



Investigating the changes in the forests of Namin city and predicting its future trends

Sayyad Asghari Saraskanroud^{1*}  | Asma Asgharpour² 

1. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: s.asghari@uma.ac

2. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: asma.asgharpour1376@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received August 12, 2024

Revised October 15, 2024

Accepted October 15, 2024

Published online 20 October 2024

Keywords:

Markov,

Land use,

Forest,

Classification.

ABSTRACT

The aim of the present study is to analyze land use changes in Namin County, with a particular focus on assessing forest cover changes over a 30-year period. In this study, to examine the trend of forest changes, satellite images from the years 1991, 2000, 2010, and 2022 were classified, using the object-oriented nearest neighbor algorithm, into five categories: agriculture, forest, residential, rangeland, and water. Following the analysis, the land use changes from 1991 to 2022 were quantified, using the change detection method. Additionally, the future land use map for the year 2035 was modeled using the Markov and CA-Markov methods. The evaluation of land use maps indicates that in 1991, the areas of rangeland, agricultural, residential, and forest land use were 777, 122, 6, and 50 square kilometers, respectively. By 2022, rangeland use had decreased to 752 square kilometers, forest land use had decreased by 34 square kilometers, and residential land use had increased by 44 square kilometers. The results of the Markov and CA-Markov model predictions suggest that by 2035, the areas of rangeland cover will be 650 square kilometers, agricultural land use will be 250 square kilometers, forest land use will be 28 square kilometers, and residential areas will be 50 square kilometers. Overall, the findings indicate that, given the increasing population and uncontrolled construction, rangeland and forest cover areas will decrease, while agricultural and residential land use will increase over the next 13 years.

Cite this article: Asghari Saraskanroud, S. & Asgharpour, A. (2024). Investigating the changes in the forests of Namin city and predicting its future trends. *Town and Country Planning*.16 (1), 207-222. Doi: [10.22059/jtcp.2024.380663.670465](https://doi.org/10.22059/jtcp.2024.380663.670465)



© Sayyad Asghari Saraskanroud, Asma Asgharpour
DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2024.380663.670465>

Publisher: University of Tehran Press.



بررسی روند تغییرات جنگل‌های شهرستان نمین و پیش‌بینی روند آینده آن

صیاد اصغری سراسکان‌رود^{۱*} | اسما اصغری‌پور^۲

۱. نویسنده مسؤل، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac
 ۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: asma.asgharpour1376@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

کلیدواژه:

جنگل،

طبقه‌بندی،

کاربری اراضی،

مارکوف.

هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان نمین به‌ویژه ارزیابی تغییرات پوشش جنگل در طول دوره ۳۰ ساله بود. در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات جنگل تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، و ۲۰۲۲ با استفاده روش نزدیک‌ترین همسایه الگوریتم شی-اِگرا در پنج طبقه کشاورزی، جنگل، مسکونی، مراتع، و آب طبقه‌بندی شد. پس از بررسی در نهایت با استفاده از روش کشف تغییرات میزان تغییرات کاربری‌ها از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۲ سنجیده شد. همچنین در این پژوهش با استفاده از روش مارکوف و CA-Markov نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۵ مدل‌سازی شد. ارزیابی نقشه‌های کاربری اراضی نشان داد مساحت کاربری‌های مراتع، کشاورزی، مسکونی، و جنگل در سال ۱۹۹۱ به ترتیب برابر ۷۷۷، ۱۲۲، ۶، ۵۰ کیلومتر مربع بوده است؛ که در سال ۲۰۲۲ کاربری مراتع به مقدار ۷۵۲ و کاربری جنگل به مقدار ۳۴ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرد و کاربری مسکونی به مقدار ۴۴ کیلومتر مربع افزایش یافت. نتایج پیش‌بینی مدل‌سازی مارکوف و CA-Markov نشان داد مساحت کاربری پوشش مراتع برابر ۶۵۰ کیلومتر مربع، مساحت کاربری کشاورزی برابر ۲۵۰ کیلومتر مربع، مساحت کاربری جنگل برابر ۲۸ کیلومتر مربع، و مساحت مناطق مسکونی برابر ۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی می‌شود. به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد، با توجه به روند افزایش جمعیت و ساخت‌وسازهای بی‌رویه، طی سیزده سال بعد، مساحت کاربری‌های پوشش مراتع و جنگل کاهش و مساحت کاربری‌های کشاورزی و مسکونی افزایش خواهد یافت.

استناد: اصغری سراسکان‌رود، صیاد و اصغری‌پور، اسما (۱۴۰۳). بررسی روند تغییرات جنگل‌های شهرستان نمین و پیش‌بینی روند آینده آن. *آمایش سرزمین*، ۱۶ (۱) ۲۰۷-۲۲۲. DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2024.380663.670465>

© صیاد اصغری سراسکان‌رود، اسما اصغری‌پور ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jtcp.2024.380663.670465>



مقدمه

کاربری و پوشش زمین به دلیل فعالیت‌های انسانی دائم در حال تغییر است. بنابراین شناسایی این تغییرات جهت کنترل و برنامه‌ریزی می‌تواند کمک مؤثری به مدیران و برنامه‌ریزان باشد (Gondwe et al., 2020). تغییر کاربری / پوشش زمین از جمله شاخص‌های مستقیم است که جهت تعیین تأثیر فعالیت‌های بشری بر اکوسیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیز ارتباطی بین فعالیت‌های اقتصادی- اجتماعی انسان با فرایندهای اکولوژیکی طبیعی ایجاد می‌کند. این فرایند با فرایندهای چرخه مواد سطح زمین و حیات ارتباط نزدیک دارد و بر زیست‌کره، برهم‌کنش جو، تنوع زیستی، نیروی تابش سطحی، چرخه بیوژئوشیمیایی، و استفاده پایدار از منابع و محیط اثر مستقیم دارد (Luo et al., 2018). تغییر کاربری اراضی، به‌خصوص تبدیل پوشش جنگلی طبیعی به زمین‌های زراعی، به اختلال در اکوسیستم طبیعی و کاهش مقدار ظرفیت تولید خاک منجر می‌شود و بر خصوصیات کیفی خاک آثار زیانباری دارد (وارسته خانلری، ۱۳۹۸: ۲۷۱). در واقع آشفتگی‌های ناشی از تخریب اراضی جنگلی، چرای بیش از حد، آتش‌سوزی‌ها، و تبدیل جنگل و مراتع به زمین‌های کشاورزی در اقصی‌نقاط جهان تنزل کیفیت فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک را به دنبال دارد. تخریب و بهره‌برداری بی‌اندازه از مراتع و زمین‌های جنگلی، تغییر الگوی کشت نامناسب، تخریب خاک جنگل به علت افزایش جمعیت، و مدیریت نامناسب محیط‌های طبیعی به تخریب زیستگاه‌های جنگلی منجر شده است (بادآهنگ، ۱۳۹۷: ۱۴۴). جنگل‌های کشور از لحاظ محیط زیست و گستردگی و حفظ منابع آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در سال‌های اخیر به دلیل عدم مدیریت جامع و کمبودهای اجتماعی و اقتصادی به تغییر و تحولاتی دچار شده است (امینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۲).

بیان مسئله

در دهه‌های اخیر، با توجه به روند تخریب جنگل‌ها، برآورد روند تخریب آن‌ها طی بازه‌های زمانی متفاوت اهمیت فوق‌العاده یافته است. بنابراین، پژوهش‌هایی که به مدیریت و برنامه‌ریزی جهت احیای این مناطق کمک کند بسیار مورد نیاز است. پایش جنگل به منظور تجزیه و تحلیل حجم زیادی از داده‌ها به سیستم‌های خودکار سنجش از دور نیاز دارد. با گسترش این فناوری، می‌توان به حجم زیادی از داده‌های مکانی دست یافت. داده‌های ماهواره‌ای، به عنوان ارزان‌ترین و سریع‌ترین روش‌ها به منظور تهیه نقشه پوشش زمین، در دسترس پژوهشگران قرار دارد (Chitecalo et al., 2019). طی سال‌های اخیر، سنجش از دور الگوریتم جدیدی به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی و تحلیل میزان تغییرات انواع کاربری‌ها است و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و طبقه‌بندی تصاویر از شیوه‌های کم‌هزینه و دقیق جهت تهیه نقشه کاربری به شمار می‌رود (Karmer et al., 2015). همچنین مدل‌سازی از روش‌های تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی محسوب می‌شود که با استفاده از آن چارچوب تحلیل علمی تغییر کاربری اراضی از حالت توصیفی به شکل کمی تغییر می‌یابد. با توجه به اهمیتی که جنگل‌های شهرستان نمین در حفاظت از خاک و جلوگیری از فرسایش و ذخیره ژنتیکی و تنوع زیستی دارند، آگاهی برنامه‌ریزان و مدیران بخش منابع طبیعی به جهت پیش‌بینی از میزان و موقعیت تخریب جنگل و مناطق در معرض تخریب امری ضروری است. بخش زیادی از جنگل‌های شهرستان نمین را منطقه جنگلی فندقلو دربرمی‌گیرد؛ طوری که این منطقه دارای اکولوژی خاص طبیعی و مرکز و خاستگاه ژنتیکی فندق در استان اردبیل است و همچنین می‌تواند در ابعاد مختلف اقتصادی و گردشگری و مطالعاتی دارای پتانسیل بالایی باشد. این امر در صورتی محقق می‌شود که برنامه‌ریزی صحیح و کنترل شده در منطقه صورت گیرد. متأسفانه به دلیل دخالت بی‌رویه و غیر اصولی انسانی، آتش‌سوزی، و عدم هماهنگی بین ارگان‌های مربوطه پایداری منطقه در سطح جنگل‌های شهرستان نمین در خطر تخریب جدی قرار دارد. بنابراین تنها راه حفاظت از جنگل‌های این منطقه برنامه‌ریزی جامع همراه هماهنگی سازمان‌های دولتی و محلی و مردم به نظر می‌رسد (ولی‌زاده کامران و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۹۰).

اهداف و سؤالات پژوهش

بررسی‌های انجام‌شده در رابطه با موضوع نشان داد مطالعات انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه عمدتاً بر تغییرات کاربری جنگل تأکید کرده‌اند و دورنمای روند آینده کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین در این تحقیق سعی می‌شود ضمن بررسی روند

تغییرات جنگلی در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش‌های جدید، همچون پردازش‌های شیء‌گرا، الگوریتم‌های مختلف دورنمای آینده روند تغییرات جنگل‌ها نیز با استفاده از روش مارکوف و CA-Markov مورد بررسی قرار گیرد. به طور کلی هدف این مطالعه با استناد به تصاویر ماهواره‌ای تعیین میزان تغییرات کاربری شهرستان نمین در طول دوره سی‌ساله گذشته است. همچنین هدف دیگر این پژوهش بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در ۱۳ سال آینده با استفاده از مدل‌سازی با روش مارکوف و CA-Markov است. این تحقیق به دنبال پاسخ این سؤالات است: ۱. طی سی سال گذشته جنگل‌های شهرستان نمین چه تغییراتی کرده است؟ ۲. روند تغییرات جنگلی شهرستان نمین در آینده چگونه خواهد بود؟

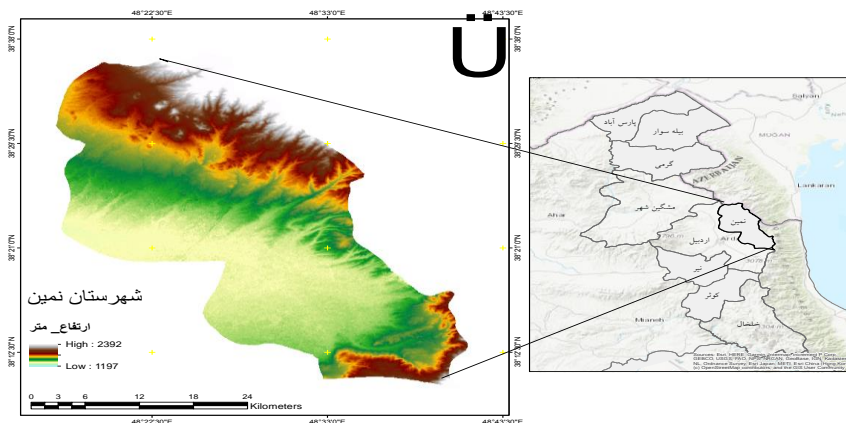
پیشینه نظری پژوهش

در سال‌های اخیر، تحقیقات بسیاری در زمینه تغییرات کاربری اراضی جنگل و پیش‌بینی آن صورت گرفته است. یوسفی و همکارانش (۱۳۹۲) در پژوهشی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات روند تغییرات جنگل‌های زاگرس را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در طول شانزده سال ۱۵۰۳ هکتار از اراضی جنگلی تخریب شده و تغییر کاربری یافته است که از این مقدار ۷۳/۳ درصد به کاربری کشاورزی، ۲۴/۱۴ درصد به کاربری مرتعی، و ۲/۵۶ درصد به کاربری مسکونی اختصاص داده شده است. پیش‌نماز احمدی و همکارانش (۱۳۹۶) در پژوهشی به ارزیابی الگوی تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک‌های فازی شیء‌گرا در شهرستان کلپیر پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی بیست و هفت ساله تغییرات پوشش کاربری اراضی به‌ویژه تغییرات پوشش جنگلی مورد مطالعه با روش شیء‌گرا بررسی شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که اراضی با پوشش جنگلی و مرتعی درجه ۱ شهرستان کلپیر در طول بیست و هفت سال گذشته روند کاهشی داشته است. اما زمین‌های مرتعی درجه ۲ و اراضی مسکونی و بایر افزایش یافته است که نشان‌دهنده روند کلی تخریب در منطقه از طریق جایگزینی مراتع درجه ۱ و جنگلی با سایر کاربری‌ها نظیر مرتع درجه ۲ و اراضی مسکونی و بایر است. یاقوتی و همکارانش (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز تنکابن با استفاده از فناوری‌های GIS و RS پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بیشترین تخریب و تغییر کاربری در اراضی جنگلی صورت گرفته است. قرارگیری اراضی جنگلی در کنار مراتع و زمین زراعی روستایی، که غالب معیشت افراد کشاورزی و دامداری است، مهم‌ترین عامل از بین رفتن جنگل‌ها قلمداد می‌شود. در پژوهشی قدیریان و احمدی (۱۳۹۸) به مطالعه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مناطق جنگلی زاگرس بر اساس مدل زنجیره مارکوف پرداختند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۷ استفاده شده است. همچنین در این پژوهش مدل سنتی زنجیره مارکوف و تکنیک CA برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در بیست و پنج سال آینده به کار رفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در طول دوره مطالعاتی حدود ۷ درصد از سطح جنگل کاهش و اراضی کشاورزی حدود ۷۲ درصد افزایش پیدا کرده است. آرمانتراس (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای سناریوهای استفاده از زمین و تغییر پوشش زمین برای شمال غربی آمازون را مورد پژوهش قرار داد. در این پژوهش برای تشخیص مقدار تغییر کاربری رخ داده از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ از تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش‌های شبکه عصبی و مارکوف بهره گرفته شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که تلفات جنگل برای سال‌های پیش رو، یعنی تا سال ۲۰۳۰، از ۹/۶ هکتار تا ۱/۴ هکتار رو به افزایش است. نگران‌کننده‌ترین حالت پیش‌بینی کاهش جنگل‌های بکر و دست‌نخورده از اندازه متوسط جنگل است و همچنین کاهش کل هسته جنگل. حسین و همکارانش (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات پوشش کاربری زمین با استفاده از GIS و RS در منطقه مولتان کشور پاکستان پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد فعالیت‌های انسانی پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد و منجر به افزایش LST می‌شود و همچنین آمارها و داده‌های آزمایشگاهی نشان داده است در طول سی سال گذشته الگوی پوشش گیاهی تغییر کرده و به تغییر کاربری و افزایش دمای سطح زمین منجر شده است. واترشاد و همکارانش (۲۰۲۲) در پژوهشی به مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی-زمانی و فضایی در حوزه آبخیز چالوس پرداختند. در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای لندست و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و مدل زنجیره مارکوف برای طرح نقشه‌های LULC 2021 و ۲۰۴۰ استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۱ اراضی کشاورزی و نواحی مسکونی به میزان قابل توجهی افزایش و علفزارها و پوشش جنگل به شدت کاهش یافته است و این مدل پیش‌بینی کرد پوشش جنگلی به روند کاهشی

خود ادامه خواهد داد. نتایج نشان داد کاهش از ۰/۲۹ در سال ۲۰۰۱ به ۰/۲۵ در سال ۲۰۲۱ رسیده است. مگالولا و همکارانش (۲۰۲۴) در پژوهشی عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی جنگل در مرکز تانزانیا را مورد مطالعه قرار دادند. مناطق جنگلی میمبو در تانزانیا به دلیل افزایش فعالیت‌های ناپایدار انسانی در سال‌های اخیر کاهش محسوسی داشته است. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۶ و ۲۰۲۱ برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد در دوره مورد مطالعه در جنگل مگوری زمین‌های کشت‌شده ۳۳/۵۶ درصد، سکونتگاه‌ها ۳۲/۶۷ درصد، و بوته‌زارها ۰/۵۲ درصد افزایش پیدا کرده است؛ درحالی‌که مناطق جنگلی و علف‌زارها به ترتیب ۰/۶۰ و ۰/۲۲ درصد کاهش یافته است.

محدوده و قلمرو مورد مطالعه

شهرستان نمین در شمال شرقی استان اردبیل در مختصات $48^{\circ} 20'$ تا $48^{\circ} 40'$ طول شرقی و $38^{\circ} 10'$ تا $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان از شرق به استان گیلان، از شرق و شمال شرق به جمهوری آذربایجان (با ۴۸ کیلومتر مرز مشترک)، از جنوب غرب و غرب به شهرستان اردبیل، و از شمال غرب به شهرستان مشکین شهر محدود می‌شود. نمین منطقه‌ای است کوهستانی واقع در حاشیه غربی دریای خزر و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۵۰ متر است. نمین از شمال به کوه‌های کم‌ارتفاع که بین مرز ایران و جمهوری آذربایجان قرار دارد، از شرق به کوه‌های سرسبز و پوشیده از جنگل تالش، از جنوب به قسمتی از کوه‌های تالش و بخش هیر، و از غرب به رودخانه قره‌سو و منطقه ارشق محدود می‌شود. وسعت شهرستان نمین 1037 کیلومتر مربع معادل با 103700 هکتار است و در فاصله 20 کیلومتری مرکز استان قرار دارد. شکل ۱ موقعیت شهرستان نمین را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

روش و ابزار تحقیق

در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات جنگل‌های شهرستان نمین در طول سی سال گذشته ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، و ۲۰۲۲ از سامانه usgs دانلود شد. جدول ۱ اطلاعات تصاویر استفاده‌شده را نشان می‌دهد. سپس در نرم افزار ENVI5.6 تصحیح و برش داده شد. پس از آماده‌سازی تصاویر، طبقه‌بندی کاربری/ پوشش اراضی با استفاده از روش شیء‌گرا در نرم‌افزار eCognition انجام شد. تکنیک شیء‌گرا از شیوه‌های متداول و پرکاربرد جهت طبقه‌بندی تصاویر است که مزاد بر اطلاعات طیفی از شاخص‌هایی همچون شکل، رنگ، بافت، تراکم، هندسه تصاویر، و ... نیز استفاده می‌کند (اصغری و اردشیری، ۱۳۸۹). برای این طبقه‌بندی، ابتدا قطعه‌بندی با الگوریتم چندمقیاسه انجام گرفت. قطعه‌بندی بر اساس شکل پدیده، بافت، و تن‌هایی که هر یک از مقادیر دارند صورت می‌پذیرد. در این مطالعه برای قطعه‌بندی در هر چهار تصویر مقدار درجه فشردگی و نرمی به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴ انتخاب شد و با تجزیه و تحلیل نتایج قطعه‌بندی با مقیاس‌های مختلف، در نهایت تصویر سال ۱۹۹۱ با مقیاس ۷۰ و برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و ۲۰۲۲ با مقیاس ۵۰، سگمنت‌سازی شد (جدول ۲). بعد از قطعه‌بندی،

مدل زنجیره مارکوف

مدل‌های مارکوف در حالت کلی مدل‌هایی هستند که حرکات ممکن یک عنصر منفرد را در یک سیستم متشکل از حالت‌های گسسته تشریح می‌کنند. زنجیره مارکوف یک فرایند ریاضی تصادفی در یک توالی زمانی محدود است که شرایط آتی آن با وضعیت فعلی مرتبط است. از آنجا که تغییرات پوشش زمین در آینده به وسیله کاربری‌های فعلی موجود تعیین می‌شود، تغییرات کاربری را می‌توان به صورت سلسله‌مراتبی با مدل زنجیره مارکوف و طی دوره‌های مختلف استخراج کرد (حاجی‌بیگللو، ۱۳۹۹: ۶). به طور کلی، مدل مارکوف بیشتر در مدل‌سازی تغییرات و روند کاربری و پوشش اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در تحلیل روندها در طول زمان بسیار مطلوب است. اما زمینه فضایی ندارد و تأثیر همسایگی بر هر سلول در نظر گرفته نمی‌شود که این امر با استفاده از اتوماتای سلولی مدل‌های مارکوف تکمیل می‌شود. تغییرات کاربری در آینده با استفاده از رابطه ۱ در مدل زنجیره مارکوف پیش‌بینی می‌شود.

$$S_{t+1} = P \times S_t \quad (1)$$

در این رابطه S_t و S_{t+1} = گویای کاربری اراضی در زمان $t+1$ و ماتریس انتقال است و P ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$P = [P_{11} \ P_{12} \ \dots \ P_{1n} \ | \ P_{21} \ P_{22} \ \dots \ P_{2n} \ | \ \dots \ | \ P_{ij} \ \dots \ | \ P_{n1} \ P_{n2} \ \dots \ P_{nn}] \quad 0 \leq P_{ij} < 1 \quad \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 \quad (2)$$

در این رابطه P_{ij} احتمال تغییر کاربری و پوشش اراضی؛ i کاربری اراضی و j از زمان t تا $t+1$ در n کلاس را نشان می‌دهد (Andariani et al., 2018).

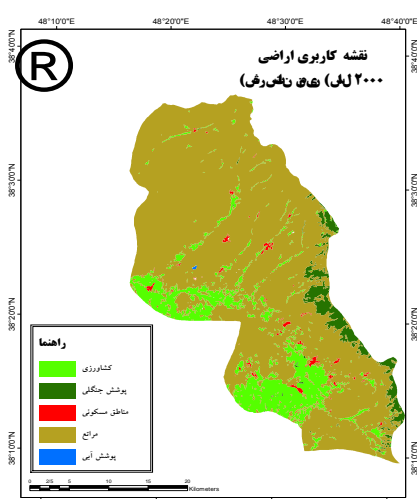
مدل CA-Markov ترکیبی از سلول‌های اتوماتیک، زنجیره مارکوف، و تخصیص چندمنظوره زمین است (عربی‌علی‌آباد، ۱۴۰۰: ۲۵۶). با اجرای مدل مارکوف چند تصویر احتمالی شکل می‌گیرد. این تصاویر که از ماتریس احتمال انتقال حاصل شده‌اند بیانگر احتمال پیدایش هر نوع از پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده هستند. اگرچه احتمالات انتقال در هر کاربری بسیار دقیق است، هیچ اطلاعاتی در مورد توزیع فضایی مربوط به کاربری‌ها وجود ندارد. بنابراین، مدل تصادفی مارکوف فاقد هر نوع اطلاعات جغرافیایی است. در مقابل، سلول خودکار بر توانایی ارزیابی تغییر حالت، بر اساس قوانینی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد، استوار است. از فیلتر CA برای ایجاد یک ضریب وزنی مجاورت مکانی برای تغییر حالت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد (عزیزی قلاتی، ۱۳۹۵: ۷۶). به این ترتیب، نقشه کاربری آتی اراضی با استفاده از نقشه شایستگی تبدیل پوشش و کاربری با اعمال کردن فیلتر مجاورت و در طول فرایند تخصیص چندمنظوره اراضی تهیه می‌شود. در حقیقت مدل CA-Markov مؤلفه‌های مجاورت فضایی و آگاهی و دانش کاربر را در رابطه با توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند (عربی‌علی‌آباد، ۱۴۰۰: ۲۵۶).

در این پژوهش برای اجرای مدل مارکوف و مدل CA-Markov از نرم‌افزار terset استفاده شد؛ به این صورت که ابتدا با استفاده از تصاویر سال ۱۹۹۱ و سال ۲۰۱۰ تصویر سال ۲۰۲۲ با مدل مارکوف پیش‌بینی شد. همان‌گونه که قبلاً بیان شد، مشکل اساسی زنجیره مارکوف در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی این است که هیچ بحثی از عنصر مکانی مدل‌سازی ارائه نمی‌دهد. بدین ترتیب برای اضافه کردن عنصر مکانی و تهیه نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۲ از مدل CA-Markov استفاده شد. در مرحله بعد نقشه‌ای که از مدل پیش‌بینی تهیه شده است با نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده صحت‌سنجی شد. ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطای نقشه به‌دست‌آمده از مدل‌سازی و نقشه کاربری اراضی به‌دست‌آمده از تصاویر لندست برابر با ۸۶ درصد است. پس از ارزیابی دقت تصاویر تولیدشده توسط مدل، اقدام به تهیه نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۵ می‌شود. برای این کار نیز ابتدا با تصاویر سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۲ مدل مارکوف اجرا می‌شود. سپس با استفاده از مدل CA-Markov نقشه سیزده سال آینده، یعنی نقشه کاربری سال ۲۰۳۵، پیش‌بینی می‌شود.

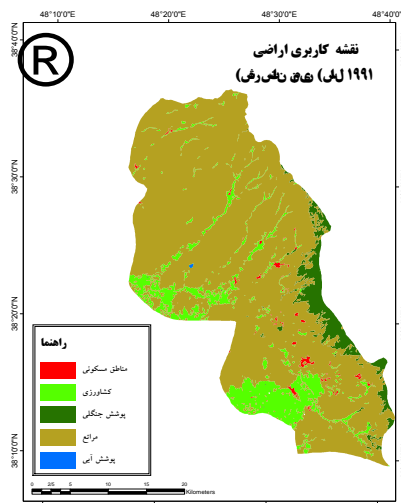
تجزیه و تحلیل داده‌ها

شکل ۲ تا ۵ نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، و ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ و

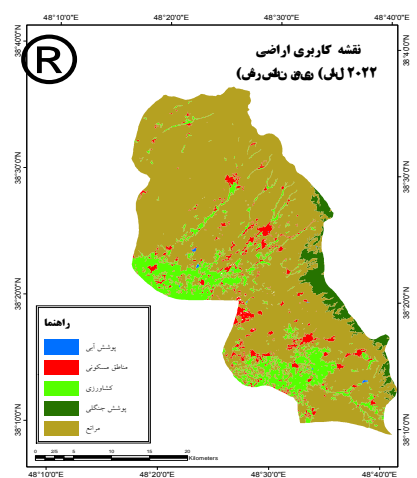
شکل ۲ تا ۵، کاربری مراتع با مقدار ۷۷۷ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۱ بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده و در سال‌های متوالی تغییرات محسوسی داشته است که در سال ۲۰۲۲ به مقدار ۷۵۲ کیلومتر کاهش یافته است. پس از کاربری مراتع، کاربری کشاورزی مساحت بیشتری از شهرستان نمین را پوشش داده است. مساحت این کاربری در سال ۱۹۹۱ برابر با ۱۲۲، در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به ترتیب برابر با ۱۲۷ و ۱۱۵، و در نهایت در سال ۲۰۲۲ برابر با ۱۲۲ کیلومتر بوده است. مهم‌ترین کاربری شهرستان نمین از منظر این مطالعه کاربری پوشش جنگل است. مساحت جنگل هر ساله در منطقه مورد مطالعه کاهش پیدا می‌کند. مساحت کاربری پوشش جنگل در ۱۹۹۱ برابر با ۵۰ کیلومتر، در سال ۲۰۰۰ برابر با ۴۲ کیلومتر، در سال ۲۰۱۰ برابر با ۳۸ کیلومتر، و در سال ۲۰۲۲ برابر با ۳۴ کیلومتر مربع بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در سی سال اخیر ۱۶ کیلومتر از مساحت جنگل‌های شهرستان نمین کاهش یافته است. کاربری بعدی که در سال‌های مورد بررسی تغییر محسوسی داشته است کاربری مسکونی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد کاربری مسکونی در سال ۱۹۹۱ مساحت کمی را پوشش داده است و فقط ۶ کیلومتر از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. اما در سال‌های متوالی به مساحت این کاربری افزوده شده؛ طوری که در سال ۲۰۲۲ مساحت این کاربری به مقدار ۴۴ کیلومتر افزایش یافته است. بنابراین در شهرستان نمین در سی سال اخیر کاربری مسکونی ۳۸ کیلومتر افزایش داشته است. کاربری مناطق آبی در شهرستان مساحت کمتر از ۱ کیلومتر را در سال مورد مطالعه پوشش داده و در سی سال اخیر تغییرات چندانی نداشته است.



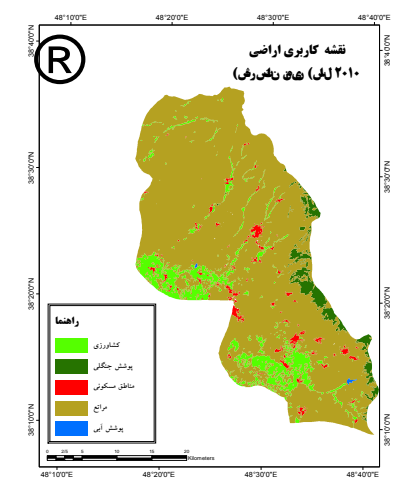
شکل ۳. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۱



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۲

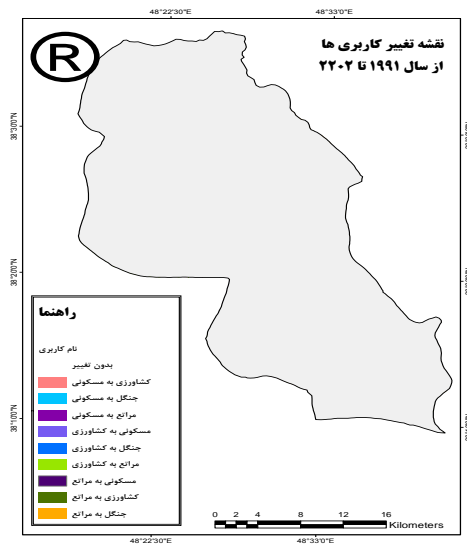


شکل ۴. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰

جدول ۴. مساحت کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، و ۲۰۲۲

نوع کاربری	مساحت در سال ۱۹۹۱ (کیلومتر مربع)	مساحت در سال ۲۰۰۰ (کیلومتر مربع)	مساحت در سال ۲۰۱۰ (کیلومتر مربع)	مساحت در سال ۲۰۲۲ (کیلومتر مربع)
مناطق مسکونی	۶	۸	۲۰	۴۴
کشاورزی	۱۲۲	۱۲۷	۱۱۵	۱۲۲
پوشش جنگلی	۵۰	۴۲	۳۸	۳۴
مناطق آبی	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰/۶
مراغ	۷۷۷	۷۷۰	۷۶۵	۷۵۲

شکل ۶ تغییرات رخ داده از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۵ بیشترین میزان تغییرات در منطقه مورد مطالعه مربوط به کاربری جنگل است. در تغییرات مربوط به کاربری جنگل، کلاس جنگل به مراتب بالاترین ارقام را دارد. ۲۸ درصد، یعنی ۱۲ کیلومتر، از مساحت جنگل به کاربری مراغ در سال‌های گذشته تبدیل شده است. علاوه بر این کاربری جنگل به کشاورزی ۴ درصد از مساحت، یعنی ۲ کیلومتر مربع، از مساحت جنگل را شامل می‌شود. همچنین ۱ درصد از مساحت جنگل به کاربری مسکونی تغییر یافته است. به طور کلی ۱۵ کیلومتر از مساحت جنگل به کاربری‌های دیگر تغییر یافته است. کاربری‌های بعدی، که بیشترین تغییر را داشته‌اند، کاربری کشاورزی به مراتب (۲۵ درصد یعنی ۳۲ کیلومتر از مساحت کلاس)، کاربری کشاورزی به مسکونی (۸ درصد یعنی ۹ کیلومتر)، کاربری مراغ به کشاورزی (۶ درصد یعنی ۴۹ کیلومتر)، و کاربری مراغ به مسکونی (۴ درصد یعنی ۳۲ کیلومتر) را شامل می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد تغییرات اتفاق افتاده می‌تواند باعث از بین رفتن پوشش طبیعی منطقه و افزایش سطوح نفوذناپذیر در منطقه مورد مطالعه شود. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته تبدیل و تخریب آشکار و قابل ملاحظه‌ای در برخی کاربری‌ها، از جمله جنگل، در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. این موضوع می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد؛ از جمله استفاده نادرست و غیرقانونی انسان از جنگل‌ها. از طرفی با افزایش محسوس کاربری مسکونی در منطقه روبه‌رو هستیم که می‌تواند منجر به تغییرات قابل ملاحظه‌ای شود؛ طوری که این مناطق با افزایش نفوذ ناپذیری و ایجاد گرما به دلیل مواد به‌کاررفته در این کاربری‌ها نمی‌توانند در تبدیلات اشاره‌شده بی‌تأثیر باشند. همچنین از بین رفتن پوشش گیاهی و جنگل‌ها و کاهش میزان رطوبت خاک و در نتیجه کاهش اثر خنک‌کنندگی تبخیر می‌تواند منجر به افزایش دما شود. بررسی تغییرات صورت گرفته نشان می‌دهد برنامه‌ریزی چندانی در رابطه با حفظ و نگهداری یا حتی احیای برخی کاربری‌های مهم، از جمله جنگل، صورت نگرفته است.



شکل ۶. تغییرات رخ داده از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۲

جدول ۵. مساحت کاربری‌های تغییر یافته از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۲

کاربری‌های تغییر یافته	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
جنگل به مراتع	۱۲	۲۸
جنگل به کشاورزی	۲	۴
جنگل به مسکونی	۰/۶	۱
مراتع به مسکونی	۳۲	۴
مراتع به کشاورزی	۴۹	۶
کشاورزی به مسکونی	۹	۸
کشاورزی به مراتع	۳۲	۲۰
مسکونی به مراتع	۲	۸
مسکونی به کشاورزی	۰/۶۶	۴

تحلیل روند آینده کاربری اراضی منطقه

به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، از ماتریس احتمال انتقال یافته و تصاویر احتمال شرط استفاده می‌شود. در این پژوهش ابتدا برای بررسی تغییرات از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۰ مدل زنجیره مارکوف اجرا شد. جدول ۶ ماتریس احتمال انتقال یک کاربری به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. در این جدول ردیف نشان‌دهنده پوشش زمین دوره اول و ستون نشان‌دهنده پوشش زمین در دوره دوم است. همچنین در این ماتریس هر قدر عدد عناصر به ۱ نزدیک‌تر باشد احتمال انتقال آن کاربری به کاربری دیگر بیشتر است و برعکس هر قدر به صفر نزدیک‌تر باشد احتمال انتقال آن کمتر است. عناصر قطری نشان می‌دهد طی زمان آن کاربری ثابت خواهد ماند. با توجه به جدول ۶ کاربری جنگل از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۰ برابر با ۰/۵۲ درصد به مراتع، ۰/۱۲ درصد به کشاورزی، و ۰/۰۴ درصد به مسکونی انتقال یافته است و ۰/۳۴ درصد از کاربری جنگل ثابت مانده است. اما بررسی‌ها نشان می‌دهد کاربری‌های دیگر ثبات بیشتری نسبت به کاربری جنگل دارند؛ طوری که کاربری مراتع ۰/۶۵، کاربری کشاورزی ۰/۴۷، کاربری مسکونی ۰/۶۰، و کاربری آب ۰/۷۰ ثابت مانده است.

جدول ۶. ماتریس احتمال انتقال از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰

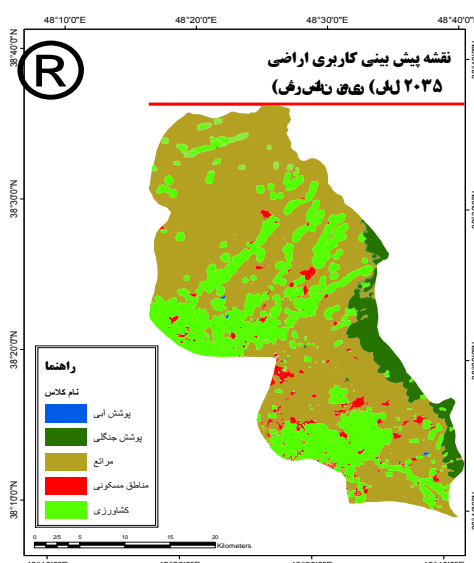
نوع کاربری	مراتع	کشاورزی	جنگل	مسکونی	آب
مراتع	۰/۶۵	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۲۸	۰
کشاورزی	۰/۳۰	۰/۴۷	۰/۰۱	۰/۲۲	۰
جنگل	۰/۵۲	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۰۴	۰
مسکونی	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۶۰	۰
آب	۰/۳۱	۰/۲۳	۰	۰/۰۳	۰/۷۰

جهت ایجاد سناریوی پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۵ از تغییرات رخ داده در دوره دوم، مدل مارکوف با نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۲ اجرا شد. در ادامه با استفاده از ماتریس مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرط، به منظور پیش‌بینی مدل زنجیره مارکوف تصاویر شرط به دست آمده، مدل تغییرات سال ۲۰۳۵ انجام شد. با توجه به جدول ۷ عناصر قطری نشان می‌دهد ۰/۴۸ کاربری مراتع، ۰/۴۰ کاربری کشاورزی، ۰/۴۲ کاربری جنگل، ۰/۴۵ کاربری مسکونی، و ۰/۴۹ کاربری آب ثابت می‌ماند. بنابراین ارزیابی ماتریس احتمال گویای این است که از مساحت کاربری جنگل ۰/۵۰ از آن به کاربری مراتع و ۰/۰۶ از آن به کاربری کشاورزی در دوازده سال گذشته تغییر کرده است.

جدول ۷. ماتریس احتمال انتقال از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۲

نوع کاربری	مراتع	کشاورزی	جنگل	مسکونی	آب
مراتع	۰/۴۸	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۰۲
کشاورزی	۰/۴۸	۰/۴۰	۰	۰/۱۲	۰
جنگل	۰/۵۰	۰/۰۶	۰/۴۲	۰	۰
مسکونی	۰/۴۰	۰/۲۵	۰	۰/۴۵	۰
آب	۰/۵۰	۰/۰۹	۰	۰	۰/۴۹

شکل ۷ نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۵ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۸ مقدار مساحت کاربری مراتع در سال ۲۰۳۵ برابر ۶۵۰ کیلومتر مربع خواهد بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد نسبت به سال ۲۰۲۲، که مقدار مساحت مراتع برابر ۷۵۲ بوده است، حدود ۱۰۰ کیلومتر از مساحت کاربری مراتع کاهش می‌یابد. مساحت کاربری کشاورزی در سال ۲۰۳۵ برابر ۲۵۰ کیلومتر خواهد بود که نسبت به سال ۲۰۲۲ برابر با ۱۳۰ کیلومتر مساحت آن افزایش خواهد داشت. مقدار مساحت کاربری جنگل در سال ۲۰۲۲ مساوی ۳۴ کیلومتر مربع بوده است که در سال ۲۰۳۵ به مقدار ۲۸ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت. بنابراین ارزیابی‌ها نشان می‌دهد ۶ کیلومتر از مساحت جنگل کم خواهد شد. مساحت مناطق مسکونی در سال ۲۰۳۵ برابر با ۵۰ کیلومتر مربع خواهد بود که نسبت به سال ۲۰۲۲ حدود ۶ کیلومتر افزایش مساحت خواهد داشت. به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد مساحت کاربری‌های پوشش مراتع و جنگل کاهش و مساحت کاربری‌های کشاورزی و مسکونی طی سیزده سال بعد افزایش خواهد داشت.



شکل ۷. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۳۵

جدول ۸. پیش‌بینی مساحت کاربری اراضی در سال ۲۰۳۵

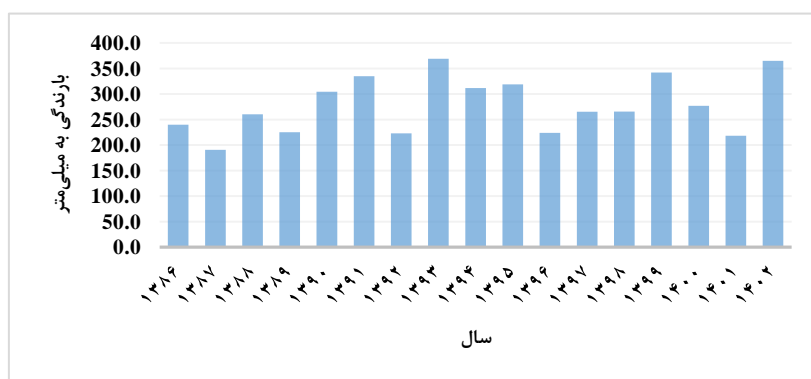
نام کاربری	مساحت (کیلومتر مربع)
مراتع	۶۵۰
کشاورزی	۲۵۰
پوشش جنگلی	۲۸
مناطق مسکونی	۵۰
پوشش آبی	۰/۵

بررسی شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه

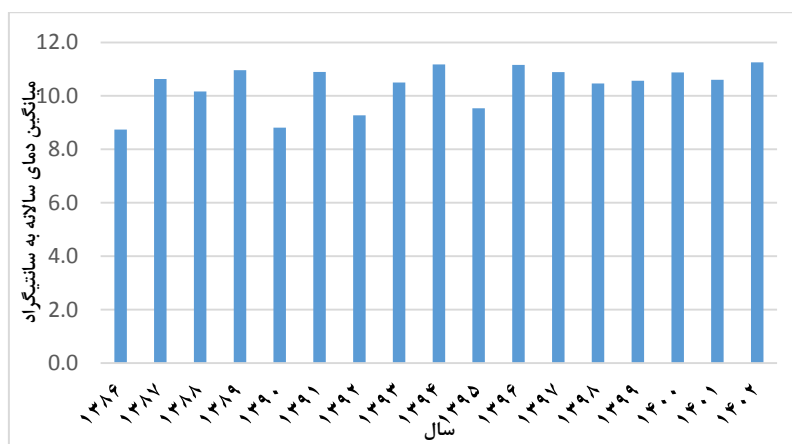
یکی از عوامل مهم و مؤثر در تغییرات کاربری اراضی، به‌خصوص در مراتع و جنگل‌ها، تغییرات معنادار مقادیر بارش و دماست. برای بررسی این مهم از داده‌های اقلیمی بارش و دما در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۲ استفاده شد.^۱ بررسی تغییرات بارندگی (شکل ۸) و تغییرات دمایی (شکل ۹) شهرستان نمین نشان می‌دهد هیچ تغییر مهم و قابل توجهی در کاهش میزان بارندگی یا افزایش دما در منطقه مورد مطالعه رخ نداده است. بارش و دما در بازه زمانی هفده‌ساله دارای نوسانات مثبت و منفی از میانگین هفده‌ساله خود را دارد و تغییرات تأثیرگذار در هیچ‌یک از دو پارامتر دیده نمی‌شود؛ طوری که در سال‌های مختلف بارش در منطقه روند افزایشی و کاهشی داشته و روند ثابت کاهش بارش در منطقه دیده نمی‌شود و در برخی سال‌ها، مثلاً در سال ۱۴۰۲، بارش روند افزایشی محسوسی داشته است. بنابراین تغییرات آب‌وهوایی منطقه در بازه زمانی مورد بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه (از

۱. گفتنی است ایستگاه نمین فقط هفده سال داده ثبت شده دارد.

۱۹۹۱ تا ۲۰۲۲) نمی‌تواند تأثیر مهمی در روند تغییرات جنگل‌های منطقه داشته باشد. بر همین اساس دلیل اصلی تغییرات کاربری اراضی منطقه عوامل انسانی است.



شکل ۸. تغییرات مجموع بارندگی منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی هفده‌ساله



شکل ۹. تغییرات میانگین دمای منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی هفده‌ساله

نتیجه

در عصر حاضر تغییرات بدون برنامه و غیر اصولی کاربری اراضی و پوشش زمین از چالش‌های اساسی و مهم بسیاری از کشورها محسوب می‌شود که تأثیر بسیار بر منابع طبیعی، اکولوژیکی، زیست‌محیطی، و سایر بخش‌های زیست‌کره بر جای می‌گذارد. بدین ترتیب، بررسی تغییرات کاربری اراضی نقش اساسی و مهمی جهت مطالعات زیست‌محیطی دارد. با توجه به ارزیابی‌ها و بررسی‌های صورت‌گرفته و نتایج حاصل از مطالعه حاضر می‌توان این‌گونه بیان کرد که به دلیل اشراف کلی تصاویر ماهواره‌ای بر پدیده‌ها و منابع زمین استفاده از آن‌ها در تجزیه و تحلیل‌های مکانی و زمانی نقش عمده‌ای بازی می‌کند.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد کاربری جنگل در سی سال گذشته ۱۶ کیلومتر کاهش یافته است؛ طوری که در سال ۱۹۹۱ مساحت آن برابر ۵۰ کیلومتر بوده است. اما در سال ۲۰۲۲ مساحت آن به ۳۴ کیلومتر کاهش پیدا کرده است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد کاهش چشمگیری در ناحیه جنگل صورت گرفته است. نتایج این مطالعه با نتایج پژوهشگرانی همچون عزیزی قلاتی (۱۳۹۵)، مگالولا و همکارانش (۲۰۲۴)، و حسین و همکارانش (۲۰۲۴) هم‌سو است. نتایج پژوهش این محققان هم نشان‌دهنده کاهش محسوس نواحی جنگلی است. به طور کلی ارزیابی تغییرات کاربری اراضی اتفاق افتاده نشان می‌دهد بیشترین میزان تغییرات حادث شده در شهرستان نمین مربوط به کاربری جنگل است. ۲۸ درصد یعنی ۱۲ کیلومتر از مساحت جنگل به کاربری مراتع، ۴ درصد یعنی ۲ کیلومتر از مساحت جنگل به کشاورزی، و ۱ درصد از مساحت جنگل به کاربری مسکونی تغییر یافته است. مطالعات انجام شده در نقاط مختلف کشور و در دنیا بر کاهش سطح مناطق جنگلی در دهه‌های آتی دلالت دارند که با نتایج روند کاهشی پوشش جنگل در این مطالعه مطابقت دارد (مگالولا و همکاران، ۲۰۲۴؛ حسین و همکاران، ۲۰۲۴). به طور کلی تغییر کاربری جنگلی

تأثیرات زیانباری- همچون پتانسیل زیاد فرسایش، زمین‌لغزش، سیل، کم‌آبی، کاهش محصول، و نهایتاً تشکیل کانون‌های گرد و غبار- بر محیط زیست دارد. کاربری‌های بعدی که بیشترین تغییر را داشته‌اند کاربری کشاورزی به مراتب (۲۵ درصد)، کاربری کشاورزی به مسکونی (۸ درصد)، کاربری مراتب به کشاورزی (۶ درصد)، و کاربری مراتب به کشاورزی (۴ درصد) را دربرمی‌گیرد. نتایج این پژوهش می‌تواند هشدار برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد. در این پژوهش برای بررسی تغییرات کاربری در سال‌های آتی از روش مارکوف بهره گرفته شد. اصلی‌ترین قابلیت مدل مارکوف توانایی آن در پیش‌بینی آینده بر اساس وضعیت تغییرات در گذشته است. نتایج این تحقیق در بخش مدل‌سازی بیانگر کارایی مدل تلفیقی سلول اتومای زنجیره مارکوف در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی به منظور مدیریت منابع طبیعی است که با نتایج حاصل از تحقیقات انجام‌شده توسط حاجی‌بیگلو (۱۳۹۹) و عربی‌علی‌آبادی (۱۴۰۰) هم‌خوان است. نتایج بررسی مساحت کاربری‌ها در سال ۲۰۲۲ و ۲۰۳۵ نشان می‌دهد مقدار مساحت کاربری پوشش مراتب در سال ۲۰۳۵ برابر ۶۵۰ کیلومتر مربع خواهد بود که نسبت به سال ۲۰۲۲ حدود ۱۰۰ کیلومتر از مساحت آن کاهش می‌یابد. مساحت کاربری کشاورزی در سال ۲۰۳۵ برابر ۲۵۰ کیلومتر خواهد بود که نسبت به سال ۲۰۲۲ حدود ۱۳۰ کیلومتر مساحت آن افزایش خواهد داشت. مقدار مساحت کاربری جنگل در سال ۲۰۳۵ به مقدار ۲۸ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت که نسبت به سال ۲۰۲۲ حدود ۶ کیلومتر از مساحت جنگل کم خواهد شد. مساحت مناطق مسکونی در سال ۲۰۳۵ برابر ۵۰ کیلومتر مربع خواهد بود که نسبت به سال ۲۰۲۲ حدود ۶ کیلومتر افزایش مساحت خواهد داشت.

به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد با توجه به روند افزایش جمعیت و ساخت و سازهای بی‌رویه مساحت کاربری‌های پوشش مراتب و جنگل کاهش یافته و مساحت کاربری‌های کشاورزی و مسکونی در طی سیزده سال بعد افزایش خواهد داشت که لازم است قوانین مربوطه در این زمینه مورد توجه جدی سازمان‌های متولی قرار بگیرد تا از تخریب جنگل‌ها و مراتب جلوگیری گردد. به طور کلی با توجه به شکنندگی اکوسیستم جنگل و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه انتظار می‌رود این تغییرات در آینده ایجاد شود. بنابراین می‌توان این‌گونه مطرح کرد که با توجه به کمبود قوانین صریح در زمینه تغییر کاربری اراضی در کشور، نسبت به بررسی قوانین پیشگیرانه در زمینه تغییر کاربری، به‌ویژه در زمینه تخریب جنگل، اقدام شود. در حقیقت نتایج این مطالعه گویای این است که استفاده از روش‌های سنجش از دور در اجرای مدل‌های ارزیابی تغییرات مکانی- زمانی کاربری اراضی، به منظور آگاهی از نوع و درصد کاربری اراضی و میزان تغییرات آن‌ها، در منابع طبیعی و بخش‌های دیگر بسیار کارآمد است. همچنین به عنوان یک مؤلفه مدیریتی می‌تواند برنامه‌ریزان بخش‌های مختلف اجرایی را در مدیریت و توسعه همه‌جانبه یاری کند.

با توجه به اینکه دلایل تغییرات کاربری اراضی طیف بسیار زیادی از عوامل طبیعی و انسانی را شامل می‌شود این تحقیق در زمینه بررسی عوامل مختلف تغییرات کاربری اراضی دارای محدودیت‌هایی است و نیاز است تحقیقات گسترده‌ای در آینده در رابطه با علل تغییرات کاربری اراضی منطقه صورت بگیرد. تشخیص تعدادی از محدودیت‌های مطالعه هنگام ارزیابی یافته‌ها بسیار مهم است. زیرا ممکن است بر اعتبار و تعمیم‌پذیری نتایج در سایر نواحی مورد استفاده قرار بگیرد. اگرچه این پژوهش نتایج معناداری در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به دست آورد، برای ارزیابی همه‌جانبه عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی، نیاز است محدودیت‌های تحقیق در نظر گرفته شود؛ از جمله بررسی عوامل انسانی و اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی نیاز به تحقیقات گسترده دارد که در مجال این پژوهش نمی‌گنجد. محققان این تحقیق نتوانستند اطلاعات مربوط به حکمرانی جنگل را مورد ارزیابی قرار دهند. لازم است در تحقیقات آینده با توجه به محدودیت‌های این تحقیق تأثیر عوامل یادشده و همچنین تأثیر سایر عوامل همچون رشد جمعیت و تأثیر آن بر منابع جنگلی نیز بررسی شود. علاوه بر این ارزیابی بلندمدت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر جنگل و منابع آن نیز الزامی است.

در نهایت بر اساس یافته‌های این تحقیق، جهت مدیریت علمی جنگل‌ها، پیشنهادهایی ارائه می‌شود:

- استفاده از قابلیت‌های علم سنجش از دور برای مدیریت مناطق جنگلی و پایش منظم و دوره‌ای تغییرات کاربری اراضی؛
- اعمال سیاست‌های سختگیرانه‌تر برای جلوگیری از جنگل‌زدایی بیشتر و گسترش بی‌رویه شهری؛
- ترویج تکنیک‌های جدید و روش‌های کشاورزی پایدار که تخریب زمین را به حداقل می‌رساند؛
- ایجاد و گسترش مناطق حفاظت‌شده برای حفظ زیستگاه‌های حیاتی و نقاط حساس تنوع زیستی؛

- اجرای مناطق حائل در اطراف مناطق حفاظت شده برای کاهش تأثیر فعالیت‌های انسانی و ارتقای کربدورهای زیست‌محیطی؛
- مشارکت جوامع محلی از طریق برنامه‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی برای برجسته کردن اهمیت استفاده پایدار از زمین.
- ایجاد مشوق‌هایی برای حفاظت از جنگل‌ها و افزایش درآمد پایدار جوامع محلی برای جلوگیری از تخریب منابع جنگلی.

منابع

- اصغری سراسکان‌رود، صیاد و اردشیری، علی‌اصغر (۱۳۹۹). پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: شهرستان یاسوج). *آمایش سرزمین*، ۱۲(۲)، ۴۰۷ - ۴۳۰.
- امینی، محمد؛ ثاقب‌طالبی، خسرو؛ خورنکه، سیف‌اله و امینی، روجا (۱۳۸۹). بررسی مشخصه‌های جنگل‌شناسی در توده آمیخته راش ممرز (مطالعه موردی: قطعه بررسی دائمی، طرح جنگل‌داری نکا طالمرو، مازندران). *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۸(۱)، ۲۱ - ۳۴.
- بادآهنگ گله‌بچه، احمد؛ عابدی سروستانی، احمد و محبوبی، محمدرضا (۱۳۹۷). بررسی نگرش روستاییان حاشیه جنگل نسبت به تغییر کاربری اراضی جنگلی (مطالعه موردی: استان گلستان). *مدیریت اراضی*، ۲(۲)، ۱۴۳ - ۱۵۱.
- پیش‌نماز احمدی، مجید؛ محمدزاده، کیوان و حجازی، سید اسدالله (۱۳۹۶). ارزیابی الگوی تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک‌های فازی شی‌گرا (مطالعه موردی: شهرستان کلیبر). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲۵، ۹۵ - ۱۱۱.
- حاجی‌بیگلر، محبوبه؛ شیخ، واحدبردی؛ معماریان، هادی و کمکی، چوقی‌بایرام (۱۳۹۹). کالیبراسیون سه‌بعدی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل تلفیقی سلول اتومای زنجیره مارکوف در حوزه آبخیز گرگان‌رود. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۱(۲)، ۱ - ۲۶.
- عربی‌علی‌آباد، فهیمه؛ زارع، محمد و غفاریان مالمیری، حمیدرضا (۱۴۰۰). پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: حوزه شیرکوه). *جغرافیا و توسعه*، ۱۹(۶۲)، ۲۵۱ - ۲۷۰.
- عزیزی قلاتی، سارا؛ رنگزن، کاظم؛ سدید، جواد؛ حیدریان، پیمان و تقی‌زاده، ایوب (۱۳۹۵). پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف CA- (مطالعه موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۷(۱)، ۵۹ - ۷۱.
- وارسته خانلری، زهرا؛ گلچین، احمد؛ موسوی کوپر، سید عبدالله و علمداری، پریسا (۱۳۹۸). تغییر ویژگی‌های بیولوژیکی یک خاک جنگلی پس از تبدیل به شالیزار و تعیین حساس‌ترین ویژگی به تغییر کاربری اراضی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۶(۴)، ۲۶۹ - ۲۸۲.
- ولی‌زاده کامران، خلیل؛ صادقی، مریم و حجازی، اسدالله (۱۴۰۲). مدل‌سازی تغییر پوشش جنگل فندقلو با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف و GEOMOD. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۳۳(۱۲۵)، ۷۹ - ۱۹۲.
- یاقوتی، حدیث؛ امیری، ابراهیم؛ سکوتی اسکویی، رضا و مهدیان، محمدحسین (۱۳۹۷). بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز تنکابن با استفاده از فناوری‌های GIS و RS. *جغرافیا و توسعه*، ۱۶(۵۳)، ۱۹ - ۳۶.
- یوسفی، صالح؛ میرزایی، سمیه و زینی‌وند، حسین (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات جنگل‌های زاگرس با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: مریوان). *کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ش ۲، ۱۵ - ۲۳.
- Amini, M., Sagheb-Talebi, K., Khorankeh, S., & Amini, R. (2010). Description of some silvicultural characteristics in a mixed Beech-Hornbeam forest (Case study: permanent plot, Neka- Zalem Roud forest project). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(1), 21-34. (in Persian)
- Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, O. J., & Arias, J. E. (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and Conservation*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567>.
- Arabi-Ali-Abad, F., Zare, M., & Ghafarian Malamiri, H. R. (2021). Land use Change Prediction using Markov Chain Compilation Model and Automated Cells (Case Study: Shirkuh). *Geography and Development*, 19(62), 251-270. doi: 10.22111/gdij.2021.6022. (in Persian)
- Asghari Saraskanroud, S., Safari, S., & Mollanouri, E. (2021). Estimation of the levels of Groundwater Aquifers under the Influence of Land-Use Changes by Using GRACE Satellite Data. *Geography and Environmental Planning*, 32(4), 65-86. doi: 10.22108/gep.2021.129410.1436. (in Persian)
- Azizi Qalati, S., Rangzan, K., Sadidi, J., Heydarian, P., & Taghizadeh, A. (2015). Forecasting the trend of spatial changes in land use using the Markov chain model of CA- (case study: Kohmera Surkhi region of Fars province). *Journal of remote sensing and geographic information system in natural resources*, 7(1), 59-71. (in Persian)
- Badahang Gale-Bache, A., Abedi Sarvestani, A., & Mahboobi, M. R. (2019). Survey of Attitudes among Forest Neighboring Rural Communities toward Forest Land Use Change A Case Study of Golestan Province. *Land Management Journal*, 6(2), 143-151. doi: 10.22092/lmj.2019.118334. (in Persian)
- Chiteculo, V., Abdollahnejad, A., Panagiotidis, D., Surov, P., & Sharma, R. P. (2019). Defining deforestation patterns using satellite images from 2000 and 2017: Assessment of forest management in Miombo forests-A

- case study of Huambo province in Angola. *Sustainability* (Switzerland), 11(1). <https://doi.org/10.3390/su11010098>.
- Hussain, K., Mehmood, K., Anees, S. A., Ding, Z., Muhammad, S., Badshah, T., Shahzad, F., Haidar, I., Wahab, A., Ali, J., Ansari, M. J., Salmen, S. H., Yujun, S., & Khan, W. R. (2024). Assessing Forest Fragmentation due to Land use Changes from 1992 to 2023: A Spatio-Temporal Analysis Using Remote Sensing Data. *Heliyon*, 10(14), e34710. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34710>
- Gondwe, M. F., Cho, M. A., & Chirwa, P. W. (2020). Land use land cover change and the comparative impact of co-management and government- management on the forest cover in Malawi. *Journal of Land Use Science*, 14(4–6), 281–305. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1706654>
- Haji-Biglou, M., Sheikh, V., Memarian, H., & Kamkemi, C. (2019). Three-dimensional calibration of land use changes using Markov chain automaton cell model in Gorgan River watershed. *Remote sensing and geographic information system in natural resources*, 11(2), 1-26. (in Persian)
- Hussain, S., Mubeen, M., Akram, W., & Ahmad, A. (2020). Study of land cover / land use changes using RS and GIS: a case study of Multan.
- Kraemer, R., Prishchepov, A. V., Müller, D., Kuemmerle, T., Radeloff, V. C., Dara, A., Terekhov, A., & Frühauf, M. (2015). Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan. *Environmental Research Letters*, 10(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054012>
- Luo, K., Li, B., & Moiwo, J. (2018). Monitoring Land-Use/Land-Cover Changes at a Provincial Large Scale Using an Object-Oriented Technique and Medium-Resolution Remote-Sensing Images. *remote sensing*, doi:10.3390/rs10122012.
- Mgalula, M. E., Majule, A. E., Saria, A. E., & Mwakisunga, B. (2024). Land use and land cover changes and their driving forces in selected forest reserves in Central Tanzania. *Trees Forests and People*, 16, 100584. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100584>.
- Qadirian, A. & Ahmadi-Thani, N. (2023) Prediction of land use changes in Zagros forest areas based on Markov chain model. *Environmental Science and Technology*, 25(7), 1-12. (in Persian)
- Pishnamaz Ahmadi, M., Mohammadzadeh, K., & Hejazi, A. (2018). Evaluating the Pattern of Forest Cover Changes Using Fuzzy Object-Oriented Techniques (Case Study: Kaleybar County). *Geography and Sustainability of Environment*, 25, 95-111. (in Persian)
- Varasteh Khanlari, Z., Golchin, A., Musavi Kupar, S. A., & Alamdari, P. (2019). The changing the biological properties of a forest soil after converting to the paddy field and determining the most sensitive properties to land use change. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), 269-282. doi: 10.22069/jwsc.2019.16374.3170. (in Persian)
- Valizadeh Kamran, K., Sadeghi, M., & Hejazi, A. (2023). Modeling the cover change forest of Fandoqlu using CA Markov chain GEOMOD model. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 32(125), 179-192. doi: 10.22131/sepehr.2023.556005.2882. (in Persian)
- Watershed, C., Jalayer, S., Sharifi, A., Abbasi-moghadam, D., Tariq, A., & Qin, S. (2022). Modeling and Predicting Land Use Land Cover Spatiotemporal Changes : A Case Study. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 5496–5513. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3189528>
- Yousefi, S., Mirzaei, S., & Zainivand, H. (2012). Investigating the change process of Zagros forests using remote sensing and geographic information system (case study: Marivan). *Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources (Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Sciences)*, 4(2), 15-23. (in Persian)
- Yaghoti, H., Amiri, E., Sokouti Oskoe, R., & Mahdian, M. H. (2018). Assessing changes land use in the catchment Tutkabon using RS and GIS. *Geography and Development*, 16(53), 19-36. doi: 10.22111/gdij.2018.4142. (in Persian)