ سالانه کاهش جنگل و درختچه زارها، به ترتیب ۱/۷- درصد و ۰/۷- درصد و نرخ سالانه افزایش کاربری‌های کشاورزی، شهری و مزارع چوب، به ترتیب ۱/۱ درصد، ۲/۷ درصد و ۳/۲ درصد بوده است (Schulz, Cayuela, Echeverria, Salas, & Rey Benayas, 2010).

گوان[2] و همکاران (۲۰۱۱)، تغییرات کاربری اراضی ساگا در ژاپن را برای سال‌های ۲۰۴۲- ۲۰۱۵ با استفاده از مدل زنجیره CA مارکوف مدل‌سازی کردند. نتایج این مطالعه، افزایش اراضی طبیعی و کشاورزی را نشان داد. این مطالعه بیان کرد که فرآیند مدل‌سازی، درک بهتر سیستم‌های پیچیده کاربری اراضی، توسعه و بهبود ابزارهای مدیریتی و درنتیجه تعادل بین توسعه شهری و حفاظت از محیط‌زیست را برای مدیران منطقه‌ای معرفی می‌کند (Guan et al., 2011). وانگ[3] و همکاران (۲۰۱۲)، تغییرات کاربری اراضی منطقه چانگپینگ[4] در پکن را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست برای سال ۲۰۰۰ پیش‌بینی کردند. در این مطالعات علاوه بر مشخص شدن وضعیت تغییرات کاربری اراضی در زمان موردنظر با استفاده از مدل مارکوف، کارایی این مدل در مطالعات پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از گذشته تاکنون تأییدشده است (Wang, Zheng, & Zang, 2012). پیکوئر[5] و همکاران (۲۰۱۲)، نیز در مطالعه‌ای اثرهای تغییرات کاربری اراضی درگذشته و آینده را بر روی منطقه حفاظت‌شده‌ای در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف بررسی کردند (Piquer-Rodríguez, Kuemmerle, Alcaraz-Segura, Zurita-Milla, & Cabello, 2012). نتایج این مطالعه در منطقه توسعه کشاورزی و مناطق شهری و رهاسازی کاربری‌های گذشته را نشان داد. بر این اساس در این پژوهش تلاش شده است تا با بررسی تغییرات پهنه آبی دریاچه بزنگان و

1 Schulz
2 Guan
3 Wang
4 Changping
5 Piquer

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

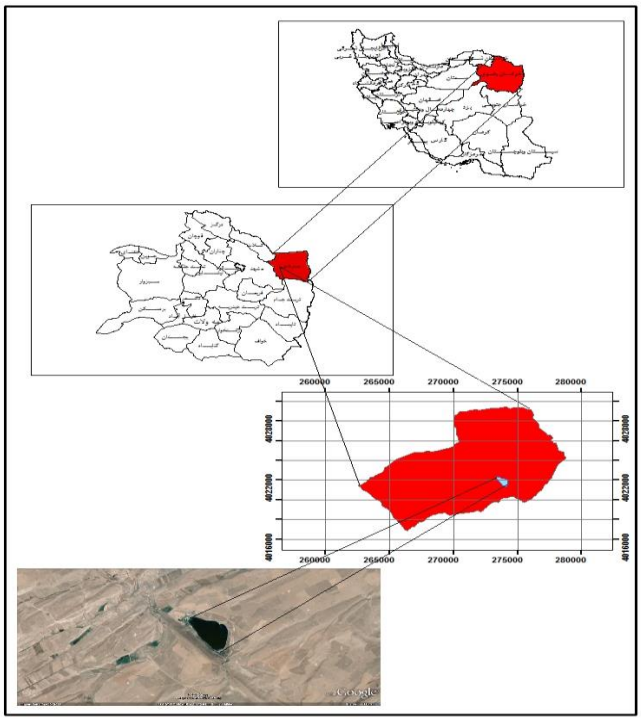
DOI: 10.29252/geores.33.3.73

پایش تغییرات کاربری اراضی در حوضه هیدرولوژیکی مشرف‌به آن اطلاعات کارآمدی مانند مساحت و میزان تغییر، خط سیر تغییر پوشش زمین به دست آید و با مدل‌سازی و پیش‌بینی این تغییرات در اتخاذ تصمیمات مدیریتی صحیح برای نجات دریاچه و حفظ اثر ارزشمند طبیعی - ملی استان راه‌گشا باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده موردمطالعه

حوضه هیدرولوژیکی مشرف‌به اثر طبیعی ملی دریاچه بزنگان با مساحت ۱۰۴۷۹/۵۱ هکتار، در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال شرقی شهر مشهد، ۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهر سرخس در محدوده طول شرقی"۲۹/۹۵ '۲۸ °۶۰ الی "۰۵/۱۵ '۲۹ °۶۰ و عرض شمالی "۳۵/۶۱ '۱۸ °۳۶ الی "۰۷/۷۱ '۱۹ °۳۶ واقع‌شده است (Department of Natural Resources of Khorasan Razavi Province, 2008) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مشرف‌به دریاچه بزنگان

در این پژوهش تصاویر بدون ابر سنجنده‌های TM، ETM و OLI ماهواره لندست ۵، ۷ و ۸ باقدرت تفکیک ۳۰ متر متعلق به اواخر تیر و مردادماه سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۸۱ و۱۳۹۴ انتخاب شد و از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا دریافت گردید. برای سنجنده‌های TMو ETM باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و برای سنجنده OLI باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ مورداستفاده قرار گرفت. شایان‌ذکر است در این موقع از سال، پوشش گیاهی مربوط به کشت دیم، آبی و مرتع همگی در منطقه حضور دارند. همچنین در حالت ایده‌آل فاصله زمانی بین تصاویر ماهواره‌ای نیز یکسان در نظر گرفته شد تا مقایسه تغییرات دوره‌های زمانی باهم منطقی باشد (جدول ۱).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

جدول۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده

ماهواره	سنجنده	تاریخ تصویر		WRS[1] (Pass/Row)	قدرت تفکیک زمینی (متر)
		شمسی	میلادی		
لندست ۵	TM	۱۳۶۸/۳/۲۶	۱۹۸۹/۶/۱۶	۱۵۸/۳۵	۳۰
لندست۷	ETM+	۱۳۸۱/۳/۲۵	۲۰۰۲/۶/۱۵	۱۵۸/۳۵	۳۰
لندست۸	OLI	۱۳۹۴/۳/۲۴	۲۰۱۵/۷/۱۵	۱۵۸/۳۵	۳۰

در این تحقیق از ماتریس تغییرات کاربری و مدل زنجیره‌های مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین استفاده‌شده است.

پیش‌پردازش تصاویر

تصویر دانلود شده از سنجنده OLI دارای تصحیح هندسی اولیه بود. صحت ژئورفرنس بودن تصویر در نرم‌افزار ERDAS بر اساس انتخاب ۳۰ نقطه کنترل زمینی برداشت‌شده از منطقه و مشاهده‌یابی آن‌ها بر روی تصاویر موردنظر انجام شد. همچنین در نرم‌افزار Arc map با استفاده از لایه رقومی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه که شامل آبراهه‌های منطقه نیز می‌باشد، این مهم محرز گردید. سپس تصاویر سنجنده‌های TM و +ETM با توجه به تصویر سنجنده OLI به روش image to image با خطای RMS معادل ۰/۶ ژئورفرنس گردید. همچنین بررسی کیفیت رادیومتری تصاویر نشان داد که تصاویر مربوط به هر سه سال از کیفیت مطلوب برخوردار است و هیچ‌یک از خطاهای راه‌راه شدگی و پیکسل‌های تکراری در تصاویر وجود ندارد.

طبقه‌بندی تصاویر

در این پژوهش به‌منظور استخراج نقشه پوشش اراضی و کاربری زمین متد تحلیل مؤلفه‌های مستقل(ICA) انتخاب گردید و نقشه کاربری اراضی برای هر دو سال با استفاده از قواعد، به کمک متد ICA صورت پذیرفت. این متد، روش اصلی از برنامه khowledge engineer است و بر اساس یک دید کلی با تشکیل درخت تصمیم‌گیری سلسله مراتبی بر مبنای فرضیه‌ها، قوانین و لیست متغیرها صورت می‌گیرد (Namdar, Adamowski, Saadat, Sharifi, & Khiri, 2014). در این روش ابتدا برای هر یک از تصاویر ماهواره‌ای یک تصویر ICA ساخته شد و به کمک آن بهترین باند طیفی که نشان‌دهنده کاربری موردنظر است، انتخاب گردید. سپس برای هر یک از کلاس کاربری‌های مدنظر، یک مدل به شکل درخت سلسله مراتبی و با استفاده از IC های استخراج‌شده از باندهای طیفی و دیگر متغیرهای مؤثر تشکیل شد. مشخص کردن بازه ارزش‌های طیفی یا دامنه اطلاعاتی مربوط به هر کاربری بر روی هیستوگرام آن باند مشخص می‌گردد و بر اساس این بازه اطلاعاتی در مورد نمایانی بیشتر هر کاربری، تصمیم‌گیری می‌شود. جدول ۲ طبقه‌بندی معیارهای مدل‌سازی را برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش نشان می‌دهد.

جدول۲- معیارهای مدل‌سازی در طبقه‌بندی تصاویر به روش ICA

کلاس کاربری	قوانین		
	۱۳۶۸	۱۳۸۱	۱۳۹۴
زراعت آبی	ICA1≥1.2 SLOPE≤8	ICA1≥1.2 SLOPE≤8	ICA1≥1 SLOPE≤8
زراعت دیم	ICA4>0 SLOPE≤25	ICA3>0 SLOPE≤25	ICA6>2 ICA6<-1.2 SLOPE≤25
پهنه آبی	ICA1≤ -2.3	ICA1≤ -1.5	ICA1≤ -11
اراضی مرتعی	NOT IR NOT WATER NOT DF	NOT IR NOT WATER NOT DF	NOT IR NOT WATER NOT DF

1 World Wide Reference System

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

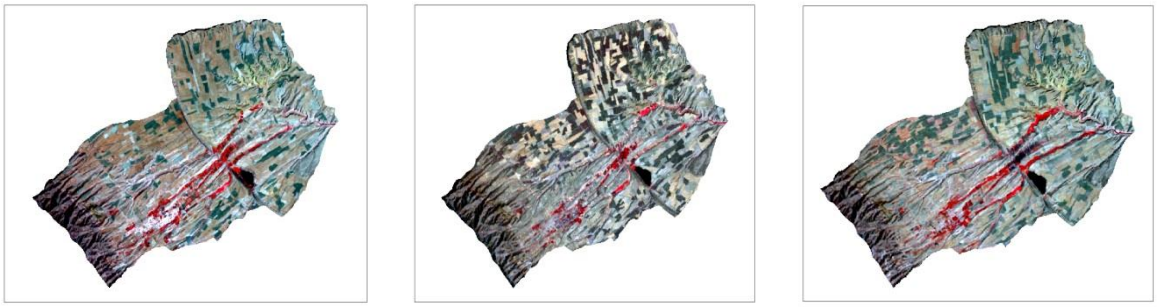
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

DOI: 10.29252/geores.33.3.73

دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج‌شده است (Anderson, Hady, Roach, & Wetter, 1976). معمول‌ترین عوامل دقت شامل دقت کلی، دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا[1] می‌باشد (Fatahi & Habibi Arbatani, 2011). ازنظر تئوری احتمالات دقت کلی نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتیجه طبقه‌بندی باشد چراکه در این شاخص نقش شانس قابل‌توجه است. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی اغلب در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مدنظر است از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی‌شده را مدنظر قرار می‌دهد (Islam Bonyad & Haji Ghaderi, 2007). شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه شد:

$$kappa = \frac{P_o - Pc}{1 - Pc} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن P_o درستی مشاهده‌شده و Pc توافق مورد انتظار هستند. بعد از بررسی دقت طبقه‌بندی‌های صورت گرفته، در این پژوهش به دلیل شباهت بین طبقات کاربری‌ها و پوشش زمین در محدوده مطالعاتی، از تصویر رنگی کاذب با ترکیب باندی مادون‌قرمز نزدیک، قرمز و سبز هر سنجنده، برای تشخیص و تفکیک بهتر کاربری‌ها استفاده شد و نقشه‌های کاربری اراضی با اختصاص رنگ و کد مناسب به هر طبقه، تهیه گردید. تصاویر رنگی کاذب از منطقه در زمان‌های موردبررسی در شکل ۲ ارائه گردیده است.



تصویر رنگی کاذب سال ۲۰۱۵ — تصویر رنگی کاذب سال ۲۰۰۲ — تصویر رنگی کاذب سال ۱۹۸۹

شکل ۲- تصاویر رنگی کاذب حوزه آبخیز مشرف‌به دریاچه بزنگان در سال‌های ۱۳۶۸،۱۳۸۱ و ۱۳۹۴

مدل زنجیره‌ای مارکوف

تحلیل مدل

زنجیره‌های مارکوف کاربردهای گسترده‌ای در مدل کردن تغییرات کاربری و پوشش اراضی برای مناطق شهری و غیرشهری داشته‌اند (Wu et al., 2006). در تحلیل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیر استفاده‌شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالات شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (Eslah, Al-Modarresi, Mofidifar, & Malekzadeh Bafghi, 2014). در ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هرکدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر نشان داده می‌شود. در ماتریس سطوح انتقال تعداد پیکسل‌هایی که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند، ثبت می‌شود (Majidian, 2015).

1 Kappa coficient

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

ورودی‌های مدل مارکوف

تصاویر طبقه‌بندی‌شده سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۴ به‌عنوان نقشه پوشش برای تهیه ماتریس تبدیل وضعیت به‌کاربرده شده است. فاصله زمانی هر دو تصویر ۱۳ سال بود که همین بازه زمانی برای پیش‌بینی تغییرات در سال ۱۴۰۷ استفاده‌شده است.

ماتریس تبدیل وضعیت

با استفاده از نقشه‌های پوشش زمینِ به‌دست‌آمده برای هر دوره، ماتریس تبدیل وضعیت کلاس‌های پوشش زمین بین هر دو دوره زمانی محاسبه‌شده است. از نقشه‌های پوشش سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۱ ماتریس تبدیل وضعیت اول و از نقشه‌های پوشش سال‌های ۱۳۸۱ و ۲۰۰۰ ماتریس تبدیل وضعیت دوم محاسبه‌شده است. این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات درصد تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌ها هستند. از ماتریس تبدیل وضعیت اول برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ و از ماتریس تبدیل وضعیت دوم برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۷ استفاده گردید.

پیش‌بینی تغییرات در عملگر CA-MARCOV

ماتریس احتمال انتقال تولیدشده توسط تحلیل زنجیره مارکوف اگرچه اطلاعات مفیدی در بردارد اما توزیع مکانی انتقال را ارائه نمی‌کند. به‌منظور ارائه الگوی مکانی توزیع، نیاز است که این مدل اجزای مکانی را نیز در خود جای دهد. برای مکان‌دار کردن تغییرات از مدل سلول‌های خودکار در ترکیب با زنجیره مارکوف استفاده می‌شود (Dejkam, 2011). در این مرحله با استفاده از ماتریس مساحت انتقال می‌توان نقشه شبیه‌سازی‌شده از کاربری اراضی آینده در منطقه را تهیه نمود. این عملیات در نرم‌افزار idrisi انجام می‌شود. در این مرحله با لحاظ کردن نقشه کاربری سال ۱۳۸۱ به‌عنوان نقشه پایه و معرفی فایل مساحت انتقال، نقشه کاربری در سال ۱۴۰۷ پیش‌بینی شد.

تعیین اعتبار مدل‌سازی

در این مطالعه ابتدا نقشه ۵ کلاس کاربری برای تصویر سال ۱۳۹۴ که نقشه واقعی آن نیز با استفاده از روش ICA تهیه‌شده بود، با استفاده از عملگر مارکوف در نرم‌افزار بر اساس نقشه‌های سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۱ مدل‌سازی گردید. در مرحله بعد نقشه حاصل از مدل‌سازی در سال ۱۳۹۴ با نقشه واقعی کاربری حاصل از روش طبقه‌بندی ICA علاوه بر مقایسه چشمی از روش آماری ماتریس خطا با استفاده از ماژول ERRMAT در نرم‌افزار ایدریسی به‌منظور ارزیابی اعتبار مدل بررسی گردید.

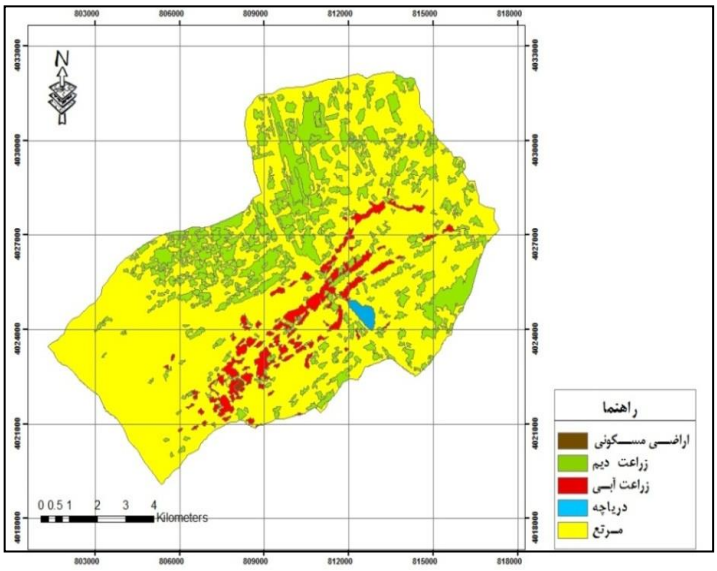
یافته‌های تحقیق

نقشه کاربری اراضی منطقهٔ موردمطالعه در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۴ شامل کاربری‌های زراعت آبی، زراعت دیم، اراضی مرتعی، اراضی مسکونی و پهنه آبی (دریاچه بزنگان) تهیه‌شده از روش تحلیل مؤلفه‌های مستقل (ICA) درشکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه‌شده است. در جدول ۳ نیز نتایج ضرایب صحت کلی، ضریب کاپا، صحت روش و صحت کاربر برای روش طبقه‌بندی مورد نظر آورده شده است.

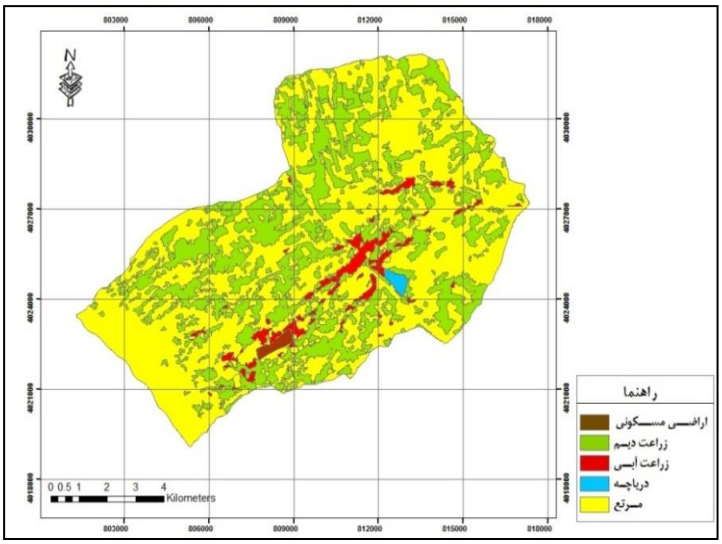
[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

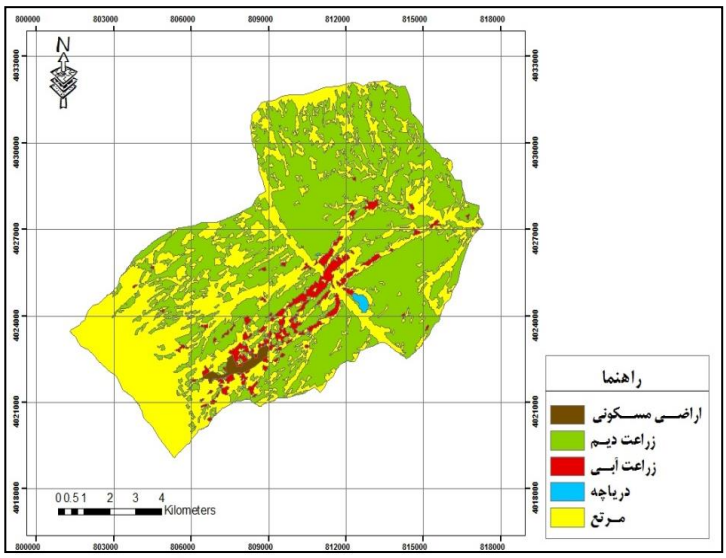
DOI: 10.29252/geores.33.3.73



شکل۳- نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۶۸ با روشICA



شکل۴- نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۱ با روش ICA



شکل۵- نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ با روش ICA

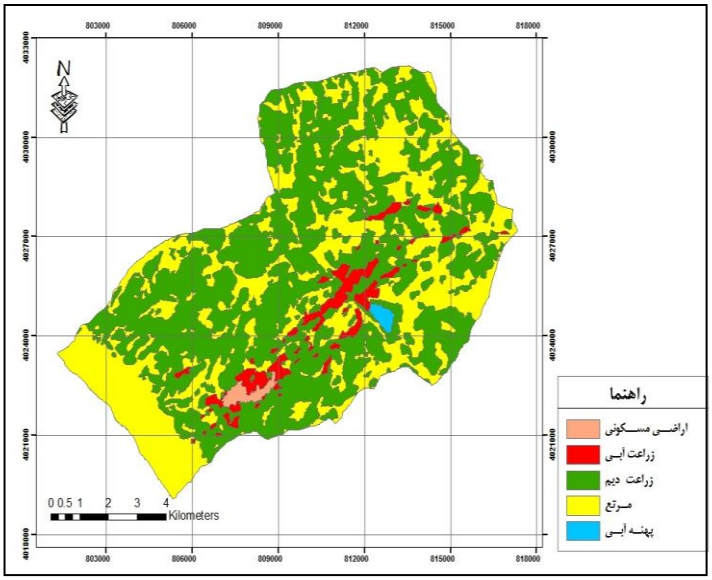
[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

جدول ۳- نتایج کلی دقت طبقه‌بندی در هر سه تصویر

سال بررسی	کاربری	دقت روش	دقت کاربر	ضریب کاپا	دقت کل
۱۳۶۸	زراعت آبی	۹۵٪	۱۰۰٪	۰/۸۷	۹۰٪/۷۲
	زراعت دیم	۷۸٪/۱۰	۸۷٪/۱۰		
	مراتع	۸۶٪/۶۷	۸۳٪/۸۷		
	پهنه آبی	۱۰۰٪	۱۰۰٪		
	اراضی مسکونی	۹۲٪/۶۵	۸۷٪/۸۸		
۱۳۸۱	زراعت آبی	۸۵٪	۱۰۰٪	۰/۸۹	۹۲٪/۴۵
	زراعت دیم	۷۹٪	۷۱٪		
	مراتع	۸۵٪/۷۱	۹۳٪/۷۵		
	پهنه آبی	۱۰۰٪	۱۰۰٪		
	اراضی مسکونی	۹۲٪/۷۸	۹۵٪/۷۰		
۱۳۹۴	زراعت آبی	۹۱٪	۸۹٪	۰/۸۹	۹۲٪/۲۳
	زراعت دیم	۷۶٪	۷۳٪		
	مراتع	۸۸٪/۸۹	۹۶٪/۹۷		
	پهنه آبی	۷۶٪/۴۷	۱۰۰٪		
	اراضی مسکونی	۹۵٪/۸۹	۱۰۰٪		

اجرای مدل سلول خودکار و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۳۹۴

ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضه موردمطالعه با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف برای دوره زمانی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۱ محاسبه و شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ با استفاده از مدل سلول خودکار و بر اساس نتایج حاصل از تحلیل زنجیره مارکوف در بازه زمانی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۱ انجام شد (شکل ۶). همچنین مساحت کاربری‌ها در نقشه پیش‌بینی‌شده و نقشه تهیه‌شده از روش ICA برای سال ۱۳۹۴ در جدول ۴ باهم مقایسه شده‌اند.



شکل ۶- کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده سال ۱۳۹۴
با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

DOI: 10.29252/geores.33.3.73

جدول ۴- مقایسه مساحت کاربری واقعی و پیش‌بینی‌شده در سال ۱۳۹۴

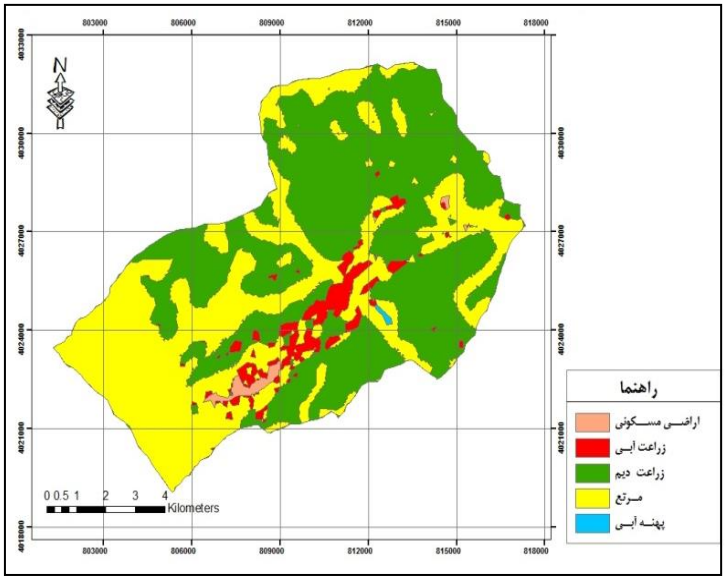
کاربری اراضی	مساحت واقعی (هکتار)	مساحت واقعی (درصد)	مساحت پیش بینی شده (هکتار)	مساحت پیش بینی شده (درصد)	اختلاف مساحت‌ها (درصد)
زراعت آبی	۴۱۱/۸۰	۳/۷۵	۶۴۳/۸۴	۵/۸۷	۲/۱۲
پهنه آبی	۲۳/۸۳	۰/۲۲	۳۴/۰۳	۰/۳۱	۰/۰۹
زراعت دیم	۵۸۶۰/۴۰	۵۳/۳۹	۵۶۹۷/۹	۵۱/۹۵	۱/۴۴
مرتع	۴۵۹۳/۸۱	۴۱/۸۵	۴۵۳۰/۵	۴۱/۳۰	۰/۵۵
اراضی مسکونی	۸۶/۳۶	۰/۷۹	۶۲/۸۳	۰/۵۷	۰/۲۲

اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی مدل با استفاده از نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۱۳۹۴ و نقشه پیش‌بینی‌شده برای این سال در نرم‌افزار ادریسی و به کمک ماژول[1] ERRMAT انجام شد. ماتریس خطا حاصل از مقایسه این دو نقشه صحت کلی عملکرد را معادل ۷۱ درصد و ضریب کاپا را ۰/۸۷ نشان می‌دهد. بنابراین استفاده از مدل زنجیره مارکوف و CA مارکوف برای پیش‌بینی کلاس‌های کاربری اراضی در ۱۳ سال آینده قابل‌قبول می‌باشد.

اجرای مدل سلول خودکار و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۴۰۷

ماتریس احتمال انتقال (در بازه ۰ تا ۱) و ماتریس مساحت انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین در محدوده با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف برای دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ نیز محاسبه و پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در سال ۱۴۰۷ با استفاده از مدل سلول خودکار و بر اساس نتایج حاصل از تحلیل زنجیره مارکوف در این بازه زمانی انجام شد (شکل ۷). جدول ۵ و شکل ۸ مساحت و درصد مساحت پیش‌بینی‌شده برای کاربری اراضی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



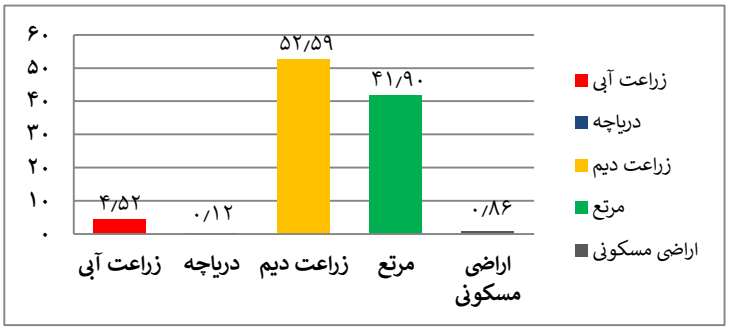
شکل ۷- کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده سال ۱۴۰۷
با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

[1] GIS Analysis, Decision support, ERRMAT

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

جدول ۵- مساحت پیش‌بینی‌شده برای کاربری و پوشش زمین در سال ۱۴۰۷

کاربری	زراعت آبی	زراعت دیم	مرتع	اراضی مسکونی	پهنه آبی
هکتار	۴۹۵/۹۱	۵۷۶۴/۴۲	۴۵۹۲/۱۵	۹۴/۷۴	۱۲/۸۲
درصد	۴/۵۲	۵۲/۵۹	۴۱/۹۰	۰/۸۶	۰/۱۲



شکل ۸- درصد مساحت کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده سال ۱۴۰۷

نتیجه‌گیری

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌عنوان یکی از منابع مهم برای مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی مطرح می‌باشد. استفاده و کاربرد این تصاویر در زمینه‌های مختلف می‌تواند قابلیت‌ها و محدودیت‌های این داده‌ها را مشخص نماید. سهل‌الوصول بودن، دسترسی به نقاط دورافتاده و کوهستانی، دقت نسبتاً بالا و هزینه پایین، استخراج اطلاعات در زمان نسبتاً کم، پوشش وسیع و قابل تکرار بودن از مزایای استفاده از داده‌های دورسنجی می‌باشد (Safyanian & Khodakarmi, 2011).

اطلاع از نسبت کاربری‌ها و نحوه تغییرات آن درگذر زمان یکی از مهم‌ترین موارد برنامه‌ریزی‌ها است و بااطلاع از نسبت تغییر کاربری‌ها درگذر زمان می‌توان تغییرات آتی را پیش‌بینی نمود و اقدامات مقتضی را انجام داد (Hashemi Tangestani, Beiranvand, & Tayyebi, 2013).

در این پژوهش نقشه کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۷ با استفاده از زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار تولید شد. اعتبارسنجی مدل نشان داد زنجیره‌های مارکوف و سلول خودکار دارای دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی بودند (ضریب کاپای ۰/۸۷). همچنین نتایج نشانگر کاهش مراتع و افزایش زمین‌های زیر کشت و اراضی مسکونی می‌باشد و بالطبع بدون تغییر روند مدیریتی و حفاظتی حال حاضر در منطقه، پهنه آبی دریاچه بزنگان بیش‌ازپیش کاهش خواهد یافت. کاهش مراتع حوضه و افزایش اراضی زراعی دیم و آبی نشان‌دهنده تغییرات کاربری اراضی در جهت تخریب منابع طبیعی منطقه است. این تغییر کاربری حتی به حریم دریاچه نیز کشیده شده و اراضی متعلق به بستر آن به کشت آبی تبدیل گردیده است. علاوه بر این، آبیاری اراضی زراعی اکثراً با انحراف مسیر جریانات منتهی به دریاچه انجام می‌شود که خود عاملی مهم درتهدید حیات دریاچه به شمار می‌رود. همان‌طور که مشخص است، اگر راهبرد فعلی استفاده از زمین در این منطقه در جهت کاهش اراضی طبیعی و تعدی به حریم دریاچه بدون توجه به ملاحظات توسعه پایدار تا سال۱۴۰۷ ادامه داشته باشد، ۸۱/۱۵ هکتار به وسعت کاربری زراعت آبی و ۸/۳۸ هکتار به اراضی مسکونی حوضه افزوده خواهد شد و تغییرات کاربری و پوشش زمین پیرامون دریاچه با تغییر در وسعت پهنه آب، مساحت دریاچه بزنگان را در ۱۳ سال آینده به ۱۲/۸۱ هکتار خواهد رساند.

رمضانی و جعفری (۱۳۹۳)، در پژوهشی با استفاده از مدل مارکوف و CA مارکوف و تصاویر ماهواره لندست مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی را در شهرستان اسفراین، استان خراسان شمالی برای سال ۱۴۰۴ انجام دادند و نتایج این پژوهش کاهش

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

DOI: 10.29252/geores.33.3.73

۵۰۰۰ و۴۰۰ هکتاری را به ترتیب در سطح مراتع و اراضی کشاورزی نشان داد. همچنین نتایج نشان داد سطح مراتع فقیر ۳۰ هکتار و اراضی مسکونی ۴۵۰ هکتار در ۱۳ سال آینده (۱۴۰۴- ۱۳۸۸) افزایش خواهد داشت (Ramezani & Jafari, 2015). زارعی گاریزی و همکاران (۱۳۹۱)، نیز در مطالعه‌ای مشابه از مدل تلفیقی CA-MARKOV برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگلی در آبخیز چهل چای مینودشت از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM استفاده کردند.

در این پژوهش پوشش و کاربری اراضی سال ۲۰۰۹ با استفاده از مدل CA-MARKOV و بر مبنای تغییرات مشاهده‌شده بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱ پیش‌بینی شد. اعتبارسنجی مدل با مقایسه نقشه شبیه‌سازی‌شده با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۹ انجام گردید و ضریب صحت استخراج‌شده، قابلیت بالای این مدل را برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگلی در آبخیز چهل چای نشان داد (شاخص کاپا معادل ۰/۹۲). درنهایت نقشه پوشش جنگلی آبخیز موردنظر برای سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی گردید که نتایج کاهش قابل‌توجه مناطق جنگلی را در حوضه آبخیز نشان داد (Zare Garizi, Bardi Sheikh, Saedoddin, & Mahini, 2012).

در خاتمه شایان‌ذکر است، منابع اصلی تغذیه‌کننده دریاچه بزنگان شامل سیلاب‌های فصلی که از سمت شمال غرب و شرق دریاچه وارد آن می‌شود و سه چشمه دائمی به نام‌های چشمه کل بی‌بی، چشمه کرک غلام و همچنین چشمه‌ای فعال در کف دریاچه می‌باشد. آبراهه‌های ورودی به دریاچه ناشی از دو حوضه آبخیز فرادست دریاچه بزنگان می‌باشد که در محدوده روستای بزنگان و کلاته عوض واقع‌شده‌اند.

جریانات سطحی شمال غربی دریاچه نیز پس از مصرف در اراضی روستای بزنگان از محل بند خاکی احداث‌شده وارد دریاچه می‌شود. در بخش آب‌های زیرزمینی، چشمه‌های مجاور دریاچه به‌جز ذخیره در دریاچه بهره‌برداری دیگر نمی‌شود، ولیکن خشکسالی‌ها و کاهش ذخیره آب به علت از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه از آبدهی چشمه‌ها کاسته است. علاوه بر این موارد، تجاوز به حریم دریاچه نیز از عوامل رو به رشد تهدید حیات دریاچه مخصوصاً در سال‌های اخیر به شمار می‌رود.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، در صورت ادامه روند فعلی تغییر کاربری اراضی و استفاده از زمین در منطقه و عدم برنامه‌ریزی اصولی برای حفاظت هرچه بیشتر اثر طبیعی - ملی دریاچه بزنگان، تخریب شدید منابع طبیعی منطقه و به خطر افتادن حیات دریاچه اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، این تحقیق استفاده از نقشه‌های حاصل را برای شناسایی مناطق حساس، به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر به دستگاه‌های اجرایی توصیه می‌نماید.

سهم نویسندگان: مرضیه علی خواه اصل (نویسنده اول، مسئول) پژوهشگر اصلی/ نگارنده بحث اصلی (۵۰٪)، فرزانه رضوانی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی، روش‌شناسی تحقیق (۵۰٪)

منابع و مآخذ

Anderson, J. R., Hady, E., Roach, E. J., & Wetter, T. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. Washington: US Government Printing Office.

Brown, D. G., Pijanowski, B. C., & Duh, J. D. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management, 59*(4), 247-263. [DOI:10.1006/jema.2000.0369]

Dejkam, S. (2011). *Studying the trend and pattern of urban development changes with the landscape ecology approach (case study: Rasht city).* (Master's thesis), University of Tehran, Tehran. (Persian)

Department of Natural Resources of Khorasan Razavi Province. (2008). *Detailed executive studies of Shourlagh-e-Sarakhs watershed management.* (Persian)

Eslah, M., Al-Modarresi, S. A., Mofidifar, M., & Malekzadeh Bafghi, S. (2014). *Evaluation of Markov chain model efficiency in evaluating land use and land cover change using Lanssat satellite images*. Paper presented at the National Conference on Application of Advanced Space Analysis Models (Remote

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]
[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

Sensing and GIS in Land Use Planning). Yazd, Yazd Islamic Azad University, Yazd municipality. (Persian)

Falahtakar, S., Safiyanian, A., Khajeddin, J., & Ziaei, H. (2009). *Investigating the ability of CA Markov model to predict land cover map (case study: Isfahan city)*. Paper presented at the Geomatics Conference, Mapping Organization, Tehran. (Persian)

Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM+ imagery. *Sensors, 7*(7), 1323-1342. [DOI:10.3390/s7071323]

Fatahi, M. M., & Habibi Arbatani, V. (2011). *Applied remote sensing*. Tehran: Abangah Publication. (Persian)

Gobattoni, F., Pelorosso, R., & Leone, A. (2009). *Assessing the effects of land use changes on soil erosion: a case study in Central Apennine (Italy)*. Paper presented at the XXXIII CIOSTA - CIGR V Conference 2009, Reggio Calabria (Italy).

Goldsmith, F. B. (1991). *Monitoring for conservation and ecology*. Berlin: Springer Science & Business Media.

Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling, 222*(20), 3761-3772. [DOI:10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009]

Hashemi Tangestani, M., Beiranvand, S., & Tayyebi, M. H. (2013). Change detection of Bakhtegan Fars lake during the period from 1956 to 2007. *Journal of Environmental Studies, 39*(3), 189-199. [DOI: 10.22059/JES.2013.35902]. (Persian)

Islam Bonyad, A., & Haji Ghaderi, T. (2007). Preparation of Zanjan forests natural map using ETM + Landsat 7 data. *Journal of Agricultural Science and Technology, 11*(42), 627-638. (Persian)

Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Kifer, L. (2000). *Fundamentals of remote sensing and interpretation of aerial and satellite images* (H. Malmeryan, Trans.). Tehran: Geographic Organization publications, Ministry of Defense and Armed Forces Support. (Persian)

Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing, 28*(5), 823-870. [DOI:10.1080/01431160600746456]

Majidian, M. (2015). *Evaluating and modeling land use changes using remote sensing and Markov chain model (case study: Yasouj city).* (Master's thesis), Payame Noor University, Tehran. (Persian)

Namdar, M., Adamowski, J., Saadat, H., Sharifi, F., & Khiri, A. (2014). Land-use and land-cover classification in semi-arid regions using independent component analysis (ICA) and expert classification. *International journal of Remote sensing, 35*(24), 8057-8073. [DOI:10.1080/01431161.2014.978035]

Piquer-Rodríguez, M., Kuemmerle, T., Alcaraz-Segura, D., Zurita-Milla, R., & Cabello, J. (2012). Future land use effects on the connectivity of protected area networks in southeastern Spain. *Journal for Nature Conservation, 20*(6), 326-336. [DOI:10.1016/j.jnc.2012.07.001]

Pontius Jr, R. G., & Chen, H. (2006). *Geomod modeling*. USA: Clark University.

Pontius, R. G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing, 66*(8), 1011-1016.

Ramezani, N., & Jafari, R. (2015). Land use/cover change detection in 2025 with CA-Markov chain model (case study: Esfarayen). *Geographical Researches Quarterly Journal, 29*(4), 83-96. (Persian)

Safyanian, A., & Khodakarmi, L. (2011). Preparation of land use map using Fuzzy classification method. *Town and Country Planning Journal, 3*(4), 95-114. (Persian)

Samii, A., Aghazadeh, V., & Khodadadi, A. (2007). *Environmental impact assessment of Soungoun copper mine*. Paper presented at the Proceedings of the 26th Earth Science Forum, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran. (Persian)

Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., & Rey Benayas, J. M. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography, 30*(3), 436-447. [DOI:10.1016/j.apgeog.2009.12.003]

Stéphenne, N., & Lambin, E. F. (2001). A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, Ecosystems & Environment, 85*(1), 145-161. [DOI:10.1016/S0167-8809(01)00181-5]

Wang, S. Q., Zheng, X. Q., & Zang, X. B. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. *Procedia Environmental Sciences, 13*, 1238-1245. [DOI:10.1016/j.proenv.2012.01.117]

Whitford, W. G. (2008). *Ecology of desert systems* (H. Azarnivand & A. Malekian, Trans.). Tehran: University of Tehran. (Persian)

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]

DOI: 10.29252/geores.33.3.73

Wu, Q., Li, H.-q., Wang, R.-s., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., . . . Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning, 78*(4), 322-333. [DOI:10.1016/j.landurbplan.2005.10.002]

Zare Garizi, A., Bardi Sheikh, V., Saedoddin, A., & Mahini, A. (2012). Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model. *Forest and Poplar Research, 20*(2), 273-285. (Persian)

Ziaian Firoozabadi, P., Shakiba, A., Matkan, A. A., & Sadeghi, A. (2009). Remote sensing, geographic information system and cellular automata model as a tool for simulation of urban land use change (case Study: Shahre kord). *Environmental Sciences Journal, 7*(1), 133-148. (Persian)

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-08]

[DOI: 10.29252/geores.33.3.73]