مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره هفت، مهرماه ۱۴۰۲(۱۲-۱)

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مناطق جنگلی زاگرس براساس مدل زنجیره مارکوف

علی قادریان [۱]

ناصر احمدی ثانی [۲*]

n.ahmadisani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۳۱ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۶**

چکیده

زمینه و هدف: امروزه با توجه به رشد روز افزون جمعیت، تغییرات کاربری اراضی و تاثیرات آن بر محیط زیست، پایش و مدل‌سازی تغییرات کاربری یکی از پیش‌شرط‌های اصلی برای دست‌یابی به توسعه پایدار می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی در سطح شهرستان سردشت به‌منظور کسب اطلاعات پایه جهت برنامه‌ریزی در راستای مدیریت پایدار جنگل می‌باشد.

روش بررسی: به‌این منظور، تصاویر ماهواره لندست ۷ (سنجنده ETM^+) و لندست ۸ (سنجنده OLI) مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ مورد پردازش قرار گرفت. با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده با روش حداکثر احتمال نقشه کاربری برای هر دو دوره استخراج شد. مدل سنتی زنجیره مارکوف و تکنیک CA برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در ۲۵ سال آینده به‌کار برده شد.

یافته‌ها: صحت کلی در طبقه‌بندی تصاویر سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ به‌ترتیب معادل ۸۹ و ۹۴ در صد و ضریب کاپا برابر ۰/۸۷ و ۰/۹۲ بود. نتایج نشان داد که در طول این دوره، حدود ۷٪ از سطح جنگل کاهش و اراضی کشاورزی حدود ۷۲٪ افزایش پیدا کرده است. با توجه به ماتریس احتمال انتقال مارکوف، بیشترین میزان تبدیل از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۴۰ از سطح جنگل و مرتع به کشاورزی و مسکونی صورت گرفته است.

بحث و نتیجه‌گیری: تغییرات در سطح جنگل‌ها تا سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد که جنگل‌ها به‌طور پیوسته در طول زمان کاهش سطح خواهند داشت. نتایج پژوهش حاضر حاوی اطلاعات کمّی است که می‌تواند مبنای ارزیابی پایداری در مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس و انجام اقدامات لازم جهت کاهش تخریب باشد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های سردشت، سلول‌های خودکار، شبیه‌سازی، کشف تغییرات، لندست.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.* (مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 7, October, 2023

Land use changes predicition in Zagros forest areas based on Markov Chain Model

Ali Ghaderian [1]
Naser Ahmadi Sani [2*]
n.ahmadisani@gmail.com

Admission Date:January 16, 2019 Date Received: August 22, 2018

Abstract

Background and Objective: Today, due to increasing population growth and land use changes and its impact on the environment, monitoring and modeling land use changes is one of the main prerequisites for optimum use of land and achieving sustainable development. The purpose of this study was to evaluate and predict the spatial and temporal dynamics of land use in the county of Sardasht, in order to obtain basic information for planning in line with sustainable forest management.

Material and Methodology: Data from the Landsat 7 images (+ETM) 2003, and Landsat 8 (OLI) 2015 were analyzed. The Maximum Likelihood algorithm has been used to mapping the land use for the years. The analysis of the change dynamics using traditional Markov Chain and Cellular Automata was predicted for the next 25 years.

Findings: The overall accuracy of classified images in 2003 and 2015 was 89% and 94%, respectively, and the Kappa coefficient was 0.87 and 0.92. The results showed that during the period, bout 7% of the forest area has decreased and the agricultural lands has increased by 72%. According to the Markov transmission probability matrix the classes most affected by these changes is the forests and rangelands that changed to agricultural and residential.

Discussion and Conclusion: Changes in the extent of forests until 2040 show that the area of forests will decrease continuously. The results of current study could provide quantitative information, which represents a base for assessing the sustainability in the management of Zagros forest ecosystems and for taking actions to mitigate degradation.

Keywords: Sardasht Forests, Cellular Automata, Simulation, Change Detection, Landsat.

1- M.Sc. of Agroecology, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.
2- Associate. Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran. *(*Corresponding Author*)

مقدمه

زمین، مکان و منبعی است که فعالیت‌های انسان روی آن انجام می‌گیرد (۱). کاربری زمین (اراضی)، توصیف نوع بهره‌برداری انسان برای یک یا چند هدف روی یک قطعه زمین می‌باشد. نقشه کاربری اراضی، ابزار مهمی برای برنامه‌ریزی‌های آتی است (۲) و یکی از موارد لازم جهت مدیریت بهتر منابع، تهیه نقشه کاربری و تغییرات آن در سال‌های گذشته است (۳). با پیش‌بینی روند تغییرات کاربری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی صحیح می‌توان در راستای هدایت اکوسیستم به سمت مطلوب گام برداشت (۴). در جهان امروزی، تغییرات کاربری به‌عنوان عاملی اصلی تغییرات نامطلوب زیست‌محیطی، به یک خطر جهانی تبدیل شده است. رشد بدون برنامه مناطق مسکونی و شهری، تغییر کاربری و پوشش زمین در بسیاری از مناطق دنیا به‌ویژه کشورهای درحال توسعه از جمله ایران را به دنبال دارد (۵). پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری از طریق مدل‌سازی می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران منابع محیطی برای تصمیمات آگاهانه‌تر کمک کند. مدل‌های پیش‌بینی برای برنامه‌ریزی استفاده مناسب از سرزمین به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مورد نیاز می‌باشند (۶، ۷ و ۸).

امروزه سنجش از دور به ابزاری پیشرفته برای تهیه نقشه کاربری اراضی و تحلیل میزان تغییرات کاربری در سطوح مختلف برنامه‌ریزی، تبدیل شده است و ازجمله روش‌های کم‌هزینه و دقیق برای تهیه نقشه کاربری، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد (۹ و ۱۰). همراه با توسعه سنجش از دور، تکنیک‌های طبقه‌بندی نیز توسعه پیدا کرده است. یکی از تکنیک‌های رایج الگوریتم حداکثر احتمال است (۱۱). تحقیقات متعددی در زمینه تغییرات کاربری با روش‌های مدل‌سازی و داده‌های ماهواره‌ای مختلف انجام شده است (۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵). زارع گاریزی و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی با عنوان شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگلی در مینودشت با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف[1] کارآیی مدل و امکان به‌کارگیری آن در شبیه‌سازی تغییرات کاربری را نشان دادند (۵). وفایی و همکاران (۲۰۱۲)، مطالعه‌ای به‌منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری با استفاده از LCM[2] و زنجیره مارکوف در شهرستان مریوان انجام دادند که نتایج مدل‌سازی با دقت پایینی همراه بود (۱۳). جورابیان شوشتری و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی با هدف پیش‌بینی تغییرات کاربری در شرق استان مازندران با استفاده از زنجیره مارکوف، دقت مناسب مدل با خطای پیش‌بینی ۱۰ درصد را گزارش نمودند (۱۶). گوش[3] و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای مروری، سلول‌های خودکار و مدل زنجیره مارکوف را در مدل‌سازی زیست‌محیطی به‌کار بردند و نتیجه‌گیری کردند که کاربرد آن‌ها در مدل سازی و پیش‌بینی مکانی اجتناب‌ناپذیر است (۱۵). آکینمی و ماشامی[4] (۲۰۱۸)، در تحقیقی با عنوان آنالیز تغییرات چشم‌اندازهای کشاورزی دیم در بوتسوانا[5] شرقی از ترکیب شبکه عصبی و زنجیره مارکوف جهت پیش‌بینی تغییرات آینده استفاده کردند. نتایج نشان داد که کاهش ۲۶ درصد از پوشش‌های طبیعی در دوره مورد مطالعه (۱۹۸۶-۲۰۲۸) عمدتا در نتیجه تبدیل به اراضی کشاورزی و مسکونی بوده است (۱۷). گوناریدیس[6] و همکاران (۲۰۱۹)، روش مدل‌سازی سلول‌های خودکار را برای کشف تغییرات کاربری در یونان، در مقیاس‌ها و شرایط اجتماعی- اقتصادی مختلف، به‌کار بردند. نتایج نشان داد که در شرایط رشد بالای اقتصادی، مناطق انسان ساخت حدود ۲۴ درصد افزایش می‌یابند و در صورتی‌که نرخ رشد اقتصادی منفی هم باشد، مناطق انسان ساخت در منطقه تا سال ۲۰۴۰، ۷/۵ درصد افزایش می‌یابد (۱۸). به‌طور کلی بررسی منابع نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر به‌دلیل دسترسی آسان به تصاویر ماهواره‌ای و قابلیت‌های روز افزون GIS، تحقیقات مدل‌سازی تغییرات کاربری با استفاده از سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف بنا به قابلیت و دقت بالا، رایج شده است (۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱).

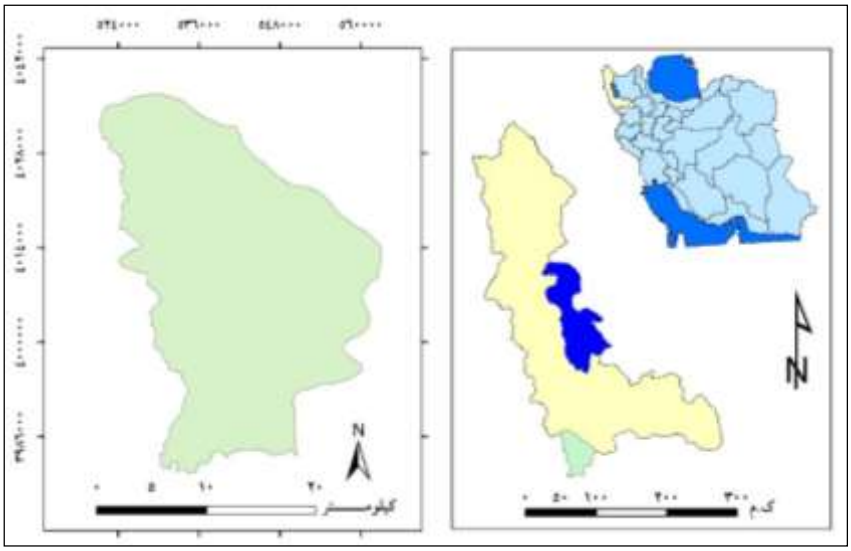
1- Markov Chain and Cellular Automata
2- Land Change Modeller
3- Ghosh
4- Akinyemi and Mashame
5- Botswana
6- Gounaridis

در چند دهه گذشته، کاهش سطح جنگل‌ها در کانون توجه قرار گرفته است، چرا که اثرات زیست‌محیطی زیادی در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی دارد (۲۲). مناطق جنگلی کره زمین سطح زیادی را پوشش می‌دهند و ذخیره‌گاه‌های بزرگ کربن می‌باشند. کاهش سطح جنگل‌ها، یکی از عوامل موثر بر تغییر اقلیم و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی می‌باشد (۹ و ۲۳). تعیین تغییرات برای درک دینامیک ساختاری و مکانی کاربری و اثرات اکولوژیکی آن اهمیت زیادی دارد. برای آنالیز ساختار، عملکرد و پویایی کاربری اراضی، بررسی ارتباط الگوهای مکانی با چشم‌انداز منطقه برای تعیین علل و پیامدهای آن ضروری است (۲۴). جنگل‌های زاگرس بیشترین سطح پوشش جنگلی (حدود ۵ میلیون هکتار) را در ایران دارند. توسعه کشاورزی، تامین چوب سوخت، ساخت و ساز و چرای دام موجب تخریب این جنگل‌ها شده است. در دهه‌های اخیر ایجاد سد روی رودخانه‌ها، رشد فعالیت‌های گردشگری و ساخت و ساز خانه‌های دوم، تغییرات کاربری و کاهش جنگل‌ها را در منطقه بیشتر کرده است. با توجه به این تغییرات و تاثیرات اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی احتمالی آن در آینده و نظر به اینکه تاکنون تحقیق خاصی در مورد پیش‌بینی تغییرات کاربری مناطق جنگلی زاگرس در کل سطح شهرستان سردشت صورت نگرفته است؛ ضرورت دارد که تغییرات مکانی و زمانی کاربری‌های اراضی به‌منظور کسب اطلاعات پایه جهت برنامه‌ریزی در راستای مدیریت پایدار جنگل، مورد ارزیابی و پیش‌بینی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، کل سطح شهرستان سردشت در استان آذربایجان غربی می‌باشد که در طول جغرافیایی ´۰۰ ´۱۶ °۴۵ تا ´۱۶ ´۴۲ °۴۵ و عرض جغرافیایی ´۴۵ ´۵۸ °۳۵ تا ´۴۲ ´۲۸ °۳۶ قرار دارد. مساحت این شهرستان، ۱۳۸۵ کیلومتر مربع است. میانگین ارتفاع از سطح دریا حدود ۱۵۰۰ متر، دمای سالانه ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد، بارش ۸۵۸/۲ میلی‌متر و اقلیم معتدل کوهستانی است. گونه‌های درختی جنگلی غالب منطقه انواع بلوط همراه درختان بنه، گلابی و ... می‌باشند (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در ایران و استان آذربایجان غربی

Figure 1. The Study area and its location in Iran and West Azarbaijan province

روش پژوهش

در پژوهش حاضر، به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر سنجنده ETM^+ لندست ۷ (۲۰ May ۲۰۰۳) و OLI لندست ۸ (۱۴ June ۲۰۱۵)، در گذر ۱۶۸ و ردیف ۳۵ و با سطح تصحیحات اولیه T1، استفاده شد. تصاویر مذکور از

وب سایت https://www.usgs.gov دانلود شدند. مدل سنتی مارکوف و تکنیک CA نیز برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در ۲۵ سال آینده به‌کار برده شدند.

پیش‌پردازش تصاویر

کیفیت رادیومتری تصاویر، از طریق بررسی هیستوگرام و بزرگ‌نمایی ترکیبات رنگی و تک باندها، ارزیابی شد که فاقد خطای قابل ملاحظه‌ای بودند. خطای هندسی با کاربرد نقشه آبراهه‌ها و مدل رقومی ارتفاع، با روش Orthorectification و خطای زیر یک پیکسل تصحیح شد. از برخی شاخص‌های مهم گیاهی (RVI[1]، NDVI[2]، MSI[3] و IPVI[4]) و آنالیز مولفه های اصلی[5] نیز جهت استخراج بهتر اطلاعات، استفاده شد.

طبقه‌بندی تصاویر

با توجه به هدف مطالعه و اطلاعات حاصل از برداشت‌ها و بازدیدهای صحرایی، در محدوده پژوهش پنج نوع کاربری اراضی عمده شامل؛ جنگل، مرتع، اراضی بایر، کشاورزی و مناطق مسکونی مدنظر قرار گرفت. عملیات میدانی با استفاده از GPS، رای برداشت نقاط کنترل زمینی مربوط به کاربری‌های پنج‌گانه (شامل ۵۶۹ نمونه)، جهت استفاده در طبقه‌بندی و تهیه نمونه‌های تعلیمی، انجام شد. در این پژوهش برای طبقه‌بندی تصاویر از روش نظارت‌شده[6] و الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار Envi استفاده شد. در تحقیقات متعددی، این الگوریتم به‌عنوان روش مناسب برای طبقه‌بندی معرفی شده است (۹ و ۲۵). برای اعتبار سنجی طبقه‌بندی‌ها با به‌کارگیری نقاط کنترل زمینی، از ضریب کاپا و صحت کلی استفاده شد که تکنیک‌های رایج در ارزیابی صحت می‌باشند (۱۲).

کشف و پیش‌بینی تغییرات

جهت ارزیابی تغییرات کاربری در منطقه مورد مطالعه از مدل زنجیره مارکوف (روابط ۱ و ۲) در نرم‌افزار ایدریسی استفاده گردید. زنجیره مارکوف یک مدل تصادفی است که احتمال تغییر را از یک کاربری به کاربری دیگر، با کاربرد ماتریس احتمال انتقال فراهم می‌کند. احتمال انتقال، احتمالی است که یک کاربری در زمان صفر به کاربری دیگری در زمان بعدی تغییر می‌کند (۱۱). مساله اصلی در مدل مارکوف این است که اطلاعاتی از توزیع مکانی تغییرات در آن وجود ندارد. برای اضافه کردن عنصر مکانی به این مدل از CA-Markov استفاده می‌شود (۲۶). این مدل با افزودن مشخصه مجاورت مکانی[7] به مدل زنجیره مارکوف، کاربری اراضی برای سال‌های آینده را شبیه‌سازی می‌کند (۲۷).

$$\sum_{I=1}^{m} \mathrm{Pij} = 1 \; \mathrm{i} = 1, 2 \ldots \ldots m \qquad (۱)$$

$$\mathrm{P} = (\mathrm{Pij}) = \begin{matrix} P11 & P12 \ldots & P1m \\ P21 & P12 & P2m \\ Pm1 & Pn2 & Pmm \end{matrix} \qquad (۲)$$

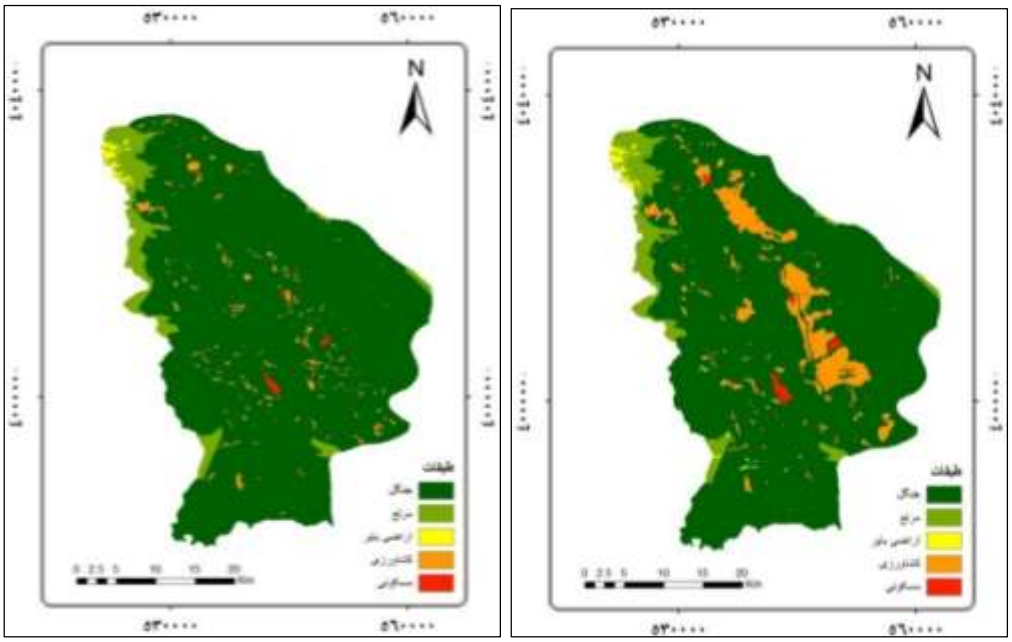
در این معادلات، Pi j (۰-۱) احتمال انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر و m، انواع کاربری‌ها را نشان می‌دهد. در این پژوهش با ورود نقشه‌های کاربری سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ به مدل، ماتریس احتمال انتقال برای دوره‌های زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ با فواصل ۵ سال محاسبه گردید. سپس با کاربرد CA مارکوف، این تابع انتقال برای پیش‌بینی کاربری اراضی سال‌های آتی به‌کار برده شد. چون احتمال تغییرات در طول دوره مورد بررسی ثابت است، تبدیل برای هر دوره، بعد از سال ۲۰۱۵، می‌تواند انجام شود، اما تبدیل در کوتاه مدت واقعی‌تر از دراز مدت می‌باشد (۱۱)، بنابراین شبیه سازی در این مطالعه فقط تا سال ۲۰۴۰ اجرا گردید.

1- Ratio Vegetation Index
2- Normalized Difference Vegetation Index
3- Moisture Stress Index
4- Infrared Percentage Vegetation Index
5- Principal Component Analysis
6- Supervised
7 -Spatial contiguity

نتایج

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

شکل ۲ نتایج حاصل از طبقه‌بندی دو دوره را نشان می‌دهد. کاربری مسکونی کمترین و کاربری جنگل بیشترین پراکنش مکانی را در منطقه به‌خود اختصاص داده‌اند. طبقه‌بندی کاربری سال ۲۰۰۳، صحت کلی ۸۹٪ و کاپای ۰/۸۷ را نشان داد. طبقه‌بندی کاربری سال ۲۰۱۵ دقت بالاتری را با کمترین خطاها در تفکیک طیفی طبقات نشان داد (صحت ۹۴٪ و کاپای ۰/۹۲). براساس میزان صحت کلی و ضریب کاپا، تصاویر ماهواره ای با دقت قابل قبول طبقه‌بندی شدند و امکان استفاده از آنها در پیش‌بینی تغییرات آینده، امکان‌پذیر است.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۰۳ (چپ) و سال ۲۰۱۵ (راست)

Figure 2. Land use maps for the years 2003 (left) and 2015 (right)

تغییرات کاربری اراضی

بعد از تهیه نقشه کاربری‌های اراضی، دینامیک تغییرات آنالیز شد. در طول دوره، سطح جنگل و مرتع به‌ترتیب ۹۵۰۸/۴۳ و ۵۶/۷۰۶ هکتار کاهش یافته است. کاربری‌های کشاورزی، مسکونی و بایر نیز برابر ۸۷۰۵/۶۶۳، ۶۷۴/۰۸۱ و ۱۸۵/۳۴ هکتار افزایش پیدا کردند (جدول ۱).

جدول ۱- سطح (هکتار) طبقات کاربری اراضی و میزان تغییرات در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵

Table 1. Area (ha) of land use classes and changes rate for the years 2003 and 2015

	اراضی بایر	مسکونی	کشاورزی	مرتع	جنگل
۲۰۰۳	۶۸۳/۷۹۳	۵۱۰/۹۶۴	۳۳۱۶/۶۵۷	۸۲۸۱/۲۷	۱۲۴۸۹۳/۲۳۳
۲۰۱۵	۸۶۹/۱۳۳	۱۱۸۵/۰۴۵	۱۲۰۲۲/۳۲	۸۲۲۴/۵۶۴	۱۱۵۳۸۴/۸
تغییرات (هکتار)	۱۸۵/۳۴	۶۷۴/۰۸۱	۸۷۰۵/۶۶۳	-۵۶/۷۰۶	-۹۵۰۸/۴۳
تغییرات (درصد)	۲۱/۳۲	۵۶/۸۸	۷۲/۴۱	-۰/۶۹	-۷/۶۱

تبدیل تغییرات کاربری

کاربری‌های اراضی به‌وسیله ماتریس احتمال انتقال مارکوف تبدیل شدند (جدول ۲). احتمال تبدیل برای سال ۲۰۲۰ در کلاسه جنگل حدود ۱۹٪ بود که در سال ۲۰۴۰ به ۳۹٪ افزایش می‌یابد. کلاسه کشاورزی نیز به افزایش سطح تا ۴۰٪ ادامه خواهد داد.

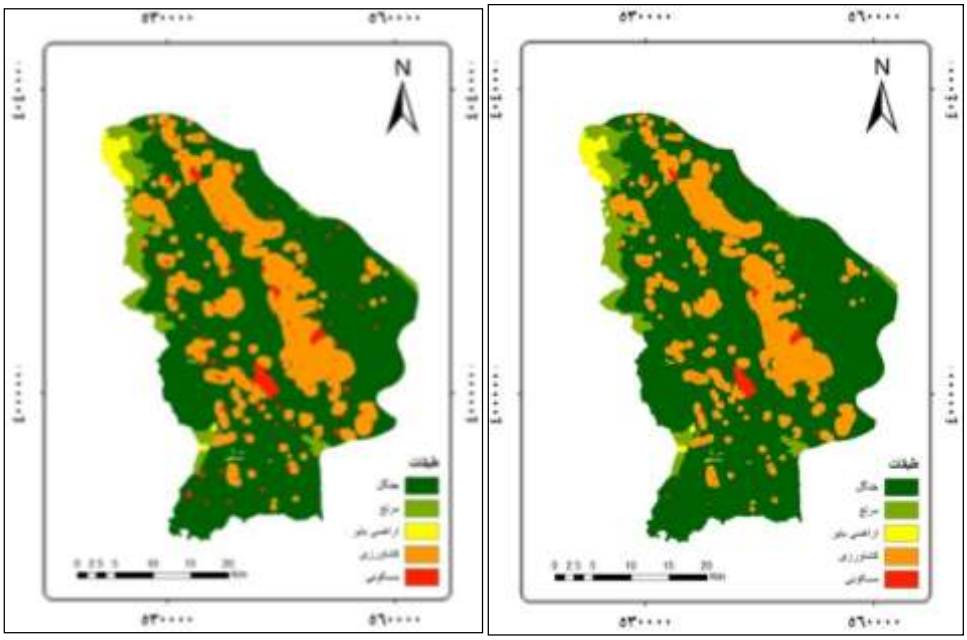
.1

جدول ۲- ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری اراضی برای دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۵ و ۲۰۴۰-۲۰۱۵

Table 2. Transition probability matrices of land use changes for two periods (%).

	مسکونی	کشاورزی	اراضی بایر	مرتع	جنگل
۲۰۲۰-۲۰۱۵					
جنگل	۰/۰۰۸۹	۰/۱۷۴۴	۰/۰۰۲	۰	۰/۸۱۴۶
مرتع	۰/۰۰۵۲	۰/۰۱	۰/۱۳۷۸	۰/۸۹۷۴	۰
اراضی بایر	۰	۰/۱	۰/۸۴۹۸	۰/۰۵۰۲	۰
کشاورزی	۰/۰۹۷۰	۰/۷۹۶۱	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۴۹۹
مسکونی	۰/۸۳۵۱	۰/۰۹۷	۰	۰	۰/۰۶۷۹
۲۰۴۰-۲۰۱۵					
جنگل	۰/۱۰۱	۰/۲۱۹۶	۰/۰۰۳۹	۰/۰۶۷۲	۰/۶۱۵۳
مرتع	۰/۰۷۷۵	۰/۰۹۷۹	۰/۱۰۸۵	۰/۷۱۷۱	۰/۰۰۰۱
اراضی بایر	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۸۸۱۱	۰/۰۱۰۹	۰
کشاورزی	۰/۰۹۰۷	۰/۸۵۹۱	۰/۰۵۱	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۶
مسکونی	۰/۹۱۶۸	۰/۰۷۲۲	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹

مشکل مدل تصادفی مارکوف، انتخاب تصادفی مساحت در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در حالی که توسعه و افزایش یا کاهش کاربری‌ها دارای الگوی مکانی مشخص و منظم است که با اجرای مدل تلفیقی CA-Markov مشکل انتخاب تصادفی حل خواهد شد. در این راستا، نقشه پیش‌بینی شده کاربری‌های پنج‌گانه برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ با استفاده از مدل تلفیقی در شکل ۳ نشان داده شده است. همه کاربری‌های جنگل، مرتع، اراضی بایر، کشاورزی و مناطق مسکونی در طول دوره‌های پیش‌بینی شده با استفاده از روش CA-Markov دستخوش تغییرات زیادی شده‌اند. در جدول (۳)، مساحت هر کاربری در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ آورده شده است.



شکل ۳- نقشه پیش‌بینی تغییرات با استفاده از CA-Markov برای سال ۲۰۲۰ (چپ) سال ۲۰۴۰ (راست).

Figure 3. Simulation of land use changes using CA-Markove for the years 2020 (right) and 2040 (left)

جدول ۳- مقایسه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ و کاربری پیش‌بینی شده به‌وسله CA-Markove در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰

Table 3. Comparison of land use in 2015 and predicted land use by CA-Markov for the years 2020 and 2040

	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۴۰	تغییرات ۲۰۴۰-۲۰۱۵ (هکتار)	تغییرات ۲۰۴۰-۲۰۱۵ (٪)
جنگل	۱۱۵۳۸۴/۸	۹۷۵۳۰/۱۲	۹۰۶۰۶/۹۳	-۲۴۹۷۷/۹۱	-۲۱/۶۴
مرتع	۸۲۲۴/۵۶۴	۷۱۹۸/۱۳	۶۹۲۷/۳۳	-۱۰۹۷/۲۳	-۱۳/۳۴
اراضی بایر	۸۶۹/۱۳۳	۱۸۳۴/۷۲	۱۹۷۵/۹۲	۱۱۰۶/۷۹	۱۲۷/۳۴
کشاورزی	۱۲۰۲۲/۳۲	۲۹۲۴۰/۶۴	۳۴۵۱۰/۰۶	۲۲۴۸۷/۷۴	۱۸۷/۰۵
مسکونی	۱۱۸۵/۰۴۵	۱۸۸۲/۲۶	۳۶۶۶/۰۴	۲۴۸۰/۹۹	۲۰۹/۳۵

بحث و نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی تغییرات مکانی-زمانی جنگل‌های زاگرس با استفاده از CA-Markov، روشی برای تهیه نقشه اکوسیستم‌های جنگلی در یک سری زمانی مشخص می‌باشد. مهم‌ترین مزیت این روش، سازگاری آن‌ها با GIS و سنجش از دور است. سلول‌های خودکار می‌تواند با انواع مدل‌های دیگر، در مقیاس‌ها و شرایط مختلف، به‌کار برده شود و به‌طور کلی قابلیت پیش‌بینی آن مناسب در نظرگرفته شده است (۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۸).

با توجه به جدول ۱ استنباط می‌شود که کاربری جنگل با بیش‌ترین مساحت، عمده‌ترین نوع کاربری در سطح شهرستان با مقادیر ۱۲۴۸۹۳/۲۳۳ و ۱۱۵۳۸۴/۸ هکتار در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ نشان داده شد. کاربری‌های مسکونی، کشاورزی و اراضی بایر در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۳ افزایش داشته و از مساحت جنگل و مرتع کاسته شده است. بیشترین تغییر در منطقه مربوط به کاربری جنگل با کاهش حدود ۹۵۰۸/۴۳ هکتار است. این تغییرات به‌دلیل افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی و تقاضا برای امرار معاش و استفاده نادرست است. این فعالیت‌ها یکی از مهمترین فاکتورهای موثر بر پایداری جنگل‌های منطقه می‌باشد و جوامع زنده را در این جنگل‌ها تهدید می‌کند (۱۱ و ۲۹).

سطح مناطق مسکونی از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ از ۵۱۰/۹۶۴ به ۱۱۸۵/۰۴۵ هکتار رسیده است که نشان‌دهنده گسترش شهر به‌دلیل افزایش جمعیت می باشد. کاربری کشاورزی از ۳۳۱۶/۶۵۷ به ۱۲۰۲۲/۳۲ هکتار افزایش یافته است. کاهش سطح جنگل از ۱۲۴۸۹۳/۲۳۳ به ۱۱۵۳۸۴/۸ هکتار و کاربری مرتع از ۸۲۸۱/۲۷ به ۸۲۲۴/۵۶۴ هکتار نشان‌دهنده تبدیل آن‌ها به سایر کاربری‌ها و به‌ویژه کشاورزی است. افزایش سطح زمین‌های کشاورزی بیشتر با قطع مناطق جنگلی در سطح شهرستان اتفاق افتاده است. این تغییرات می‌تواند به‌وسیله توسعه ناپایدار کشاورزی، افزایش ساخت و ساز به‌ویژه شهری و ویلایی و چرای شدید دام که در منطقه اتفاق می‌افتد، تفسیر شود (۱۱ و ۳۰).

بر اساس جدول ۲، بیشترین میزان تبدیل کلاس‌ها به یکدیگر مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۴۰ است. احتمال عدم تغییر برای جنگل‌ها و مراتع به‌ترتیب ۸۱ و ۸۹ درصد است. در طول دوره ۲۵ ساله از احتمال عدم تغییر کاسته شده و احتمال عدم تغییر برای جنگل و مرتع به‌ترتیب ۶۱ و ۷۱ درصد است. کاربری‌های کشاورزی و مناطق مسکونی به ترتیب از ۱۷ و ۰/۸۹ درصد به ۲۱ و ۱۰ درصد افزایش پیدا کرده است. این روند تغییرات با نتایج مطالعات مشابه (۳، ۱۷ و ۲۱) همخوانی کامل دارد. روند تغییرات کاربری‌ها، نشان می‌دهد که بیشترین میزان تبدیل از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ مربوط به کاربری جنگل و کشاورزی به‌ترتیب معادل ۲۴۹۷۷/۹۱ و ۱۰۹۷/۲۳ هکتار می‌باشد. کاربری مسکونی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ به مقدار ۲۴۸۰/۹۹ هکتار افزایش سطح پیدا کرده است. روند تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی طولانی باتوجه به شتاب توسعه صنعتی، افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به بهره‌برداری از منابع طبیعی، ثابت نمی‌ماند (۱۱، ۱۸ و ۳۱) و اغلب هدف پیش‌بینی تغییر کاربری، ارزیابی پیامدهای ادامه روند موجود است. در این تحقیق، نتایج پیش‌بینی، هشداری برای وضعیت کاربری‌ها در آینده است.

نتایج نشان داد که سطح ارضی کشاورزی، مسکونی و باير پیوسته دارای رشد مثبت بوده‌اند و منابع‌طبیعی شامل جنگل‌ها و مراتع دارای رشد منفی و کاهشی بوده‌اند. در یک دوره ۱۲ ساله کلاسه جنگل بیش از ۷ درصد سطح خود را از دست داده است. کاربری‌های منطقه در سال ۲۰۴۰ گرایش مشابهی را در مقایسه با دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۳ نشان می‌دهد به‌طوری‌که حدود ۲۵۰۰۰ هکتار از جنگل‌های بلوط معادل ۲۰ درصد سطح فعلی، احتمالا از دست خواهند رفت. در مقیاس جهانی نیز، اخیرا گزارش شده است که بیش از ۲۰۰۰ میلیون هکتار از مناطق جنگلی در طول قرن‌های گذشته نابود شده است (۳۲). این واقعیت ها و نتایج می‌تواند هشداری جدی برای تخریب جنگل‌های منطقه باشد. همچنین، چون این گونه مناطق از نظر تنوع زیستی، خدمات اکوسیستمی، امرار معاش و توریسم اهمیت دارند، نتایج مذکور، پیامدهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی را به دنبال خواهد داشت (۱۷). بنابراین از آنجا که توسعه شهرها و کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است، باید سعی شود که توسعه این کاربری‌ها به سمتی هدایت گردد که منابع طبیعی از جمله مراتع و جنگل‌ها در این فرآیند نابود نشود.

ارزیابی نتایج نشان داد که مدل‌های مکانی فراهم‌کننده اطلاعات و ابزارهای مفیدی برای درک فرآیند توسعه کشاورزی و شهری و ارزیابی اثرات آن‌ها بر اکوسیستم‌های طبیعی است. سنجش از دور و GIS نیز به‌آسانی می‌توانند با مدل‌های CA همراه و اطلاعات به‌روز و ابزار های پردازش مکانی قدرتمندی را در مدل سازی ایجاد نمایند. لذا، این مطالعه ثابت می‌کند که چنین روش تلفیقی می‌تواند برای شناسایی تغییرات و شبیه‌سازی کاربری زمین در آینده به تصمیم‌گیران جهت مدیریت و برنامه‌ریزی در راستای توسعه پایدار یاری رساند. همچنین، نتایج این مطالعه حاوی اطلاعات کمّی است که می‌تواند مبنای ارزیابی پایداری در مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی و انجام اقدامات لازم توسط موسسات دخیل در سیاست‌های مدیریتی جنگل در زمینه حفاظت، حمایت و تولید اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس باشد.

References

1. Mehrabi, A.A., Mohammadi, M., Mohseni-Saravi, M., Jafari, M., Ghorbani, M., 2013. Investigation of

effective human factors on land use change. Range and Watershed Management, Vol. 66. No. 2. Pp. 307-320. (In Persian)

2. Safianian, A., Khodakarami, L., 2011. Land use mapping using Fuzzy classification. Town and Country Planning, Vol. 3. No. 4. Pp. 95-114. (In Persian)
3. Rendana, M., Abdul-Rahim, S., Mohd-Razi, I.W., Lihan, T., Ali, R.Z., 2015. CA-Markov for Predicting Land Use Changes in Tropical Catchment Area: A Case Study in Cameron Highland, Malaysia. Journal of Applied Sciences, No.15. Pp. 689-695.
4. Zare-Garizi, A., Bardi-Sheikh, V., Saadaddin, A.R., Salman-Mahiny, A., 2012. Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model. Iranian journal of Forests and Poplar Research, Vol. 20. No. 2. Pp. 273-285. (In Persian)
5. Yousefi, M., Ashrafi, A., 2016. Urban growth modeling in Bojnurd by using Remote Sensing data (based on neural network and Markov modeling). Regional Planning, Vol. 6. No. 21. Pp. 179-192. (In Persian)
6. Amiraslani, F., Dragovich, D., 2011. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. Journal of Environmental Management, No. 92. Pp. 1-13.
7. Sohl, T.L., Claggett, P.R., 2013. Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers. Journal of Environmental Management, No. 129. Pp. 235-243.
8. Ramezani, N., Rezae, J., 2014. Land use and land cover change detection for 2025 using CA-Markov. Geographical Researches Quarterly Journal, Vol. 29. No. 4. Pp. 83-96. (In Persian)
9. Manjarrez-Dominguez, C., Pinedo-Alvarez, A., Villarreal-Guerrero, F., Cortes-Palacios, L., 2015. Vegetation landscape analysis due to land use changes on arid lands. Polish Journal of Ecology, No. 63. Pp. 272-279.
10. Kraemer, R., Prishchepov, A.V., Muller, D., Kuemmerle, T., Radeloff, V.C., Dara, A., Trekhov, A., Fruhauf, M., 2015. Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin lands area of Kazakhstan. Environmental Research Letters, Vol. 10. No. 5. P. 054012.
11. Vazquez-Quintero, G., Solis-Moreno, R., Pompa-Garcia, M., Villarreal-Guerrero, F., Pinedo-Alvarez, C., Pinedo-Alvarez, A., 2016. Detection and projection of forest changes by using the Markov Chain model and Cellular Automata. Sustainability, Vol. 8. No. 3. P. 236.
12. Babykalpana, Y., Thanushkodi, K., 2011. Classification of land use/ land cover change detection using remotely sensed data. International Journal on Computer Science and Engineering, Vol. 3. No. 4. Pp. 150-157.
13. Vafaei, S., 2012. Monitoing and Predicting of land use changes using remote sensing and GIS. Msc. Thesis, Forestry Department, Tehran University, P. 101. (In Persian)
14. Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., Ash'aari, Z. H., 2016. The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models: A review. International journal of applied earth

observation and geoinformation, No. 52. Pp. 380-389.

15. Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Hazra, S., 2017. Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review. Remote Sensing Applications: Society and Environment, No. 5. Pp. 64-77.
16. Jorabian-Shoshtari, Sh., Esmaeli-Sari, A., hosieni, M., Gholamalifard, M., 2013. Using Logestic Regression and Markov Chain for land use changes prediction in east of Mazandaran province. Journal of Natural Environment, Vol. 66. No. 4. Pp. 351-363. (In Persian)
17. Akinyemi, F. O., Mashame, G., 2018. Analysis of land change in the dryland agricultural landscapes of eastern Botswana. Land Use Policy, No. 76. Pp. 798-811.
18. Gounaridis, D., Chorianopoulos, I., Symeonakis, E., Koukoulas, S., 2019. A Random Forest-Cellular Automata modelling approach to explore future land use/cover change in Attica (Greece), under different socio-economic realities and scales. Science of the Total Environment, No. 646. Pp. 320-335.
19. De Oliveira Barros, K., Ribeiro, C. A. A. S., Marcatti, G. E., Lorenzon, A. S., de Castro, N. L. M., Domingues, G. F., dos Santos, A. R., 2018. Markov chains and Cellular automata to predict environments subject to desertification. Journal of environmental management, No. 225. Pp. 160-167.
20. Fathizad, H., Karimi, H., Tazeh, M., Tavakoli, M., 2014. Prediction of land use and land cover changes in arid and semi-arid regions using satellite images and Markov Chain model. Desert Management, No. 3. Pp. 61-76. (In Persian)
21. Imani-Harsini, J., Kaboli, M., Feghhi, J., Taherzadeh, A., 2017. Land use change modelling using Markov Chain and CA. Journal of Environmental of Science and Technology, Vol. 19. No. 1. Pp. 119-129. (In Persian)
22. Chen, F.C., Son, T.N., Chang, B.N., Chen, R.C., Chang, Y.L., Valdez, M., Centeno, G., Thompson, A.C., Aceituno, L.J., 2013. Multi-decadal mangrove forest change detection and prediction in Honduras, Central America, with Landsat imagery and a Markov Chain model. Remote Sensing, No. 5. Pp. 6408-6426.
23. Abdalla, M., Saunders, M., Hastings, A., Williams, M., Smith, P., Osborne, B., Lanigan, G., Jones, M.B., 2013. Simulating the impacts of land use in Northwest Europe on Net Ecosystem Exchange (NEE): The role of arable ecosystems, grasslands and forest plantations in climate change mitigation. Science of the Total Environment, No. 465. Pp. 325-336.
24. Kabba, S.T.V., Li, J., 2011. Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implications in Wuhan, China. Iinternational Journal of Geography and Geology, No. 3. Pp. 104-118.
25. Eggen, M., Ozdogan, M., Zaitchik, B.F., Simane, B., 2016. Land cover classification in complex and fragmented agricultural landscapes of the thiopian highlands. Remote Sensing, Vol. 8. No. 12. P. 1020.
26. Ahadnejad, M., 2011. The assessment and predicting of land use changes to

urban area using multi-temporal satellite imagery and GIS. Journal of Geographic Information System, No. 3. Pp. 298-305.

27. Eastman, J.R., Salman Mahiny, A., Kamyab, H., (Translation). 2011. Applied remote sensing and GIS using Idrisi. First Edition, Mehr Mahdis Press, Tehran, P. 582. (In Persian).
28. Camacho, O.M.T., Pontius, R.G., Paegelow, M., Mas, J.F., 2015. Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. Journal of Environmental Modeling and Software, No. 69. 214-221.
29. Strigul, N., Florescu, I., Welden, R.A., Michalczewski, F., 2012. Modelling of forest stand dynamics using Markov Chains. Journal of Environmental Modeling and Software, No. 31. Pp. 64-65.
30. Vazquez, Q.G., Pinedo, A.A., Manjarrez, D.C., De-Leon, M.G., Hernandez, R.A., 2013. Analysis of temperate forest fragmentation using spatial medium-resolution remote sensing in Pueblo Nuevo, Durango. Tecnociencia Chihuahua, No. 7. Pp. 88-98.
31. Falahatkar, S., Hosieni, M., Salman-Mahiny, A., Aiubi, Sh., 2016. Prediction of land use changes using LCM model. Environmental Researches, Vol. 7. No. 13. Pp. 163-174. (In Persian).
32. FAO., Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. State of the World's Forest. Available online: http://www.fao.org/3/a-i5850e.pdf, accessed on 24 February 2016. P. 36.