

## Modeling and predicting land use changes using Markov chain Model (Case study: Ghaleh Jogh, Torbat-e-Heydarieh City)

Zahra Gholizadeh<sup>1</sup>, Jalil Farzad Mehr<sup>\*2</sup>, Mohammad Rostami Khalaj<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Nature Engineering and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Khorasan-Razavi, Iran. E-mail: [z.gholizadeh61@gmail.com](mailto:z.gholizadeh61@gmail.com)
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Nature Engineering and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Torbat-Heydarieh, Khorasan-Razavi, Iran. E-mail: [j.farzadmehr@torbath.ac.ir](mailto:j.farzadmehr@torbath.ac.ir)
3. Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khorasan-Razavi, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Khorasan-Razavi, Iran. E-mail: [m.rostamikhaj@areoo.ac.ir](mailto:m.rostamikhaj@areoo.ac.ir)

Article Info	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research Full Paper	<b>Background and Objectives:</b> Prediction of land use changes in explaining the interactions between ecosystems and human activities is important for helping decision makers. A Land use map is considered an information resource in natural resource management. Optimal resource management needs to be investigated, as recognition of changes and resource degradation in the past, and proper and principled planning in order to control and control possible future degradation. The purpose of this study was to evaluate the performance of the Markov chain model (CA Markov) in determining and predicting land use changes for the future in the Ghaleh Jogh area located in the city of Torbat-e-Heydarieh.
<b>Article history:</b> Received: 01.24.2023 Revised: 04.22.2023 Accepted: 05.12.2023	
<b>Keywords:</b> CA Markov, Land use, Satellite images	<b>Materials and Methods:</b> Satellite imagery, remote sensing, and the Markov chain model were used for modeling and detecting land use change. The study area of the Ghaleh Jogh Watershed is from Torbat-e-Heydarieh province. A topographic map with a scale of 1: 25,000 and OLI, ETM <sup>+</sup> , and Landsat MSS images of 1987, 2002, and 2015 were used to prepare land use maps and the changes process. Satellite imagery with first order polynomial equation was corrected by the method of closest neighboring geometric correction and corrected using linear and histogram explanations. For the categorization of images, the controlled classification method and the maximum probability algorithm with acceptable accuracy are used. A Land use map was prepared in 4 ranges of pasture land, Bayer lands, crops, and gardens. In this research, using the CA Markov model, the 2015 forecast map was compared with the monitored map. The percentage of land use, garden, rangeland, lawn, and arable land use varies from 5, 54, 24, and 17 percent in 1987 to 7, 4, 7, 36, 51, and 7.6 percent in 2015, and the user's map Lands for 2025 and 2040 are foreseen. Model calibration was used for predicting the 2015 model.
	<b>Results and Conclusion:</b> The results showed that according to the Kappa coefficient, the prepared map has high accuracy. Based on the results of the detection and simulation of the pasture and cultivating lands, they are among the most unstable classes. Garden lands due to more attention and economic significance, there have not been any significant changes in their

---

extent. In general, the largest changes occurred in pasture and agricultural land. The corrective work done in the region has reduced the area of arable land and added to the rangelands.

---

Cite this article: Gholizadeh, Zahra, Farzad Mehr, Jalil, Rostami Khalaj, Mohammad. 2023. Modeling and predicting land use changes using Markov chain Model (Case study: Ghaleh Jogh, Torbat-e-Heydarieh City). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (2), 75-96.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21009.3611

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکف و سلول خودکار (مطالعه موردی: منطقه قلعه جوق، شهرستان تربت حیدریه)

زهرا قلی‌زاده<sup>۱</sup> ID، جلیل فرزاد مهر<sup>۲\*</sup> ID، محمد رستمی خلیج<sup>۳</sup> ID

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، خراسان رضوی، ایران. رایانامه: [z.gholizadeh61@gmail.com](mailto:z.gholizadeh61@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، خراسان رضوی، ایران. رایانامه: [j.farzadmehr@torbath.ac.ir](mailto:j.farzadmehr@torbath.ac.ir)
۳. استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خراسان رضوی، مشهد، ایران. رایانامه: [m.rostamikhajaj@areoo.ac.ir](mailto:m.rostamikhajaj@areoo.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۰۴/۱۱/۰۴ <b>تاریخ ویرایش:</b> ۰۲/۰۲/۰۲ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۰۲/۰۲/۲۲</p>	<p><b>سابقه و هدف:</b> پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در تشریح روابط متقابل اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های انسانی، برای کمک به تصمیم‌گیری مدیران اهمیت زیادی دارد. نقشه کاربری اراضی از منابع اطلاعاتی در مدیریت منابع طبیعی محسوب می‌شود. مدیریت بهینه منابع، نیازمند بررسی، شناخت تغییرات و تخریب‌های منابع در گذشته و برنامه‌ریزی صحیح و اصولی به‌منظور کنترل و مهار تخریب‌های احتمالی در آینده است. هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار- مارکف (CA مارکف) در تعیین تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آن در سال‌های آتی در منطقه قلعه جوق واقع در شهرستان تربت حیدریه است.</p>
<p><b>واژه‌های کلیدی:</b> تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات کاربری، زنجیره مارکف</p>	<p><b>مواد و روش‌ها:</b> برای مدل‌سازی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای، سنجش‌ازدور و مدل زنجیره مارکف استفاده شد. منطقه مطالعاتی حوزه آبخیز روستای قلعه جوق از توابع شهرستان تربت حیدریه است. از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره OLI، ETM<sup>+</sup> و MSS لندست به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۵ برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و روند تغییرات کاربری برای دوره‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۲، ۲۰۰۲-۲۰۱۵ و ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای با معادله چندجمله‌ای درجه یک، به روش نزدیک‌ترین همسایه تصحیح هندسی گردید و با استفاده از تبیین خطی و هیستوگرام اصلاح شدند. جهت طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال که دقت قابل‌قبولی دارند استفاده گردید. نقشه کاربری اراضی در ۴ طبقه‌ی مرتع، اراضی بایر، اراضی زراعی، باغات تهیه شد. در این پژوهش با استفاده از مدل CA مارکف نقشه</p>

---

پیش‌بینی سال ۲۰۱۵ با نقشه نظارت‌شده مقایسه شد. درصد مساحت کلاس‌های کاربری اراضی، باغ، مرتع، بایر و زراعی در سال ۱۹۸۷ از ۵، ۵۴، ۲۴ و ۱۷ درصد به ۷، ۴، ۷، ۳۶، ۵۱ و ۷/۶ درصد در سال ۲۰۱۵ تغییر داشته است و نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی گردید. جهت کالیبراسیون مدل از نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۱۵ استفاده شد.

**یافته‌ها و نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد با توجه به ضریب کاپا به‌دست‌آمده، نقشه تهیه‌شده از دقت بالایی برخوردار بوده است. بر اساس نتایج حاصل از آشکارسازی و شبیه‌سازی روند اراضی مرتعی و زراعی جزو ناپایدارترین طبقات محسوب می‌شوند. اراضی باغی به دلیل توجه بیشتر و اهمیت اقتصادی آن، تغییر چندانی در وسعت آن ایجاد نشده است، به‌طورکلی بیش‌ترین تغییرات در مراتع و اراضی زراعی رخ داده است؛ که با توجه به کارهای اصلاحی که در منطقه انجام‌شده است از مساحت اراضی زراعی کم بازده کاسته و به مراتع اضافه‌شده است.

---

**استناد:** قلی‌زاده، زهرا، فرزاد مهر، جلیل، رستمی خلج، محمد (۱۴۰۲). مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکف و سلول خودکار (مطالعه موردی: منطقه قلعه‌جوق، شهرستان تربت‌حیدریه). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۰ (۲)، ۹۶-۷۵.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21009.3611



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

تهیه نقشه کاربری اراضی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی یکی از ضروری‌ترین اطلاعات موردنیاز برای مدیریت منابع طبیعی است، به طوری که پایش زمانی و دقیق تغییرات آینده عوارض سطح زمین برای درک روابط و کنش متقابل بین انسان و پدیده‌های طبیعی به منظور تصمیم‌گیری بهینه، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۱). اهمیت پوشش و کاربری اراضی به‌عنوان یک عامل پویا و مؤثر بر شرایط زیستی ایجاب می‌کند که همواره اطلاعات کمی و کیفی دقیقی از آن تهیه و تغییرات مربوط به آن در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت تعیین گردد. با اطلاع از نسبت تغییرات کاربری‌ها در گذر زمان می‌توان تغییرات آتی را پیش‌بینی نمود و اقدامات مقتضی را انجام داد (۲). امروزه تغییرات بدون برنامه کاربری اراضی به مشکل حادی تبدیل شده است و بیش‌تر تغییرات کاربری اراضی بدون برنامه‌ریزی مدون و توجه کافی به تأثیرات محیط زیستی آن‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین تهیه لایه پوشش و کاربری اراضی در شرایط فعلی، می‌تواند شناخت دقیقی از چندوچون تغییرات منطقه پژوهش ارائه دهد (۳).

از سوی دیگر، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده اهمیت دارد. بنابراین برای بررسی و نشان دادن این تغییرات نیاز به استفاده از روشی کارآمد است و تاکنون روش‌های مختلفی ارائه شده است. یکی از این روش‌ها مدل زنجیره‌ای مارکف است. با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (۴). آنالیز زنجیره مارکف ابزاری مناسب جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است و زمانی کاربرد دارد که تغییرات موجود در چشم‌انداز، به‌راحتی قابل توصیف نباشند. هم‌چنین برای پی بردن به اعتبار نقشه‌های پیش‌بینی شده توسط

مدل، از مؤلفه‌های توافقی و عدم توافقی استفاده می‌شود. در این هنگام نقشه‌های پیش‌بینی شده با نقشه‌های مرجع در زمان خاص مقایسه شده و توانایی مدل براساس اعتبار نقشه‌های تولیدی بررسی می‌شود (۵). امروزه به‌منظور داشتن دید دقیقی نسبت به کاربری و پوشش اراضی هر منطقه، مدیران در پی استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تکنیک‌های استخراج لایه‌های اطلاعاتی از آن می‌باشند. یکی از لایه‌های دقیق اطلاعاتی مهم، لایه کاربری و پوشش اراضی در شرایط فعلی است که می‌تواند شناخت دقیقی از کیفیت و کمیت کاربری‌های مختلف در اختیار مدیران قرار دهد. ازجمله کاربردهایی که سنجش‌ازدور به‌عنوان علم جدید در آن نقش به‌سزایی یافته، بررسی شرایط محیطی در دوره‌های زمانی مختلف است (۶). این امر به‌وسیله تجزیه و تحلیل داده‌هایی که توسط یک سنجنده یا سنجنده‌های مختلف برداشت می‌شوند امکان‌پذیر است. بررسی تغییرات رخ داده در پوشش اراضی به‌ویژه در مراتع، اراضی زراعی، اراضی بایر و آشکارسازی تغییرات، در مدیریت این اراضی نقش ویژه‌ای دارد. پیش‌بینی تغییرات آتی در منطقه نیز به‌منظور طرح‌ریزی‌های آینده و مدیریت بهتر در رشد، توسعه و حفظ منابع طبیعی اهمیت اساسی دارد (۷). بنابراین، تهیه نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی سال‌های مختلف، بررسی روند تغییرات صورت گرفته در طی سال‌های مورد مطالعه و پیش‌بینی این تغییرات برای سال‌های آتی، ازجمله کارهای ضروری است که نیاز آن برای بهبود مدیریت اراضی طبیعی احساس می‌شود. در حال حاضر با پیشرفت علم سنجش‌ازدور، بسیاری از فن‌های آشکارسازی تغییرات به‌منظور بارزسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی توسعه پیدا کرده است. علی‌رغم روش‌ها و الگوریتم‌های متعدد در این زمینه روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی نسبت به سایر روش‌ها از مزیت‌های بیش‌تری برخوردار است و

پور هندوستان را مورد تحلیل قرار داد. نتایج پیش‌بینی بیانگر رشد پراکنده شهری در محیط شهری است (۱۰). فو و همکاران (۱۱) در مطالعه‌ای به بررسی تعیین فاکتورهای مناسب جهت شبیه‌سازی بهتر کاربری اراضی بر اساس داده‌های گذشته با استفاده از شاخص ارزیابی چندمعیاره پرداختند. از خروجی روش ارزیابی چندمعیاره به‌عنوان ورودی مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ استفاده نمودند.

دشت فیض‌آباد و مه ولات به‌عنوان یکی از حاصلخیزترین مناطق خراسان و به‌عنوان منبع مهم درآمد و قطب کشاورزی منطقه مطرح است که اقتصاد بسیاری از ساکنین به آن وابسته است. بنابراین آشکارسازی این تغییرات و پیش‌بینی آتی تغییرات به‌وسیله زنجیره مارکف به‌عنوان مقدمه‌ای برای ضرورت برنامه‌ریزی و مدیریت گسترده در منطقه و همچنین اجرای اهداف آمایش سرزمین در این محدوده محسوب می‌شود. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار-مارکف (CA مارکف) و تعیین روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از فن سنجش از راه دور و زنجیره مارکف و در نهایت پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی قلعه‌جوق دو دهه آینده و ارائه مدلی جهت پیش‌بینی وضعیت آینده کاربری در منطقه موردنظر است.

### مواد و روش‌ها

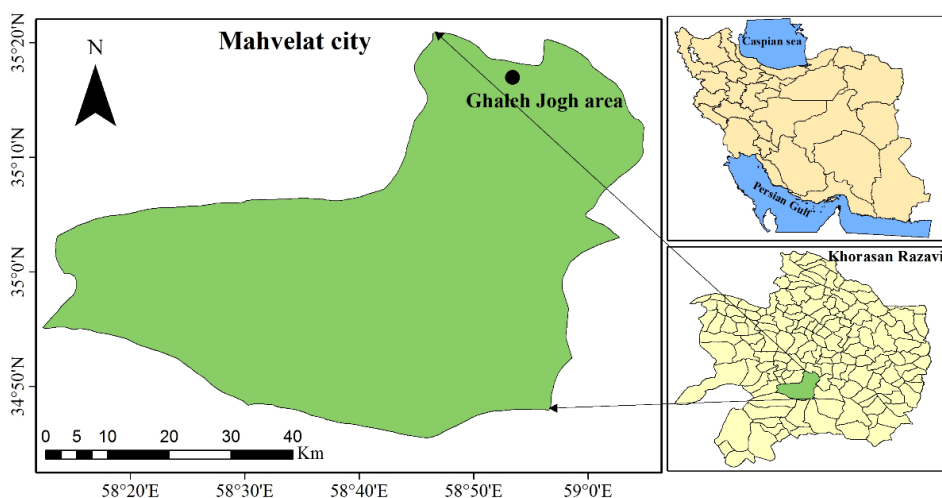
حوزه آبخیز قلعه‌جوق با وسعتی برابر ۵۶/۰۲ کیلومترمربع در ۴۷ کیلومتری شمال‌غربی شهر تربت‌حیدریه در استان خراسان رضوی قرار دارد. طول جغرافیایی منطقه ۴۴° ۵۸' تا ۱۲° ۵۸' شرقی و عرض جغرافیایی منطقه ۳۵° ۲۱' تا ۱۳° ۱۵' شمالی است. متوسط دمای سالانه حوزه ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد و میزان متوسط حداقل سالانه آن ۶/۵ و متوسط حداکثر سالانه آن ۱۸/۹ درجه سانتی‌گراد

همین امر منجر به استفاده فراوان آن در مطالعات منابع طبیعی و محیط‌زیست می‌گردد. آشکارسازی تغییرات در بازه زمانی طولانی مدت اگر محدود به دو زمان در ابتدا و انتهای آن دوره باشد، شاید نتواند به‌طور واضح تبدیلات تغییرات رخ داده در منطقه را نشان دهد. بنابراین انتخاب فواصل زمانی کوتاه‌تر در یک بازه زمانی طولانی می‌تواند جزئیات را به‌خوبی نشان دهد. در ادامه پژوهش‌هایی که برای مدل‌سازی از زنجیره مارکف استفاده کرده‌اند آورده شده است.

کیانپور و همکاران (۲۰۲۲) کارایی مدل تلفیقی سلول خودکار و زنجیره مارکف در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی تغییرات کاربری و پوشش اراضی محدوده سد گتوند را مورد ارزیابی قرار دادند. ضریب کاپا برای سال ۱۳۷۰، ۹۲/۰، سال ۱۳۸۷، ۹۷/۰ و در سال ۱۳۹۹، ۹۳/۰ به دست آمد. دقت مدل CA-MARKOV برای پیش‌بینی تغییرات در دوره دوم ۸۵ درصد به دست آمد (۸). ایمانی و همکاران (۹) روند تغییرات پوشش و کاربری اراضی با مدل زنجیره مارکف در منطقه همدان مدل‌سازی کردند. در نهایت نقشه پوشش اراضی استان همدان برای سال ۱۴۰۷ به‌دست‌آمد و مساحت هر یک از کاربری‌ها به تفکیک برآورد گردید. نتایج نشان می‌دهند که طبقات پوشش کاربری اراضی طبیعی در آینده روند کاهشی خواهند داشت و به کاربری‌های انسانی تبدیل خواهند شد. در مطالعه‌ای در حوزه کسپلیان، روند تغییرات مکانی کاربری اراضی را با استفاده از مدل سلول خودکار-مارکف برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی نمودند. بر اساس نتایج بیش‌ترین تغییرات کاربری در حاشیه جنگل و حاشیه مرتع رخ داده است و طی نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش مدل زنجیره مارکف به‌عنوان مدل پیش‌بینی‌کننده قابلیت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را در آینده دارد (۵). بورانا (۱۰) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل CA مارکف تغییرات کاربری شهری در منطقه جده

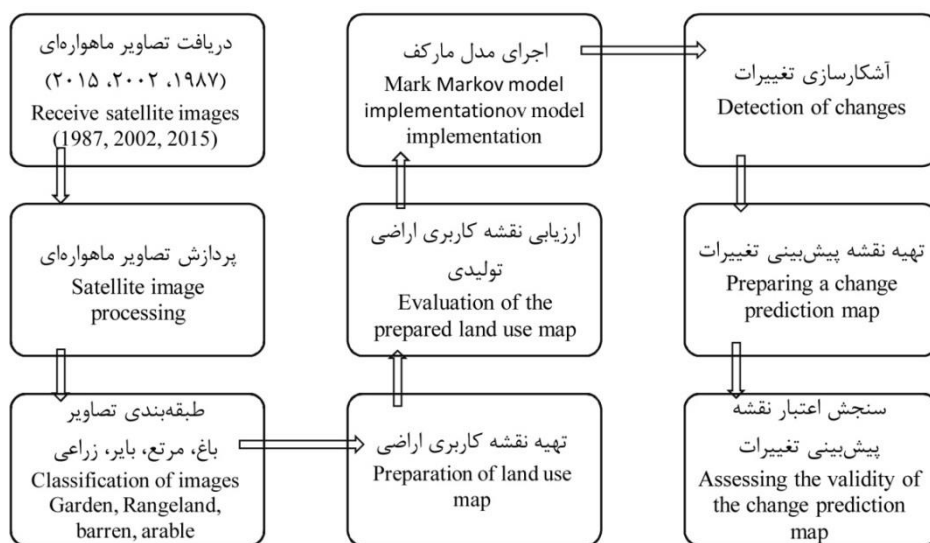
روستای قلعه جوق با مساحت ۷۵۳۰ هکتار از شمال به معدن طلای زرمهر و در امتداد کال زر، از شرق به سامان عرفی روستای خورش بر، از غرب به سامان عرفی روستای چنار و خط الرأس کوه های منارسنگ، از جنوب به سامان عرفی روستاهای خوشدره و زرمهر محدود می شود. بخشی از سامان روستای فدیه داخل حوزه مطالعاتی قرار گرفته است.

است. متوسط بارندگی سالانه حوزه قلعه جوق ۳۱۸ میلی متر و بیشترین بارندگی ماهانه حوزه مربوط به ماه اسفند به میزان ۶۸ میلی متر و در ماه مرداد و شهریور مقدار بارندگی کم تر از ۱ میلی متر است. بارندگی سالانه حوزه قلعه جوق بین ۲۳۰ میلی متر در نقاط پست و ۳۲۰ میلی متر در نقاط مرتفع متغیر است. اقلیم منطقه در روش آمبرژه نیمه خشک سرد و در روش دومارتن نیمه خشک است. سامان عرفی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the study area.



شکل ۲- نمودار جریان مراحل انجام کار.

Figure 2. Flow chart of work steps.

کیفیت بالای تصاویر، حداکثر فاصله زمانی ممکن برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در نظر گرفته شود. تصاویر از پایگاه زمین‌آماري سازمان زمین‌شناسي ایالات متحده (USGS) در تیرماه از منطقه برداشت شده است. تاریخ برداشت تصاویر ماهواره‌ای در جدول ۱ موجود است.

نمودار جریانی مراحل کار در شکل ۲ ارائه شده است. در این مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و از ۳ تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سه سنجنده MSS، ETM<sup>+</sup>، OLI به ترتیب برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ استفاده شد. در انتخاب تصاویر سعی گردیده علاوه بر توجه به

جدول ۱- ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده.

Table 1. Features of satellite images used.

سنجنده Sensor	Row/Path	تاریخ Date
MSS	36/195	20.07.1987
ETM <sup>+</sup>	36/195	21.07.2002
OLI	36/195	17.07.2015

نمونه‌های تعلیمی ۷۵ تا ۸۰ درصد از نقاط تعلیمی در فرآیند طبقه‌بندی دخالت داده شدند و ۱۵ تا ۲۰ درصد از نقاط جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند (۱۳). سپس نقشه کاربری پوشش برای ۴ طبقه کاربری مرتع، اراضی بایر، اراضی زراعی و باغات تهیه گردید. برای اندازه‌گیری میزان صحت نقشه کاربری تهیه شده از هر کدام از طبقات نمونه‌های آزمایشی تهیه گردید و با اطلاعات واقعیت زمینی و مناطقی که طی زمان تغییر نکرده بود مقایسه گردید. برای محاسبه میزان صحت تمامی نقشه‌های تولیدی، ضریب کاپا، دقت کلی، خطای افزایشی و خطای کاهش محاسبه گردید. به منظور بیان صحت یک نقشه به صورت کمی می‌توان آن را به صورت یک پیکسل به پیکسل با واقعیت زمینی مقایسه و نتایج را جدولی به نام ماتریس خطا درج نمود. معمولاً طبقات نقشه‌ی طبقه‌بندی شده در ردیف‌های جدول و واقعیت زمینی در ستون‌های جدول درج می‌گردد. به این ترتیب تعداد پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند در

تصاویر استفاده شده دارای خطاهای ژئومتریک و رادیومتری هستند که این خطاها ممکن است در اثر وضعیت ماهواره و سنجنده، شرایط جوی و خطاهای هنگام ثبت و انتقال اطلاعات و دیگر موارد ایجاد شود بنابراین در ابتدا باید روی تصاویر تصحیحات هندسی و اتمسفری صورت گیرد. تصحیحات هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی با پراکنش مناسب انجام شد و برای تصحیح خطاهای اتمسفری از فن کاهش پیکسل‌های تاریک (۱۲) استفاده شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی و پایش تغییرات کاربری اراضی طی ۲۷ سال، در دو دوره ۱۶ و ۱۳ ساله (۲۰۰۲-۱۹۸۷، ۲۰۱۵-۲۰۰۳) از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال که دقت قابل‌قبولی دارند استفاده شد. برای این منظور نیاز به تهیه نمونه‌های تعلیمی است که با استفاده از بازدید میدانی و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری نمونه‌های تعلیمی طوری انتخاب شدند که پراکنش و تعداد مناسب در سطح حوزه داشته باشند. از تعداد



مواقع قابل قبول است و در صورت به دست آوردن دقت کم‌تر از این میزان، تکرار نمونه‌گیری توصیه می‌شود. برای مقایسه و پیش‌بینی تغییرات کاربری- پوشش از نرم‌افزار TerrSet و از مدل زنجیره مارکف و روش خودکارسازی سلولی استفاده گردید. نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ وارد مدل زنجیره مارکف شدند و از آن‌ها برای تهیه نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ استفاده گردید.

از سوی دیگر، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده اهمیت دارد. بنابراین برای بررسی و نشان دادن این تغییرات نیاز به استفاده از روشی کارآمد است که تاکنون روش‌های مختلفی ارائه شده است. یکی از این روش‌ها مدل زنجیره‌ای مارکف است. با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (۱۴). آنالیز زنجیره مارکف ابزاری مناسب جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است و برای پی بردن به اعتبار نقشه‌های پیش‌بینی شده توسط مدل، از مؤلفه‌های توافق و عدم توافق استفاده می‌شود. در این هنگام نقشه‌های پیش‌بینی شده با نقشه‌های مرجع در زمان خاص مقایسه شده و توانایی مدل بر اساس اعتبار نقشه‌های تولیدی بررسی می‌شود (۵). مدل زنجیره‌ای مارکوف تصاویر پهنه‌بندی کاربری اراضی را تحلیل و یک خروجی به شکل ماتریس احتمالی تغییرات برای سال آینده را ارائه می‌دهد. در تحلیل زنجیره مارکوف از طبقه‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیر استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شود. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی

قطر جدول قرار خواهند گرفت. بر پایه این جدول می‌توان معیارهای کمی مانند صحت کلی<sup>۱</sup> و ضریب کاپا<sup>۲</sup> را برای بیان صحت محاسبه نمود. صحت کلی عبارت است از نسبت پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند به تعداد کل پیکسل‌های مورد مقایسه و از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$$OA = 1/n \sum p_{ii} \quad (1)$$

که در آن، OA صحت کلی، N پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده، P<sub>ii</sub> تعداد کل پیکسل‌های مورد مقایسه است. به این ترتیب صحت کلی که به درصد نیز بیان می‌گردد، میزان توافق و همخوانی تصویر حاصل از طبقه‌بندی با واقعیت زمینی را نشان می‌دهد. ضریب کاپا نشان‌دهنده توافق طبقه‌بندی با داده‌های واقعیت زمینی است. دامنه ضریب کاپا بین صفر تا یک است که عدد ۱ نشان‌دهنده همسویی یا توافق ۱۰۰ درصد نقشه حاصل از طبقه‌بندی با واقعیت زمینی است. رابطه ۲ جهت محاسبه ضریب کاپا عبارت است از:

$$kappa = \frac{po - pc}{1 - pc} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، po درستی مشاهده شده و pc توافق مورد انتظار است.

در ماتریس خطا، خطای افزایشی برابر تعداد پیکسل‌های یک کلاس است که به اشتباه از سایر کلاس‌ها در آن طبقه‌بندی شده‌اند، به بیان دیگر می‌توان گفت که این خطا نشان‌دهنده خطای افزایشی در طبقات است. خطای کاهش‌ی که خطای کاهش نیز نامیده می‌شود نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های یک طبقه است که اشتباهاً جزء طبقات دیگر طبقه‌بندی شده است. معمولاً دقت بیش‌تر از ۷۰ درصد برای اکثر

1- Overall accuracy  
2- Kappa coefficient

مدل مارکف وجود دارد این است که هیچ مفهوم مکانی ندارد، بنابراین چنانچه با خودکاره‌های سلولی ادغام شود، قابلیت‌های بالایی در آن ایجاد خواهد شد. در واقع مدل‌های مبتنی بر مارکف از توانایی بالایی در نشان دادن فرایندهای غیرخطی، مکانی و تصادفی برخوردارند.

در نهایت نقشه پوشش اراضی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۴۰ و ماتریس احتمال تغییرات تولید شد. مساحت همه طبقات موردنظر نیز در ماتریس مساحت مورد پیش‌بینی قرار گرفت. برای اعتبارسنجی مدل نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای سال ۲۰۱۵ با نقشه کاربری تهیه‌شده با استفاده از مدل زنجیره مارکف برای سال ۲۰۱۵ مقایسه گردید. برای پی بردن به صحت نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده و به دست آوردن اعتبار مدل مارکف از روش محاسبه ماتریس خطا و محاسبه جدول توافق و عدم توافق استفاده گردید. با انجام مقایسه بین نقشه حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، ماتریس خطا تهیه‌شده و در نهایت براساس معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا که دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند، میزان دقت طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مختلف محاسبه شد.

### نتایج و بحث

پس از اعمال تصحیحات اتمسفری و هندسی بر روی تصاویر، بهترین نمونه‌های تعلیمی انتخاب شد و طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال بر روی باندهای تصویر MSS، OLI، ETM<sup>+</sup> انجام شد و نقشه‌های حاصله در چهار طبقه از پوشش اراضی تهیه گردید. انتخاب مناسب زمانی داده‌های مورد استفاده، برای پردازش در آشکارسازی تغییرات

پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر طبقه و در پایان تصاویر احتمالات شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (۱۵، ۱۶، ۱۷). سیستم مارکف (فرایند مارکف یا زنجیره مارکف)، سیستمی است که می‌تواند از یک حالت به حالت دیگر در مرحله زمانی بعد مطابق با احتمالات ثابت انتقال یابد. اگر سیستم مارکف در وضعیت  $i$  قرار داشته باشد با احتمال ثابت  $P_{ij}$  در زمان آینده در وضعیت  $j$  قرار خواهد گرفت. این سیستم می‌تواند از طریق دیاگرام انتقال حالت شرح داده شود. دیاگرام انتقال حالت، دیاگرامی است که تمامی حالت‌ها و احتمالات انتقال را نشان می‌دهد.

آنالیز زنجیره مارکف تغییرات پوشش و کاربری اراضی را از یک دوره زمانی به دوره زمانی دیگر توصیف می‌کند و اساسی برای پیش‌بینی تغییرات آینده فراهم می‌نماید. در این آنالیز ماتریسی از تغییرات کاربری اراضی از زمان ۱ به کاربری دیگر در زمان ۲ تولید می‌شود. این ماتریس احتمال اینکه هر طبقه از پوشش یا کاربری اراضی به سایر طبقات تغییر خواهد کرد را نشان می‌دهد. در ماتریس مذکور ردیف‌ها نشان‌دهنده طبقات پوشش اراضی قدیمی‌تر و ستون‌ها نشان‌دهنده طبقات پوشش جدیدتر است. مدل‌های سلول‌های خودکار، مدل‌های دینامیک گسسته‌ای هستند که در شبیه‌سازی گستره وسیعی از فرایندهای طبیعی و انسانی کاربرد دارند. با پیشرفت GIS از این مدل به منظور شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده شد. مدل CA-Markov مدل تلفیقی زنجیره مارکف و خودکاره‌های سلولی است. هر دو مدل خودکاره‌های سلولی و مارکف، مدل‌هایی پویا و گسسته در زمان و حالت هستند. مشکلی که در مورد

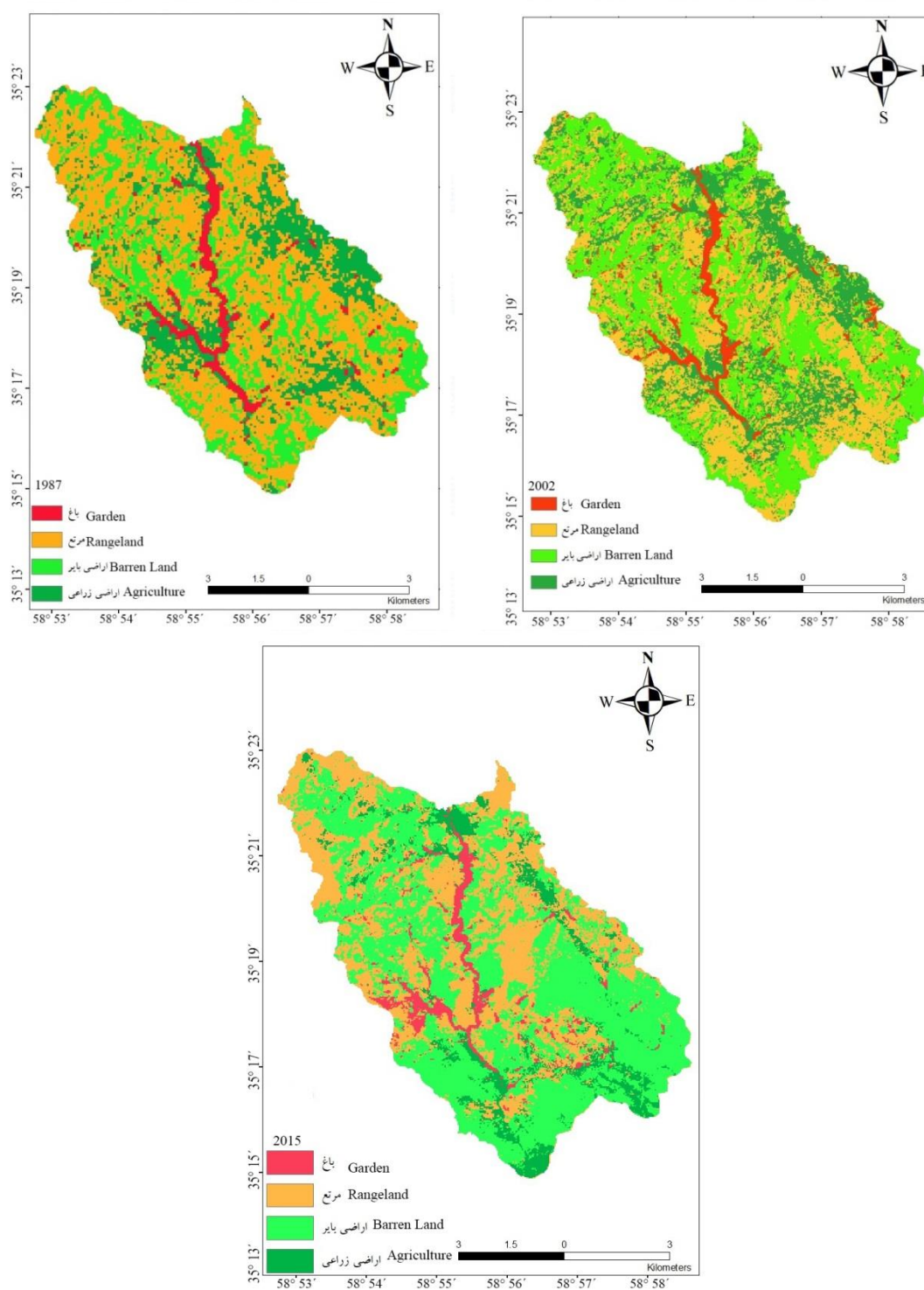
تصاویر MSS، ETM<sup>+</sup> و OLI به ترتیب برابر ۰/۷۳، ۰/۶۳، ۰/۵۲ پیکسل برآورد شده است که میزان آن کم‌تر از یک پیکسل است. نتایج فوق با نتایج زارع و همکاران (۲۰۱۶)، به‌روشیان (۲۰۱۶)، یوآن و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد (۵، ۲۱، ۲۲). ضریب کاپا، خطای کاهشی، خطای افزایشی و دقت کلی نقشه‌های تهیه شده نیز در ماتریس خطا موجود محاسبه گردید. شکل ۳ نشان‌دهنده نقشه‌های کاربری اراضی به‌دست‌آمده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال است. ماتریس خطای نقشه‌های مذکور در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.

به‌اندازه انتخاب سنجنده‌ها، طبقات تغییر و الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات، دارای اهمیت است که فاصله زمانی ۱۵ سال برای تصاویر سنجنده MSS و ETM<sup>+</sup> و همچنین فاصله زمانی ۱۳ سال برای تصاویر ETM<sup>+</sup> و OLI بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی ارائه می‌کند. این نتایج با نتایج زارع و همکاران (۲۰۱۶)، علوی‌پناه و همکاران (۲۰۰۴)، فن و همکاران (۲۰۰۷) و بین و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد (۵، ۱۸، ۱۹، ۲۰). نتایج به‌دست‌آمده در بخش آماده‌سازی داده‌های مورداستفاده، نشان‌دهنده این است که میزان خطای حاصل از تصحیح هندسی

جدول ۲- ماتریس خطای نقشه پوشش اراضی (درصد) حاصله از تصویر MSS سال ۱۹۸۷ به روش حداکثر احتمال.

**Table 2. Land cover error (%) mapping matrix obtained from 1987 MSS image in Maximum Likelihood Method.**

خطای کاهشی Omission error	جمع Sum	زراعی Agriculture	بایر Barren land	مرتع Rangeland	باغ Garden	کاربری Land use
1.9	22.93	0.92	0.00	0.97	81.58	باغ Garden
33.62	34.11	26.61	24.04	75.36	3.16	مرتع Rangeland
26.46	27.43	0.00	75.96	22.71	1.58	بایر Barren land
26.17	15.53	72.48	0.00	0.97	13.68	زراعی Agriculture
-	-	27.52	24.04	24.64	18.42	خطای کاهشی Omission error
					دقت کلی: 76.77 Accuracy	ضریب کاپا: 0.7 Kappa coefficient



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵.

Figure 3. Land cover map in 1987, 2002 and 2015.

جدول ۳- ماتریس خطای نقشه پوشش اراضی (درصد) حاصله از تصویر ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۲ به روش حداکثر احتمال برحسب.

**Table 3. Land cover error (%) mapping matrix obtained from 2002 ETM<sup>+</sup> image in Maximum Likelihood Method.**

خطای کاهشی Omission error	جمع Sum	زراعی Agriculture	بایر Barren land	مرتع Rangeland	باغ Garden	کاربری Land use
17.24	48.79	35.19	3.99	4.35	99.31	باغ Garden
0.81	13.91	0.00	0.00	62.92	0.28	مرتع Rangeland
28.77	24.57	36.07	95.71	0.26	0.28	ارضی بایر Barren land
56.83	12.73	28.74	0.31	32.48	0.14	اراضی زراعی Agriculture
-	-	71.26	4.29	37.08	0.69	خطای کاهشی Omission error
				دقت کلی: 0.85 Accuracy		ضریب کاپا: 0.75 Kappa coefficient

جدول ۴- ماتریس خطای نقشه پوشش اراضی (درصد) حاصله از تصویر OLI سال ۲۰۱۵ به روش حداکثر احتمال.

**Table 4. Land cover error (%) mapping matrix obtained from 2015 OLI image in Maximum Likelihood Method.**

خطای کاهشی Omission error	جمع Sum	زراعی Agriculture	بایر Barren land	مرتع Rangeland	باغ Garden	کاربری Land use
0.5	33.33	1.06	0.00	0.00	96.59	باغ Garden
9.73	30.99	4.26	10	99.4	0.49	مرتع Rangeland
0.85	19.77	0.00	90	0.6	0.00	بایر Barren land
6.32	15.91	94.68	0.00	0.00	2.93	زراعی Agriculture
-	-	5.32	10	0.6	3.41	خطای کاهشی Omission error
				دقت کلی: 95.64 Accuracy		ضریب کاپا: 0.94 Kappa coefficient

به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده گردید. در نهایت ۴ طبقه از پوشش اراضی که شامل: باغ‌ها، مراتع، اراضی بایر و اراضی زراعی تهیه شد. سپس میزان صحت نقشه‌های تولیدشده برای

نتایج ارزیابی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده نشان داد که این روش توانایی قابل‌قبولی در تعیین کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه دارد. طی بررسی‌های انجام‌شده الگوریتم حداکثر احتمال در منطقه مورد نظر

حدود ۲۱۳۳ هکتار به طبقه اراضی بایر تعلق گرفته است. اراضی بایر منطقه با ضریب رشد ۲۰ درصدی از ۱۷۷۶ هکتار به ۳۸۶۹ در سال ۲۰۱۵ رسیده است. میزان اراضی زراعی از ۲۴۸ هکتار در سال ۱۹۸۷ به ۶۷۹ هکتار در سال ۲۰۱۵ تغییر مساحت داده است (شکل ۴).

سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ به دست آمد که به ترتیب با ضریب کاپای ۰/۷۵، ۰/۷۰ و ۰/۹۴ برابر است. تغییرات پوشش اراضی بین سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۵ در جدول ۵ ارائه شده است. در بین سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۵ بیش از ۵۰ درصد طبقه باغ حفظ شده است. در طول این دوره بیش‌ترین تغییرات اراضی مرتعی با مساحتی

جدول ۵- روند تغییرات پوشش اراضی (هکتار) بین سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۵.

Table 5. Changes trend in land cover(ha) between 1987-2015.

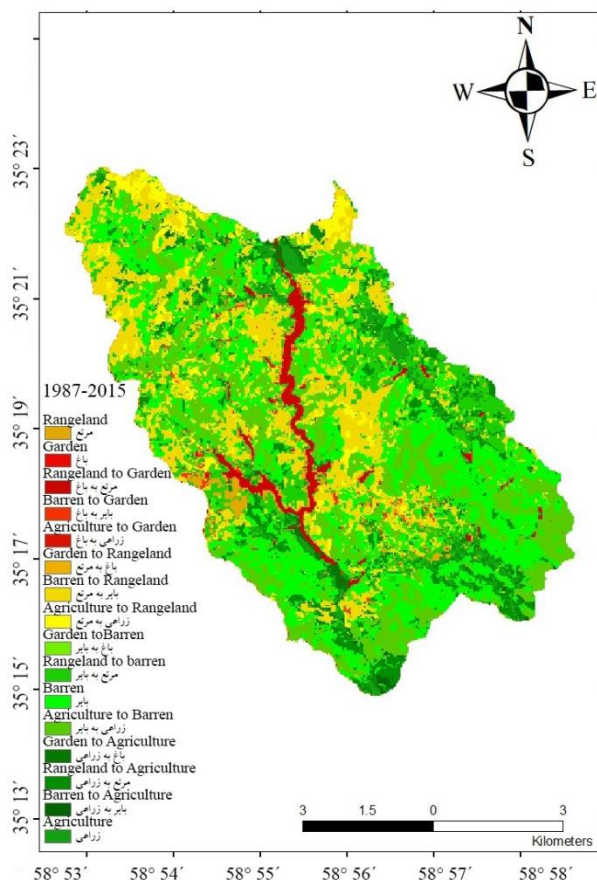
جمع Sum	زراعی Agriculture	بایر Barren land	مرتع Rangeland	باغ Garden	کاربری اراضی Land use
398.97	108.9	18.45	65.43	206.1	باغ Garden
2589.3	645.48	364.23	1508.04	54.45	مرتع Rangeland
3869.19	297.45	1355.85	2132.37	75.33	بایر Barren land
679.05	247.68	34.74	339.93	54.99	زراعی Agriculture
14395.59	1302.39	1776.33	4057.29	391.68	جمع کل Sum

دلایل این کاهش، عدم ممیزی مراتع، نبود بهره‌بردار مشخص در گذشته، عدم آگاهی دامداران از نحوه صحیح بهره‌برداری، عدم وجود منابع درآمدزا در منطقه، الزام بعضی از ساکنین به حرفه دامداری جهت امرار معاش و نیز افزایش قیمت گوشت و فرآورده‌های دامی بوده است. با توجه به این دلایل، افزایش میزان بهره‌برداری از مراتع بیش‌تر از ظرفیت آن‌ها انجام شده است. در سال ۲۰۱۵ سطح مراتع به ۲۵۸۸ هکتار رسیده است که یک رشد ۱۱ درصدی داشته است. با توجه به بررسی‌های انجام شده در منطقه مهم‌ترین دلایل آن می‌تواند مربوط به اجرای طرح‌های مرتع‌داری، کپه‌کاری، قرق، اصلاح و احیا مراتع باشد. با توجه به نتایج فوق طبقه مرتع جزو پویاترین طبقات طی این ۲۸ سال بوده است. طبقه اراضی بایر در سال ۱۹۸۷، ۲۳/۶۳ درصد از مساحت اراضی را در بر

نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌شده، نشان‌دهنده توانایی بالاتر این روش نسبت به روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده است. با انتخاب داده‌های تعلیمی مناسب می‌توان نتیجه مطلوبی از این روش به دست آورد؛ اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک بازتاب طیفی مشابه برخی از پدیده‌ها مانند مناطق شهری و اراضی بایر از دقت کار می‌کاهد. کاموسکو (۲۰۰۶) به اختلاط طیفی بین اراضی بایر و مناطق شهری در انجام تحقیقات خود اشاره کرد (۲۳). شالابی (۲۰۰۷) در پژوهش‌های خود از طبقه‌بندی نظارت‌شده به منظور مقایسه پوشش اراضی سواحل شمال شرقی مصر استفاده کرد و آن را روش مناسبی نسبت به روش نظارت‌نشده بیان نمود (۲۴). طبقه مرتع در سال ۱۹۸۷، ۴۰۵۳ هکتار از مساحت منطقه را در بر می‌گرفته است که در سال ۲۰۰۲ به میزان ۱۷۵۱/۱۴ هکتار می‌رسد. مهم‌ترین

درآمد است. طی بررسی‌های صورت گرفته در فاصله زمانی ۲۰۰۲-۲۰۱۵ مساحت اراضی زراعی از ۳۵ درصد به ۹ درصد کاهش پیدا کرده است، افزایش اراضی زیر کشت بدون توجه به استعداد اراضی و توسعه ناپایدار فعالیت‌های کشاورزی مهم‌ترین دلیل این تغییرات بوده است. دلیل دیگر این امر تغییرات ناشی از تبدیل این اراضی به مرتع تحت مدیریت اداره منابع طبیعی منطقه (ملی شدن اراضی و صدور سند برای اراضی ملی) و انجام فعالیت‌های اصلاح و احیا مرتع بوده است. طبقه زراعی نیز جزو ناپایدارترین طبقات طی این ۲۸ سال است. طبقه باغ با توجه به اهمیت اقتصادی و توجه بیشتر به عنوان پایدارترین طبقه در منطقه مورد نظر طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ است.

می‌گرفته است که تا سال ۲۰۱۵ هم‌چنان افزایش مساحت داشته است. به‌طوری‌که از ۱۷۷۹ هکتار به ۳۸۶۸ هکتار در سال ۲۰۱۵ رسیده است که ناشی از افزایش جمعیت در منطقه و قطع درختان و بوته‌ها جهت سوخت و احداث بنا بوده است. در شمال حوزه برخی دامداران روستای فدیهه وارد حوزه قلعه‌جوق شده و مراتع آن قسمت را مورد تعلیف دام‌های خود قرار داده‌اند. با توجه به دور بودن این مناطق از روستا حفاظت و مدیریت آن با توجه کم‌تر انجام شده که منجر به افزایش اراضی بایر منطقه شده است. طبقه اراضی زراعی در سال ۱۹۸۷، ۱۳۰۲ هکتار از مساحت کل منطقه را در بر می‌گرفته است که در سال ۲۰۰۲ به میزان ۱۷۷۳ هکتار رسیده است. این امر به دلیل افزایش جمعیت دوره‌ای در منطقه و زیر کشت بردن هرچه بیشتر مناطق مرتعی جهت افزایش

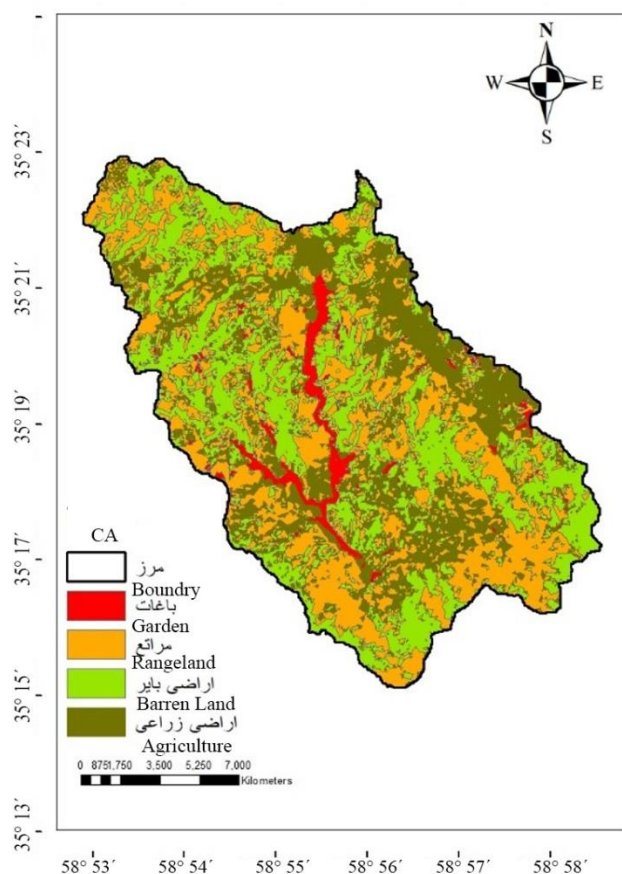


شکل ۴- نقشه تغییرات پوشش اراضی قلعه‌جوق طی سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۵.

Figure 4. Land cover map changes in Ghale Jogh during 1987-2015.

سال ۲۰۱۵ برابر با ۰/۷۵ به دست آمد. هم‌چنین روند تبدیل هر کاربری به کاربری دیگر در طول زمان (ماتریس احتمال انتقال سرزمین) از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ مطابق جدول ۶ و شکل ۶ به دست آمد.

در مرحله شبیه‌سازی به‌منظور ایجاد ماتریس احتمال انتقال از تصاویر سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ استفاده شد و نقشه کاربری-پوشش برای سال ۲۰۱۵ با استفاده از مدل زنجیره مارکف تهیه شد (شکل ۵). میزان ضریب کاپای استاندارد برای نقشه کالیبراسیون



شکل ۵- نقشه کالیبراسیون منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل CA مارکف.

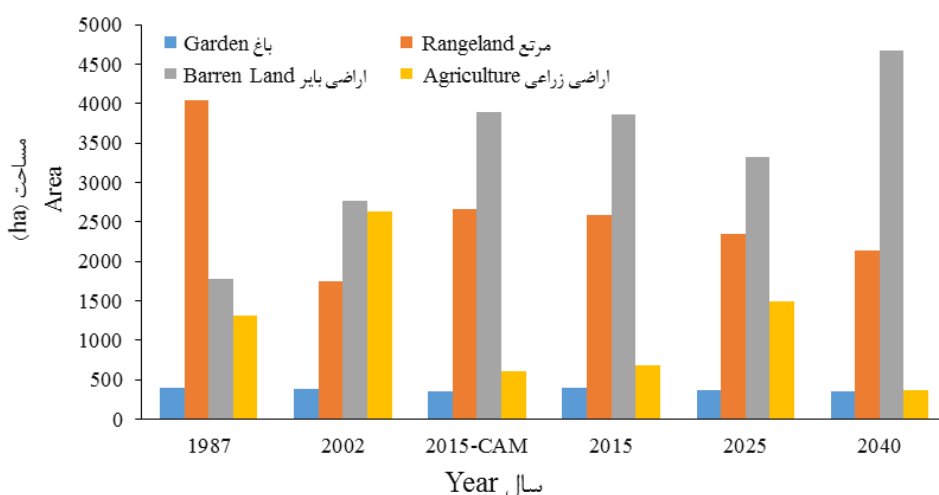
Figure 5. Calibration map of the study area based on CA Markov chain model.

جدول ۶- روند تغییر مساحت کاربری اراضی (هکتار) در دوره‌های مختلف.

Table 6. The trend of change the area of land use (ha) in different periods.

زراعی Agriculture	بایر Barren land	مرتع Rangeland	باغ Garden	
1312	1779.13	4045.64	393.23	1987
2632.7	2768.3	1751.14	377.86	2002
613.54	3800.4	2762.36	353.7	2015 (CA مارکف)
678.01	3867.86	2588.98	395.15	2015
1489.13	3325.32	2352.28	363.27	2025
370.02	4676.64	2133.09	350.25	2040





شکل ۶- مساحت کاربری های اراضی منطقه از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۴۰.

Figure 6. The area of land use during from 1987 to 2040.

به علت قابل توجه نبودن خطاها، مدل مارکف برای پیش بینی تغییر کاربری قابلیت خوبی را دارا است. این نتیجه با نتایج زارع و همکاران (۵) مطابقت دارد. آن ها در پیش بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی در حوزه آبخیز کسلیان با استفاده از مدل CA مارکف برای صحت سنجی مدل از ماتریس توافق و عدم توافق استفاده کردند. با ۰/۹ درصد توافق، نقشه پیش بینی شده با نقشه واقعی کاربری، به عنوان مدلی قابل قبول برای پیش بینی معرفی گردید. در نتیجه فرضیه دوم، شبیه سازی تغییرات در آینده با مدل مارکف، با توجه به نتایج به دست آمده این پژوهش و سایر پژوهشگران مورد قبول واقع می شود.

با استفاده از نقشه پوشش اراضی سال ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ نقشه پیش بینی ۲۰۱۵ با استفاده از مدل CA مارکف در نرم افزار ادریسی شبیه سازی شد. مطابق با دستور Validate، توافق نقشه مرجع سال ۲۰۱۵ با نقشه پیش بینی شده با مدل CA مارکف همان سال مورد بررسی قرار گرفت. نقشه پیش بینی شده برای سال ۲۰۱۵ با ضریب کاپا ۰/۷ درصد و ماتریس توافق ۰/۷۳ نسبت به نقشه مرجع صحت سنجی شد. صالحی و همکاران (۲۵) صحت مدل زنجیره مارکف با استفاده از شاخص کاپا ۸۷ درصد برآورد کردند. اگرچه نتایج پیش بینی، با ماتریس تبدیل کاربری با داده های نقشه ای موجود اختلاف جزئی دارد، اما

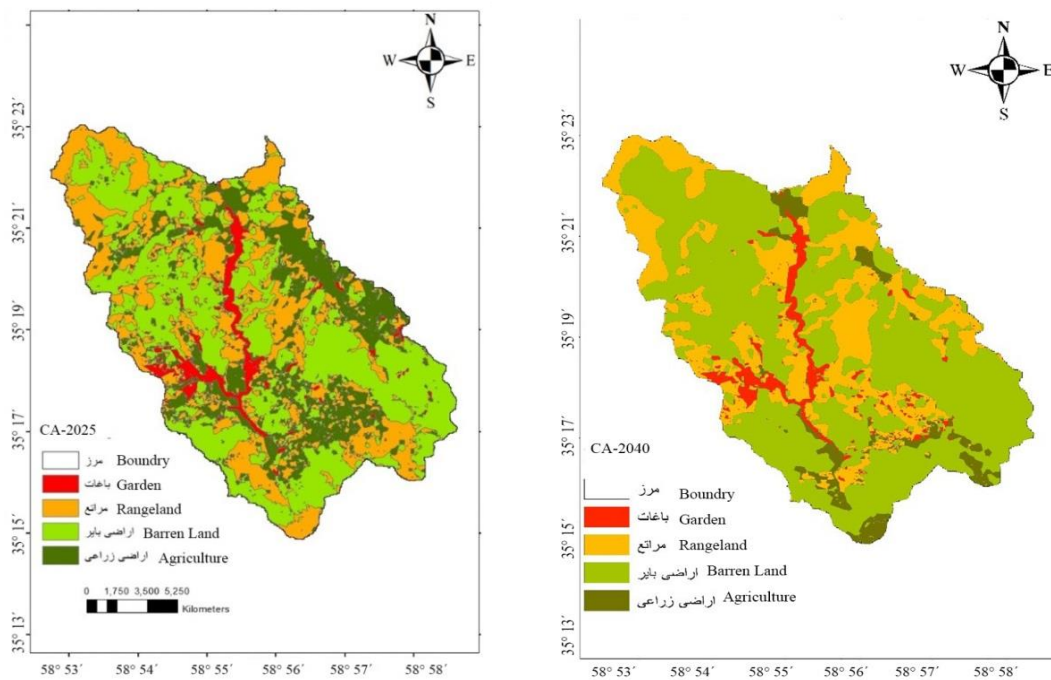
جدول ۷- توافق و عدم توافق نقشه طبقه بندی نظارت شده و نقشه شبیه سازی شده بر مبنای CA مارکف.

Table 7. The agreement and the disagreement between the supervised classification map and the simulated map based on CA Markov.

	No (n)	Medium	Perfect (p)			
Perfect (P <sub>(X)</sub> )	P (n)	0.64	P (m)	0.91	P (p)	1
Medium Grid (M <sub>(X)</sub> )	M (n)	0.49	M (m)	0.75	M (m)	0.73
No (N <sub>(X)</sub> )	N (n)	0.2	N (m)	0.31	N (p)	0.39

پس از بررسی نتایج حاصل از صحت مدل‌سازی تغییرات کاربری- پوشش در سال ۲۰۱۵ از این مدل برای پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۵ استفاده شد. در شکل ۷ و نقشه کاربری- پوشش برای سال ۲۰۲۵ ارائه شده است. همچنین در جدول ۸ میزان تغییرات کاربری- پوشش از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ موجود است. بر اساس این مدل در نقشه شبیه‌سازی شده مراتع کاهش یافته و اراضی زراعی افزایش قابل‌توجهی داشته است. در ضمن مساحت پوشش اراضی بر مبنای مدل CA مارکف در جدول ۹ قابل مشاهده است.

جدول ۷ مؤلفه  $N(n)$  توافق ناشی از شانس را بیان می‌کند که این مؤلفه برای نقشه سال ۲۰۱۵ برابر ۰/۲ است. این توافق در واقع بدون داشتن هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره موقعیت و کمیت به دست می‌آید.  $N(m) - N(n)$  نشان‌دهنده توافق ناشی از کمیت است که در این نمونه ۰/۱۱ برآورد شده است. عدم توافق ناشی از کمیت نیز بر اساس فرمول روبرو بیان می‌شود،  $P(P) - P(m)$  از جدول بالا ۰/۲۳ برآورد می‌گردد. طی نتایج به دست آمده در این بخش مدل مارکف با اعتبار بالا به پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی آینده می‌پردازد که توافق نقشه پیش‌بینی شده با نقشه واقعی ۰/۷۳ است.



شکل ۷- نقشه پوشش اراضی پیش‌بینی شده سال‌های (A) ۲۰۲۵ و (B) ۲۰۴۰ با مدل CA مارکف.

Figure 7. The predicted Land cover map for years A) 2025 and B) 2040.

جدول ۸- ماتریس احتمال انتقال پوشش اراضی از سال ۲۰۱۵ به ۲۰۲۵ و ۲۰۴۰.

**Table 8. The matrix of the probability of transferring land cover from 2015 to 2025 and 2040.**

زراعی Agriculture	بایر Barren land	مرتع Rangeland	باغ Garden		
2.61	13.86	15.03	336.78	باغ Garden	2015-2025
352.26	411.21	1539.36	23.04	مرتع Rangeland	
5.22	3089.72	251.82	2.97	بایر Barren land	
318.51	371.7	774.81	36.18	زراعی Agriculture	
3.69	0.9	7.29	344.34	باغ Garden	2015-2040
92.34	91.08	1915.11	4.14	مرتع Rangeland	
228.96	3772.8	651.15	49.77	بایر Barren land	
354.06	4.41	15.75	0.72	زراعی Agriculture	

جدول ۹- مساحت طبقات پوشش اراضی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی شده به روش CA مارکوف.

**Table 9. The area of land cover classes predicted by CA Markov method in 2025 and 2040.**

مساحت (هکتار) Area (ha)	Land use	کاربری اراضی	
363.2	Garden	باغات	2015-2025
2353.9	Rangeland	مراتع	
3325.3	Barren land	اراضی بایر	
1489.1	Agriculture	اراضی زراعی	
350.2	Garden	باغات	2015-2040
2134.9	Rangeland	مراتع	
4676.8	Barren land	اراضی بایر	
370.02	Agriculture	اراضی زراعی	

### نتیجه‌گیری کلی

در بخش آشکارسازی تغییرات، علی‌رغم این‌که روش‌ها و الگوریتم‌های متعددی در این زمینه وجود دارد، اما روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده‌شده جهت آشکارسازی تغییرات در منطقه قلعه‌جوق، نسبت به سایر روش‌ها از مزیت بیشتری برخوردار است. به‌منظور درک این‌که طی دوره ۲۸ ساله، تغییرات منطقه چگونه بوده است، آشکارسازی تغییرات در سه حالت تصویر ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲، ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ و ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات درصد مساحت کلاس‌های کاربری اراضی باغ، مرتع، بایر و زراعی در سال ۱۹۸۷ از ۵، ۵۴، ۲۴ و ۱۷ درصد به ۵/۵، ۳۴/۳۸، ۵۱/۳۷، ۹٪ در سال ۲۰۱۵ بوده است درنهایت نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. با توجه به نتایج این پژوهش روند کاهشی سطح اراضی مرتعی تا سال ۲۰۴۰ ادامه دارد و بر مساحت اراضی بایر و زراعی افزوده خواهد شد که علت این امر به دلیل افزایش جمعیت در منطقه و نیاز به اشتغال و استفاده نامناسب از مراتع است. به‌طورکلی روند تغییر اراضی مرتعی و بایر و زراعی به‌گونه‌ای است که این طبقات جزو ناپایدارترین طبقات هستند و اراضی باغی جزو پایدارترین طبقات محسوب می‌شوند. علت ناپایداری این طبقات به دلیل چرای بی‌رویه دام‌ها و عدم رعایت ظرفیت مناسب چرا و بهره‌برداری نادرست از مراتع است و علت پایداری اراضی باغی به دلیل توجه بیش‌تر و اهمیت اقتصادی آن است. نتایج این پژوهش بیانگر این است که مدل مارکف با اعتباری به پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی ۲۵ سال آینده می‌پردازد که توافق نقشه پیش‌بینی‌شده با نقشه واقعی بیش‌تر از ۷۰٪ خواهد بود. بر اساس نتایج حاصل از آشکارسازی و شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی آینده منطقه مورد مطالعه به روش سلول-خودکار مارکف، کاربری اراضی مرتعی و زراعی

بیش‌ترین تغییرات را داشته‌اند. اراضی باغی به دلیل توجه بیش‌تر و اهمیت اقتصادی آن، تغییر چندانی در وسعت آن ایجاد نشده است، به‌طورکلی بیش‌ترین تغییرات در مراتع و اراضی زراعی رخ داده است. که با توجه به کارهای اصلاحی که در منطقه انجام شده است از مساحت اراضی زراعی کم بازده کاسته و به مراتع اضافه شده است.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان از دانشگاه تربت‌حیدریه که موجبات تسهیل انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند تشکر می‌نمایند.

### داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه فوق‌لیسانس نویسنده اول که در شهرستان تربت‌حیدریه و منطقه قلعه‌جوق واقع در استان خراسان رضوی انجام گرفته است. نویسندگان حداقل سطح دسترسی که بررسی داده‌ها و اطلاعات توسط سردبیر/دبیر تخصصی و داوران است، پذیرفته و با مکاتبه با نویسنده مسئول داده‌ها قابل دسترسی است.

### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

### مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: اندازه‌گیری میدانی و آماده‌سازی داده‌ها، انجام آنالیزهای آماری و نگارش مقاله  
نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله  
نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش و نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

## اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

## حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه تربت‌حیدریه و دانشکده کشاورزی در قالب گرانت پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول انجام شده است.

## منابع

1. Karimzadeh Motlagh, Z., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Ahmadizadeh, S. (2022). Evaluation and Prediction of Land-Use Changes using the CA-Markov Model, *Geography and Environmental Planning*, 33 (2), 63-80.
2. Fathizadeh, H., Karimi, H., Tazeh, M., & Tavakoli, M. (2013). Projection of Land Use Change and Land Coverage Using Satellite Data and Markov Chain Model (Case Study: Dawarge Plain, Ilam Province). *Desert management*. 2 (3), 61-76. [In Persian]
3. Esmaeili, F., & Ilanloo, M. (2021). Modeling Land Use Changes Based on Markov Chain in LCM (A Case Study of Ramhormoz), *Quarterly Journal of Geography Environment Preparation*, 14 (54), 147-166. [In Persian]
4. Guan, D., Gao, W., Watari, K., & Fukahori, H. (2008). Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model. *Journal of Geographical Sciences*. 18 (4), 455-468.
5. Zare, M., Nazari Samani, A.A., Khalighi Sigarodi, Sh., Jori, M.H., & Bazrafshan, J. (2016). Prognosis of Land Use Land Use Change Process in Kasaliyan Basin Basin Using the Auto-Markov Cell Model. *Iranian Journal of Natural Resources*. 70 (2), 373-383. [In Persian]
6. Khazaei, A., Abaspour, M., Babaei Kafaky, S., Taghavi, L., & Rashidi, Y. (2022). Investigating and predicting land use changes in Tehran metropolis using remote sensing technology. *Environmental Sciences*, Online press. [In Persian]
7. Nikpour, A., Amounia, H., & Nourpasandi, E. (2021). Monitoring and predicting land use changes using landsat satellite images by Cellular Automata and Markov model (Case study: Abbasabad area, Mazandaran province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12 (2), 35-53. [In Persian]
8. Kianpoor Kal Khajh, M., Pajouhesh, M., & Emamgholizadeh, S. (2022). Evaluation of Markov Chain and Automated Cell Integrated Model in Simulation of Land Use Change and Land Cover of Gotvand Dam. *Journal of Water and Sustainable Development*, 9 (2), 47-56. [In Persian]
9. Imani Hersini, J., Kaboli, M., Faghihi, J., & Taherzadeh, A. (2016). Modeling the process of land cover change / land use using Markov chain and automated network (Case study of Hamedan province). *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*. 19 (1), 119-129. [In Persian]
10. Borana, S., & Yadav, S. (2017). Prediction of Land Cover Changes of Jodhpur City Using Cellular Automata Markov Modelling Techniques. *International Journal of Engineering Science*. 17 (11), 15402-15406.
11. FU, X., Wang, X., & Yang, J. (2018). Deriving suitability factors for CA-Markov land use simulation model based on local historical data. *Journal of Environmental Management*. 206, 10-19.
12. Naghibi, J. Habibian, H., & Habibian, M.R. (2010). Determination of vegetation optimum indices for modeling of rangeland vegetation percentage using spectral reflection of satellite images. *Journal of Plant Ecophysiology*. 1 (3), 63-73. [In Persian]
13. Nickho, N., Ildoromi, A., & Nori, H. (2015). Changes in land use in Malair city using remote sensing. *Quarterly Journal of Geography Environment Preparation*, 30 (8), 63-86.
14. Singh, V. G., Singh, S. K., Kumar, N., & Singh, R. P. (2022). Simulation of land use/land cover change at a basin scale

- using satellite data and markov chain model. *Geocarto International*, pp. 1-26. [In Persian]
15. Mir Alizadehfard, S. R., & Alibakhshi, S. M. (2016). Monitoring and forecasting of land use change by applying Markov chain model and land change modeler (Case study: Dehloran Bartash plains, Ilam). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7 (2), 33-46. [In Persian]
  16. Rahnama, M. R. (2021). Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030. *Sustainable Cities and Society*, 64, p. 102548.
  17. Koohestani, N., Rastgar, S., Heidari, G., Shataei Joybari, S., & Amirnejad, H. (2020). Monitoring and predicting the trend of changing rangelands using Satellite images and CA-Markov model (Case study: Noor-rood basin, Mazandaran province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11 (3), 1-21.
  18. Alavi Panah, S. K., Ehsani, A. H., & Omid, P. (2004). Investigation of desertification and land degradation in Damghan using multi-spectral satellite data. *Wildlife Magazine*. University of Tehran. 9, 154-143. [In Persian]
  19. 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<sup>+</sup> imagery. *Sensors*, 7 (7), 1323-1342.
  20. Binh, T. N. K. D., Vormant, N., Hung, N., Hens, L., & Boon, E. K. (2005). Land cover changes between 1968 and 2003 in CIA Nuoc, CA MAU Peninsula, Vietnam. *Environment Development and Sustainability*. 7, 591-536.
  21. Behraveshtian, H. (2016). Investigation of Landsat 8 Satellite Image Capabilities in Estimating Rangeland Forage Production (Case Study: Torbatehidiriyah). Master thesis, Torbat-e-Jadeirieh University. [In Persian]
  22. Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer. M. M. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan. *Remote Sensing of the Environment*. 98, 317-328
  23. Kamusoko, C., & Aniya, M. (2006). Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the bandura district Zimbabwe, *Land degradation and Development*. 18 (2), 221-233.
  24. Shalaby, A., & Tateishi, R. (2007). Remot sensing and for mapping and monitoring land cover and land use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*. 27, 28-41.
  25. Salehi, N., Ekhtesasi, M. R., & Talebi, A. (2019). Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (Case study: Safarod Ramsar watershed), *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10 (1), 106-120.