

## Land Use Changes Modeling and Future Predictions Using CA-ANN Simulation in the Watershed of 25 (Shenroud, Siahkal)

**Jahdi, Roghayeh**

Assistant Professor of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

### Abstract

In this study, we analyzed the spatial–temporal trends of land use dynamics from 2000 to 2021 using remote sensing data. The image classification was based on three main land use classes, i.e. forest, artificial areas (agriculture and built-up), and other natural areas (bare lands, grassland, plantation, shrubland, water bodies, and woodlands). Maps of land use changes in the area for 2000-2021 show that built-up areas have increased by 9.3%. In contrast, forest and other natural areas decreased by 7.1% and 2.2%, respectively. In addition, an integrated CA-ANN (Artificial Neural Networks- Cellular Automata) model was used to predict land use changes from 2021–2042. The percentage of correctness for the simulation was 91%, and the overall kappa value was 0.86. Similar to the classified maps in 2000-2021, the prediction maps from 2021–2042 illustrated increasing trends in built-up areas by 4.7% and decreasing trends in the forest by 4.26% and other natural areas by 0.4%. In this work, we implemented ordinary least squares (OLS) regression models to predict land cover changes in the study area as a function of explanatory variables [elevation, slope, and proximity variables - distance to the city center, roads, villages, and streams-]. The results of the OLS models showed a relatively good performance for predicting land use changes with an R-squared value greater than 0.5. These results provide important knowledge that can help develop future sustainable management and planning and help managers make informed decisions to improve environmental and ecological conditions.

**Keywords:** : Cellular Automata, Classification, Remote Sensing, Simulation, Sustainable management.

**Citation:** Jahdi, R. (2023), Land Use Changes Modeling and Future Predictions Using CA-ANN Simulation in the Watershed of 25 (Shenroud, Siahkal), Journal of Geography and Environmental Studies, 12 (46), 164-179. Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.46.10.4

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



مقاله پژوهشی

## مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی‌های آینده با استفاده از شبیه-سازی CA-ANN در حوضه آبخیز ۲۵ شنرود سیاهکل

رقیه جهدی\*

استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

### چکیده

در این مطالعه، روندهای مکانی-زمانی پویایی کاربری اراضی برای دوره ۱۴۰۱-۱۳۸۰ با استفاده از داده سنجش از دور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. طبقه‌بندی تصویر بر اساس سه طبقه عمده کاربری اراضی یعنی جنگل، مناطق انسان‌ساز (کشاورزی و ساخته شده) و سایر مناطق طبیعی (اراضی لخت، علفزار، جنگلکاری، درختچه‌زار، نواحی آبی و اراضی جنگلی) انجام شد. نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی منطقه در دوره ۱۴۰۱-۱۳۸۰ نشان می‌دهند که مناطق انسان‌ساز ۹/۳ درصد افزایش یافته‌اند. در مقابل، جنگل و سایر مناطق طبیعی به ترتیب ۷/۱ درصد و ۲/۲ درصد کاهش یافتند. علاوه بر این، تکنیک شبکه عصبی مصنوعی-اتوماتای سلولی (CA-ANN) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دوره ۱۴۰۱-۱۴۲۲ استفاده شد. در صد صحت برای شبیه‌سازی ۹۱ درصد و مقدار کاپا کلی ۰/۸۶ بود. به‌طور مشابه با نقشه‌های طبقه‌بندی شده در دوره ۱۴۰۱-۱۳۸۰، نقشه‌های پیش‌بینی شده در دوره ۱۴۰۱-۱۴۲۲ روند افزایشی را در مناطق انسان‌ساز به میزان ۴/۷ درصد و روند کاهش در جنگل و سایر مناطق طبیعی به ترتیب به میزان ۴/۳ درصد و ۰/۴ درصد نشان می‌دهد. در این کار، مدل‌های رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه به عنوان تابعی از متغیرهای توصیفی [ارتفاع، شیب و متغیرهای مجاورت مانند فاصله تا مرکز شهر، جاده‌ها، روستاها و آبراهه‌ها] اجرا شد. نتایج مدل‌های OLS عملکرد نسبتاً خوبی را برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با مقدار  $R^2$  بیشتر از ۰/۵ نشان داد. این نتایج دانش مهمی را ارائه می‌کند که می‌تواند به توسعه برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار آینده کمک کند و همچنین به مدیران در تصمیم‌گیری آگاهانه برای بهبود شرایط محیط‌زیستی و اکولوژیکی کمک کند.

**کلمات کلیدی:** اتوماتای سلولی، طبقه‌بندی، سنجش از دور، شبیه‌سازی، مدیریت پایدار.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸

**نویسنده مسئول:** رقیه جهدی، استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.  
roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

## مقدمه

کاربری اراضی به فعالیت‌های مختلف انسان در زمین اطلاق می‌شود که منجر به تغییر در ساختار پوشش گیاهی، آب، خاک، سنگ‌ها و سایر منابع طبیعی یک منطقه می‌شود (Bansod and Dandekar, 2018). بنابراین، الگوهای کاربری اراضی منعکس‌کننده ارتباط فعالیت‌های انسانی و محیط زیست طبیعی است. هم‌چنین، انتقال تابع کاربری زمین که توسط سیاست هدایت می‌شود، نتیجه تعامل بین بازخورد اجتماعی-اکولوژیکی و تغییرات اجتماعی-اقتصادی است (Wang et al., 2022). انتقال کاربری اراضی به تغییرات زمانی مورفولوژی کاربری اراضی مربوط به انتقال‌های اجتماعی-اقتصادی اشاره دارد که در آن مورفولوژی کاربری اراضی، کمیت و ساختار فضایی کاربری اراضی در یک منطقه در یک دوره خاص است (Zhang and Li, 2022a). انتقال به مورفولوژی کاربری اراضی بهینه‌تر به استفاده پایدار از منابع زمین کمک می‌کند. اگرچه امروزه انتقال مناطق طبیعی به مناطق توسعه‌یافته یا کشاورزی عمدتاً عامل تغییرات قابل توجه در کاربری اراضی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه است (Baig et al., 2022؛ درویشی و سلیمانی، ۱۳۹۹). مطابق با گزارش FAO توسعه کشاورزی مسئول تقریباً ۹۰ درصد از جنگل‌زدایی جهانی است (DeValue et al., 2022). بیش از نیمی از تلفات جهانی جنگل‌ها به دلیل تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی است. جنگل‌زدایی در کشورهای در حال توسعه مانند ایران در درجه اول ناشی از گسترش زمین‌های زیر کشت و تولید زغال چوب و الوار است. تشدید و گسترش کشاورزی در سراسر جهان به فشارهای گسترده‌ای بر محیط زیست و اقلیم منجر شده که تهدیدی برای سلامت، امنیت و بقای مردم و زمین است (EEA, 2021). با توجه به اینکه تغییر کاربری اراضی پیش‌ران اصلی تغییرات محیط‌زیستی است (Islami et al., 2022) و بزرگترین چالش چگونگی حفظ محیط زیست و افزایش منافع اقتصادی و اجتماعی است، به همین دلیل درک الگوها و روند تغییر کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف مهم است (داداش پور و جهانزاد، ۱۳۹۵؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۷).

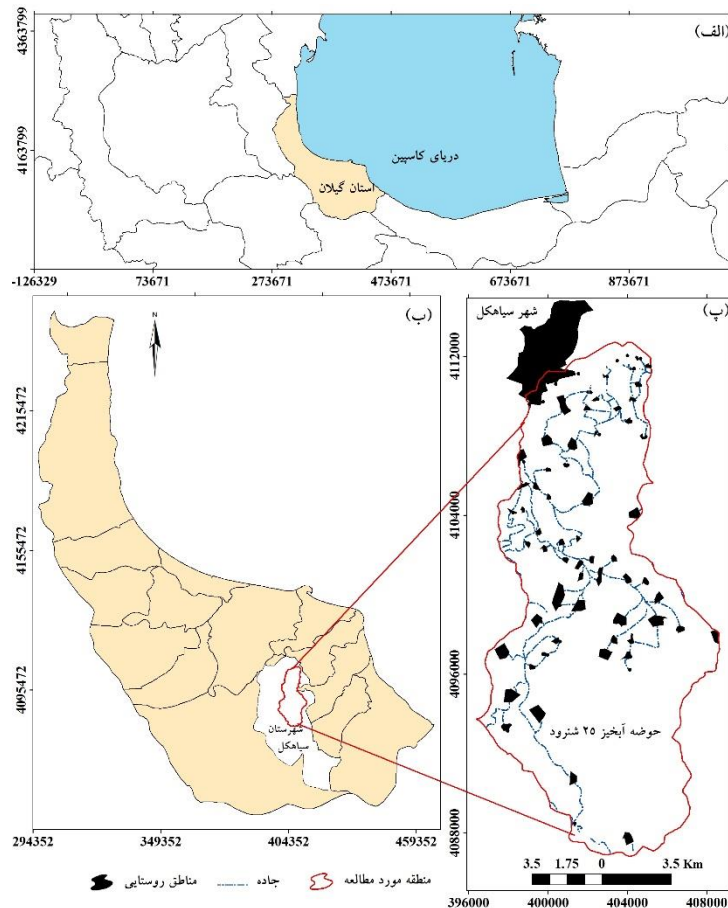
سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به همراه سنجش از دور (RS) ابزارهای مهمی برای شناسایی و پایش تغییرات کاربری اراضی هستند. در این ارتباط تصاویر لندست برای طبقه‌بندی انواع کاربری اراضی مختلف به‌ویژه در مقیاس سیمای سرزمین بسیار مفید هستند (Zhang and Li, 2022b). دستیابی به مجموعه داده‌های چند زمانی سنجش از دور برای بررسی گذشته و یافتن تغییرات کاربری اراضی نیز بسیار مهم است. کمی‌سازی چنین تغییراتی با کمک فنون GIS امکان‌پذیر می‌شود. در سال‌های اخیر، تکنیک‌های متعددی مانند طبقه‌بندی نظارت‌شده، طبقه‌بندی نظارت‌نشده، طبقه‌بندی ترکیبی PCA، شبکه عصبی و طبقه‌بندی فازی برای شناسایی تغییر با استفاده از داده‌های سنجش از دور توسعه یافته‌اند (Butt et al., 2015). از طرفی دیگر روش‌های رگرسیون به طور گسترده‌ای در سنجش از دور استفاده شده است، به عنوان مثال در توصیف ارتباط زیست‌توده (به عنوان یک متغیر اندازه-گیری شده میدانی) و یک شاخص پوشش گیاهی مرتبط با آن (به عنوان اندازه‌گیری‌های واکنش سنجش از دور). در دو دهه گذشته، روش‌های رگرسیون برای مدل‌سازی پیش‌بینی‌های کاربری اراضی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Li et al., 2020; Huu et al., 2022). هم‌چنین، رویکردهای متنوعی برای مدل‌سازی رگرسیون وجود دارد. مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) از تحلیل‌های رگرسیون است که معمولاً در سنجش از دور استفاده می‌شود، از تکنیک‌های جهانی هستند، با مجموعه‌ای از پارامترهای مدل برای به‌کارگیری به‌صورت یکنواخت در مکان. چنین تحلیل‌هایی بر این فرض استوار است که رابطه از نظر مکانی ثابت است (Foody, 2003). OLS مورد استفاده در این مطالعه یک تکنیک مدل‌سازی خطی تعمیم‌یافته است که می‌تواند برای مدل‌سازی یک متغیر وابسته (در اینجا تغییر کاربری اراضی) استفاده شود. این تکنیک امکان استفاده از یک یا چند متغیر توصیفی در مدل را فراهم می‌کند.

در نیم قرن گذشته حوضه‌های آبخیز جنگلی شمال کشور از جهات مختلف در معرض تهدید تغییر کاربری اراضی قرار گرفته است، مانند پاکسازی جنگل با هدف توسعه کشاورزی. تجزیه و تحلیل و پایش تغییرات کاربری اراضی برای درک میزان و بزرگی تغییرات و هم‌چنین مدیریت یکپارچه مناسب حوضه آبخیز مهم است (Malede et al., 2023). مطالعات متعددی در مورد تجزیه و تحلیل تغییر کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز مختلف ایران انجام شده است (خدابنده‌لو و همکاران، ۱۳۹۸؛ عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱، اصغری سراسکانرود و سعیدی، ۱۴۰۲). به عنوان مثال، در مطالعه Ahmadi-Sani و همکاران (۲۰۲۲) تقریباً ۴۰ درصد از حوضه آبخیز مورد مطالعه در ناحیه ریشی هیرکانی در دوره مورد مطالعه دستخوش تغییر کاربری اراضی شده است. هم‌چنین در مطالعه Mohammadi و همکاران (۲۰۲۱)، نتایج نشان می‌دهد که در دوره مورد مطالعه، مساحت جنگل به میزان ۶ درصد کاهش یافته است، در حالی که مساحت سایر کاربری‌ها شامل کشاورزی، مرتع و مناطق مسکونی افزایش یافته است. در شبیه‌سازی تغییرات آتی کاربری اراضی نیز در مطالعه جورابیان شوشتری (۱۳۹۶) افزایش اراضی کشاورزی، مراتع و مناطق مسکونی و کاهش جنگل در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۱۰ مشاهده شد. با این وجود، اطلاعات کمی در مورد وضعیت فعلی و بزرگی تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز شنرود در شهرستان سیاهکل، استان گیلان وجود دارد. به دلیل رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی در این حوضه آبخیز به طور قابل توجهی سیمای سرزمین طبیعی را تغییر داده است. بنابراین، درک الگوی این تغییرات کاربری اراضی برای مدیریت کارآمد حوضه مهم است (کریم‌زاده مطلق و همکاران، ۱۴۰۱). در این تحقیق، اهداف اصلی ما پرداختن به فرآیندهای پویایی کاربری اراضی در حوضه آبخیز ۲۵ شنرود سیاهکل و نیروهای محرکه آن از طریق ترکیب سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه کاربری اراضی و داده‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی است. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۱ تغییرات طبقات کاربری اراضی تجزیه و تحلیل شد. عوامل فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی به عنوان عوامل محرک بالقوه تغییرات کاربری اراضی انتخاب شدند. مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) برای انتخاب عوامل محرکه مهم و تجزیه و تحلیل روابط بین تغییرات کاربری اراضی و عوامل محرکه هر نوع تغییر کاربری استفاده شد. به طور خاص هدف این تحقیق، مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات آتی آن در منطقه مورد مطالعه است. هم‌چنین قابلیت تکنیک شبکه عصبی مصنوعی-اتوماتای سلولی (CA-ANN) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه ارزیابی شد. در ضمن، مواردی از اقدامات مدیریتی که در جهت استفاده پایدار و مدیریت کاربری اراضی در آینده بسیار مهم هستند، به عنوان مثال، مدیریت روند توسعه و حفاظت از مناطق جنگلی پیشنهاد می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز جنگلی ۲۵ شنرود با مختصات جغرافیایی به طول شرقی  $40^{\circ}86'$  -  $39^{\circ}64'$  و عرض شمالی  $41^{\circ}12'$  -  $40^{\circ}86'$  در سیاهکل، استان گیلان واقع شده است. این حوضه با وسعت ۱۹۰ کیلومتر مربع در منطقه جنگل معتدله پهن‌برگ شمال ایران قرار دارد (شکل ۱). این سیمای سرزمین جنگلی از مصب رودخانه شنرود (که از تلاقی دو رود باباکوه و لونک شکل گرفته) در شمال شرقی حوضه گسترش یافته و تا فراز کوه‌های دیلمان در مرز جنوب شرقی حوضه امتداد دارد. این منطقه با آب و هوای معتدل دارای یک میانگین بارندگی سالانه تقریباً ۱۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه  $18^{\circ}$  سانتی‌گراد است (جهدی، ۱۴۰۱). علاوه بر سیمای سرزمین جنگلی غالب در این حوضه، پوشش کشاورزی در سطح جلگه در شمال این حوضه با دو محصول عمده برنج و چای و اراضی باغی در بخش کوهستانی دیلمان در جنوب این حوضه با دو محصول عمده گردو و فندق، وجود دارد. هم‌چنین پوشش مرتعی در جنوب حوضه به صورت محدود پراکنش دارد.



شکل (۱): موقعیت حوضه آبخیز ۲۵ شنرود در شهرستان سیاهکل از استان گیلان، شمال ایران (الف و ب) به همراه موقعیت شهرستان سیاهکل، مناطق روستایی و توزیع جاده موجود در حوضه آبخیز مورد مطالعه (پ).

## روش تحقیق

داده‌های ورودی این تحقیق شامل (۱) اطلاعات مربوط به کاربری اراضی و (۲) داده‌های توصیفی از عوامل محرکه موثر بر تغییرات کاربری اراضی است. در جهت دستیابی به دسته اول اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۷ (ETM<sup>+</sup>) و لندست-۸ (OLI) به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۱، هر دو مربوط به ردیف ۳۴ و ستون ۱۶۶ استفاده شد. مرجع اکتساب تصاویر وب‌سایت کاوشگر زمین (<https://earthexplorer.usgs.gov>) از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) بود. هر دو تصویر لندست دارای اندازه تفکیک مکانی ۳۰ متر بودند. تصاویر خام در ماه اکتبر و تقریباً بدون ابر گرفته شده‌اند. در این مطالعه، تمامی مراحل پیش‌پردازش، طبقه‌بندی و بعد از طبقه‌بندی با استفاده از نرم‌افزاری ENVI 5.6 و ArcGIS 10.8 انجام شد. پیش‌پردازش تصویر شامل اصلاحات هندسی و رادیومتری برای هر یک از تصاویر انجام شد. در تصحیح هندسی از تصاویر Google Earth و نقشه کاربری زمین ملی در سال ۱۳۹۹ تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، به روش تهیه نقاط کنترل زمینی با خطای هندسی نیم‌پیکسل، استفاده شد. همه داده‌ها از نظر هندسی تصحیح و به زون ۳۹ شمالی مرکاتور عرضی جهانی (UTM) نمایش داده شدند. هم‌چنین از الگوریتم FLAASH در نرم‌افزار ENVI برای تصحیح اتمسفری تصویر استفاده شد. پس از پیش‌پردازش تصویر، روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم‌های حداکثر احتمال برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین برای دو نقطه مرجع زمانی استفاده شد. هم‌چنین از نقشه پوشش گیاهی موجود تهیه شده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، همراه با تصاویر گوگل ارث برای انتخاب نقاط کنترل زمینی به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. نمونه‌های تعلیمی با گذردهی مناسب متناسب با شرایط همگنی طبقات نقشه پوشش گیاهی موجود انتخاب شدند تا این نمونه‌ها

همه ویژگی‌های شرایط موجود در این طبقات را داشته باشند. پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی مناسب (۳۰ نمونه در کل منطقه)، اندازه وضوح و کنتراست بین طبقات بررسی شد. در ادامه از روش حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی در این مطالعه انجام شد و ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده با آماره‌های صحت کلی و ضریب کاپا به دست آمد. در ارتباط با داده‌های ورودی دسته دوم، نقشه‌های توپوگرافی به همراه داده‌های جاده، مناطق مسکونی و آبراهه‌ها در منطقه مورد مطالعه نیز از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان تهیه شد.

در این تحقیق، در ابتدا نه طبقه کاربری اراضی (اراضی کشاورزی، اراضی لخت، اراضی ساخته شده، جنگل، علفزار، جنگلکاری، درختچه‌زار، نواحی آبی و اراضی جنگلی) استخراج شد. در ادامه به منظور تحلیل بهتر تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه این طبقات در سه طبقه کاربری اراضی عمده شامل: (۱) جنگل؛ (۲) مناطق انسان‌ساز (شامل کشاورزی و ساخته شده)؛ و (۳) سایر مناطق طبیعی (اراضی لخت، علفزار، جنگلکاری، درختچه‌زار، نواحی آبی و اراضی جنگلی) طبقه‌بندی مجدد شد. لازم به ذکر است که مساحت زمین پوشیده از جنگل، شاخص مهمی از وضعیت محیط‌زیستی است (Keenan et al., 2015) و با توجه به اینکه جنگل بیشترین درصد پوشش در منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است، در این مطالعه این طبقه کاربری اراضی از طبقه سایر مناطق طبیعی مجزا شده است. هم‌چنین با توجه به مشابه بودن تعریف یک سیستم کشاورزی که "مجموعه‌ای از اجزایی است که توسط نوعی تعامل و وابستگی متقابل متحد شده‌اند و در یک مرز تعیین شده برای دستیابی به یک هدف کشاورزی مشخص از طرف ذینفعان سیستم عمل می‌کنند" (FAO, 2011) با تعریف کلی هر سیستم مصنوعی یا ساخت بشر، در این مطالعه اراضی کشاورزی به همراه اراضی ساخته شده در طبقه مناطق انسان‌ساز گنجانده شده است.

در ادامه، به منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی از نرم‌افزار QGIS و از افزونه MOLUSCE برای شناسایی تغییرات کاربری اراضی در دوره ۱۴۰۱-۱۳۸۰ و نیز پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بالقوه در دوره ۱۴۲۲-۱۴۰۱ استفاده شد. این روش از الگوریتم یکپارچه CA-ANN (اتوماتای سلولی-شبکه‌های عصبی مصنوعی) برای محاسبه نقشه‌های احتمال انتقال همراه با شبیه‌سازی آینده استفاده می‌کند (Kamaraj and Rangarajan, 2022). اتوماتای سلولی چارچوب مکانی-زمانی را برای کاربری اراضی فراهم می‌کند، در حالی که شبکه‌های عصبی مصنوعی قوانین انتقال محلی را کنترل می‌کند که با هر مرحله زمانی جدید بر اساس قوانین تکامل محلی به روز می‌شوند (Amoah, 2022). در ابتدا پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۱ با استفاده از نقشه‌های طبقه‌بندی شده از سال ۱۳۸۰ و ۱۴۰۱، متغیرهای توصیفی و یک ماتریس انتقال انجام شد. به منظور اعتبارسنجی مدل و ارزیابی دقت پیش‌بینی از تکنیک اعتبارسنجی کاپا برای مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی شده واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۴۰۱ استفاده شد (خاوریان و همکاران، ۱۳۹۹). بعد از دریافت نتایج قابل قبول از اعتبارسنجی مدل، در ادامه پیش‌بینی آینده تغییر کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه برای سال ۱۴۲۲ انجام شد.

در ارتباط با متغیرهای توصیفی، به منظور تعیین فواصل از نقاط بررسی تا نزدیکترین جاده‌ها، سکونتگاه‌ها و آبراهه‌ها از ابزار تحلیل مجاورت در ArcGIS استفاده شد که به عنوان ورودی در مدل رگرسیون OLS استفاده شد. متغیرهای فاصله بر اساس نقشه‌های پایه رقومی محاسبه شدند که همه توسط ابزار نزدیکی ArcGIS 10.8 برای تعیین فواصل از نقاط تصادفی تا نزدیک‌ترین جاده‌ها و سکونتگاه‌ها انجام شد (وفایی و همکاران، ۱۳۹۲). عوامل محرکه فاصله‌ای معرف نزدیکی پیکسل‌ها به عواملی هستند که به عنوان محدودیت برای تغییر عمل می‌کنند. به عنوان مثال فاصله از جاده معرف دسترسی پیکسل‌ها به جاده‌های منطقه است. ارتفاع و شیب نیز در تعیین محدودیت‌های ژئوفیزیکی در کاربری اراضی منطقه نقش دارند. آثار فیزیکی و انسانی بر پویایی تغییرات کاربری اراضی را می‌توان با این متغیرها به عنوان بخشی از تجزیه و تحلیل تغییر کاربری اراضی اندازه‌گیری کرد. در این مطالعه، عوامل محرکه بر اساس نزدیکی یا ارزش در مقیاس ۵-۱ طبقه‌بندی شدند (شکل ۲). مناطق با کمترین فاصله در منطقه مورد مطالعه در

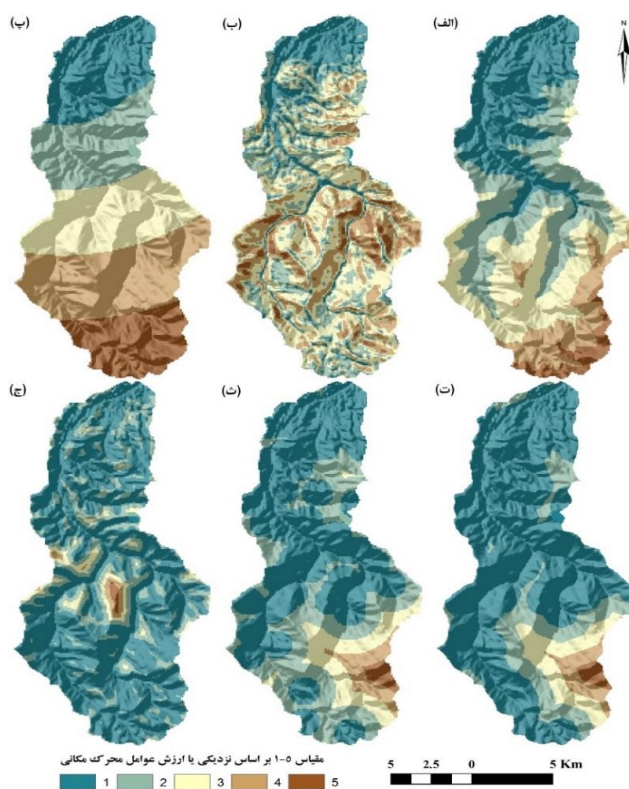
طبقه ۱ قرار دارند، در حالی که مناطق با دورترین فاصله در طبقه ۵ قرار دارند. این آستانه‌ها با فواصل مساوی تعیین شدند. به عنوان مثال، پیکسل‌هایی که در یک کیلومتری یک جاده اصلی قرار دارند در طبقه ۱ قرار دارند، در حالی که پیکسل‌های فاصله دو کیلومتری از یک جاده اصلی در طبقه ۲ قرار دارند.

مدل‌سازی رگرسیون OLS برای بررسی متغیرها یا محرکه‌های بالقوه محیطی و اجتماعی-اقتصادی مؤثر بر تغییرات کاربری زمین در این مطالعه اعمال شد. بدین منظور نقشه تغییر کاربری اراضی بدست آمده بر مبنای سه کاربری اراضی اصلی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد که با توجه به تغییرات رخ داده در دوره مورد مطالعه در ۹ طبقه زیر مجدداً طبقه‌بندی شد: (۱) کاهش جنگل (جنگل زدائی)، (۲) افزایش جنگل (جنگل زائی)، (۳) جنگل بدون تغییر، (۴) کاهش مناطق انسان‌ساز، (۵) افزایش مناطق انسان‌ساز، (۶) مناطق انسان‌ساز بدون تغییر، (۷) کاهش سایر مناطق طبیعی، (۸) افزایش سایر مناطق طبیعی و (۹) سایر مناطق طبیعی بدون تغییر. علاوه بر این، داده‌های مکانی مورد استفاده به عنوان متغیرهای مستقل شامل (۱) ارتفاع، (۲) شیب، (۳) فاصله تا مرکز شهر، (۴) فاصله تا جاده‌ها، (۵) فاصله تا روستاها، (۶) فاصله تا آبراهه‌ها است.

در ابتدا، ارزیابی شد که آیا متغیرهای توصیفی می‌توانند به طور مؤثر ضرایب رگرسیون را تخمین بزنند. همه آزمایش‌ها بر اساس یک آزمون دو طرفه در سطح اطمینان ۹۵ درصد بود. در ArcGIS، مدل OLS آماره پارامتری والد (Wald) را برای ارزیابی اهمیت کلی مدل ارائه می‌کند. فرضیه آماره والد به صورت زیر بیان می‌شود:

$H_0$ : متغیرهای توصیفی در مدل در سطح اطمینان ۹۵ درصد مؤثر نیستند

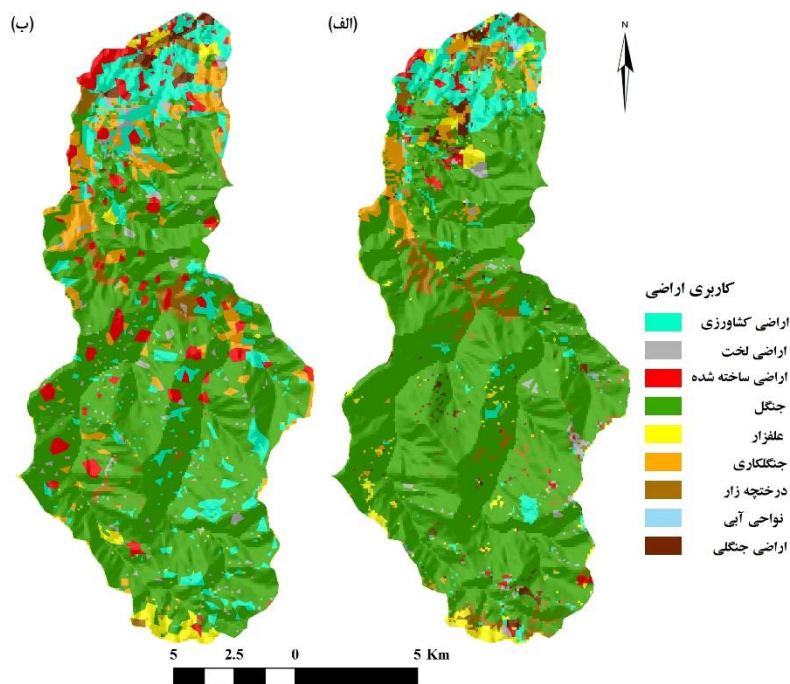
$H_1$ : متغیرهای توصیفی در مدل مؤثر هستند ( $p\text{-value} < 0.05$ ,  $H_0$  رد می‌شود).



## نتایج

### تحلیل تغییرات کاربری اراضی

در این تحقیق، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۱ تهیه شده است (شکل ۳ الف) و (ب). نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده ارزش‌های بالای ضریب کاپا به مقدار ۰/۸۹ و ۰/۹۲ به ترتیب برای سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. تغییرات طبقات کاربری اراضی انتخاب شده در دوره مورد مطالعه در جدول ۱ تجزیه و تحلیل شد. برای سه طبقه کاربری اراضی جنگل، مناطق انسان‌ساز و سایر مناطق طبیعی، نرخ‌های تغییر سالانه به ترتیب ۰/۴۳-، ۴/۹۴ و ۰/۸۹- محاسبه شد. نرخ تغییر سالانه مثبت نشان دهنده نرخ رشد یک منطقه در طول زمان است. از طرف دیگر، تغییر منفی نشان دهنده نرخ کاهش یک منطقه است. نتایج نشان از کاهش مناطق جنگلی در حوضه آبخیز مورد مطالعه دارد که مطابق با یافته‌های تحقیقات قبلی در استان گیلان است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵؛ مولائی هاشجین و علینقی‌پور، ۱۳۹۹). هم‌چنین این روند کاهش در سایر مناطق جنگلی در ناحیه رویشی هیرکانی نیز مشاهده شده است (Mohammadi et al., 2021; Ahmadi-Sani et al., 2022). در این مطالعات، کاهش جنگل و سایر مناطق طبیعی با افزایش نرخ تغییر برای مناطق انسان‌ساز در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه مشاهده شده است.



شکل (۳): نقشه طبقات کاربری اراضی سال‌های ۱۳۸۰ (الف) و ۱۴۰۱ (ب) منطقه مورد مطالعه.

جدول (۱): تغییرات کاربری اراضی (km<sup>2</sup>) و نرخ سالانه (%) برای دوره زمانی مورد مطالعه (۱۴۰۱-۱۳۸۰).

طبقه کاربری اراضی	مساحت		درصد پوشش		نرخ تغییر سالانه* (درصد در سال)
	۱۳۸۰	۱۴۰۱	۱۳۸۰	۱۴۰۱	
جنگل	150.86	137.39	79.4	72.31	-0.43
مناطق انسان‌ساز	16.97	34.58	8.93	18.20	4.94
سایر مناطق طبیعی	22.17	18.03	11.67	9.49	-0.89

$$C = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{A_{t_1} \times t} \times 100 \quad \leftarrow \text{* نرخ تغییر سالانه (C)}$$

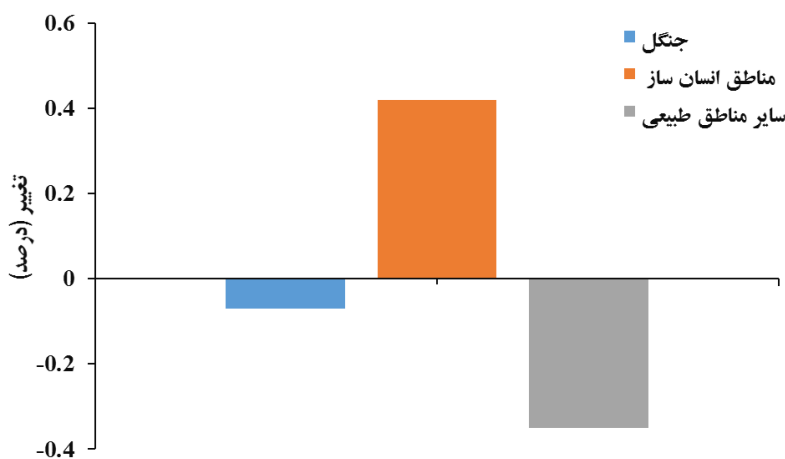
- مساحت در سال نخست  $A_{t_1}$  - مساحت در سال آخر  $A_{t_2}$  - فاصله بین دو زمان  $t$



جدول ۲ ماتریس احتمال انتقال برای ۱۴۰۱-۱۳۸۰ را نشان می‌دهد. احتمال انتقال بین دو طبقه یکسان (جنگل به جنگل، مناطق انسان‌ساز به مناطق انسان‌ساز) نشان می‌دهد که این طبقات احتمالاً برای این بازه زمانی باقی می‌مانند. احتمال ثابت ماندن جنگل و مناطق انسان‌ساز به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۸۲ است، که به این معنی است که ۶۱ و ۸۲ درصد از این مناطق بدون تغییر باقی می‌مانند (جدول ۲). به طور مشابه، احتمال انتقال بین دو طبقه در یک دوره زمانی مشخص، احتمال انتقال از یک طبقه به طبقه دیگر را نشان می‌دهد. در این مورد احتمال بیشتری که جنگل و سایر مناطق طبیعی به ترتیب با احتمال ۰/۳۳ و ۰/۲۷ تبدیل به مناطق انسان‌ساز شوند، وجود دارند. بنابراین، از نظر مقادیر احتمال انتقال، اراضی پوشش گیاهی به شدت مستعد تبدیل شدن به مناطق انسان‌ساز هستند. Aghsaei و همکاران (۲۰۲۰) نیز پیشینه تبدیل کاربری اراضی در شمال ایران را از جنگل به کشاورزی بین ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳ گزارش کردند. در مطالعه Amoah (۲۰۲۲) نیز بیشترین احتمال انتقال از اراضی پوشش گیاهی به مناطق توسعه یافته در دوره مورد مطالعه گزارش شده است. در حوضه آبخیز شنرود در دوره مورد مطالعه، بیش از ۸۰ درصد مناطق انسان‌ساز بدون تغییر باقی مانده است. در مورد تبدیل این مناطق به سایر کاربری‌ها، بیشتر اراضی کشاورزی تبدیل شده به سایر مناطق طبیعی (عمدتاً علفزار) بوده است. این یافته مطابق با تحقیقات گذشته است (Abebe et al., 2022; Malede et al., 2023). علاوه بر این، شکل ۴ تغییر خالص طبقات کاربری اراضی در طول دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد که از ۱۴۰۱-۱۳۸۰، تغییر خالص جنگل و سایر مناطق طبیعی به صورت کاهشی و در مقابل تغییر خالص مناطق انسان‌ساز افزایشی است.

جدول (۲): آمار احتمال انتقال کاربری اراضی برای دوره زمانی مورد مطالعه

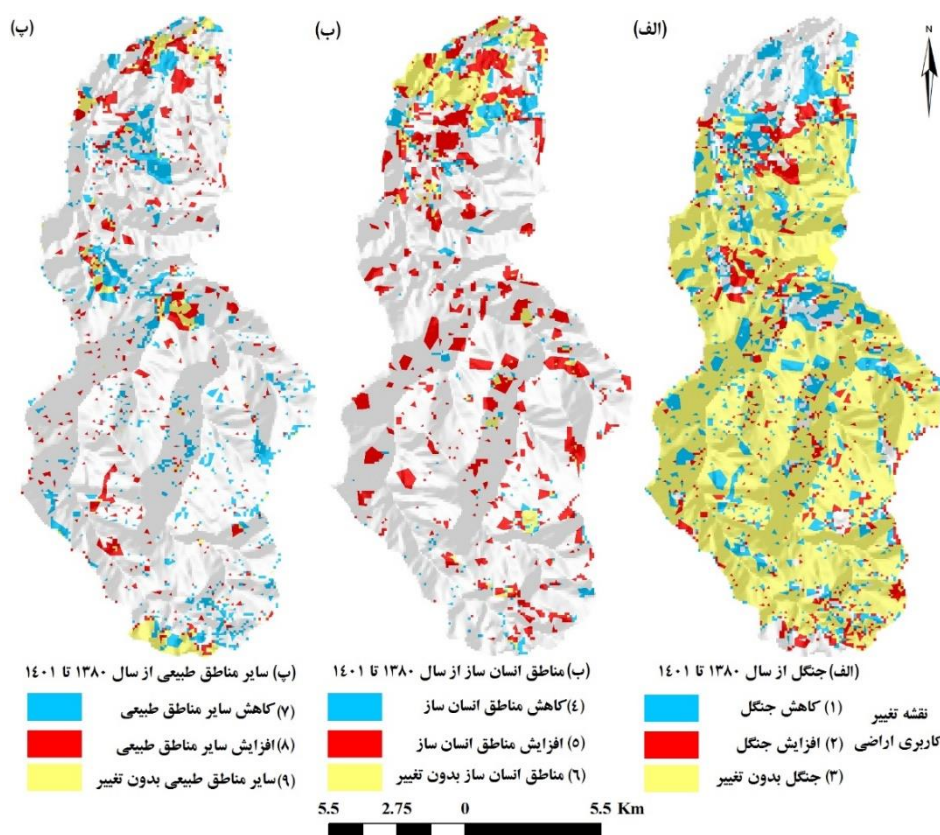
طبقه کاربری اراضی	جنگل	مناطق انسان‌ساز	سایر مناطق طبیعی
جنگل	0.61	0.33	0.06
مناطق انسان‌ساز	0.07	0.82	0.11
سایر مناطق طبیعی	0.25	0.27	0.48



شکل (۴): تغییر خالص طبقات کاربری اراضی برای دوره زمانی مورد مطالعه

شکل ۵ نقشه‌های تغییر انواع کاربری اراضی را در منطقه مورد مطالعه از ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱ نشان می‌دهد. این نقشه‌های تغییر با استفاده از ماتریس احتمال ایجاد شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، جنگل بیشترین بخش از کل مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است (شکل ۵ الف)). در مقابل، توزیع مناطق انسان‌ساز متمرکزتر است و عمدتاً در ناحیه شمالی قرار دارد، البته سکونتگاه‌های روستایی زیادی نیز به طور نسبتاً مساوی در کل منطقه مورد مطالعه پراکنده است. در طول دوره مورد

مطالعه، مناطق انسان‌ساز روند قابل توجه گسترش در امتداد رودخانه شمرود در شمال حوضه، که مقدار زیادی از اراضی قابل کشت و منابع آبی را در برمی‌گیرد، نشان داد (شکل ۵ (ب)). هم‌چنین در بخش مرکزی نیز گسترش قابل توجه مناطق انسان‌ساز مشاهده شد. سایر مناطق طبیعی نیز جزء مهم حوضه است و عملکردهای مهم محیط‌زیستی را ارائه می‌دهد. بخش‌های جنوبی و شمالی در مقایسه با سایر نواحی مناطق طبیعی بیشتری در خود جای داده است (شکل ۵ (پ)). همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱، بخش قابل توجهی از این مناطق طبیعی به جنگل و مناطق انسان‌ساز تبدیل شده‌اند، هم‌چنین مناطق انسان‌ساز جدید به طور عمده از جنگل تبدیل شده‌اند. در دوره مورد مطالعه، به‌طور کلی ۷۴ درصد از منطقه بدون تغییر باقی ماند و ۲۶ درصد دستخوش تغییر کاربری اراضی شده است. این شرایط تغییر در مطالعه Ahmadi Sani و همکاران (۲۰۲۲) نیز قابل مشاهده است. به‌طور کلی، الگوی کاربری اراضی جنگل در طول دوره مورد مطالعه نسبتاً ناپایدار بود. این امر نیاز به مدیریت بهینه و پایدار حفاظت و بهره‌برداری از این اراضی را مطرح می‌کند.



شکل ۵: نقشه تغییر مکانی طبقات اصلی کاربری اراضی شامل: جنگل (الف)، مناطق انسان‌ساز (ب) و سایر مناطق طبیعی (پ) از ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱ در منطقه مورد مطالعه.

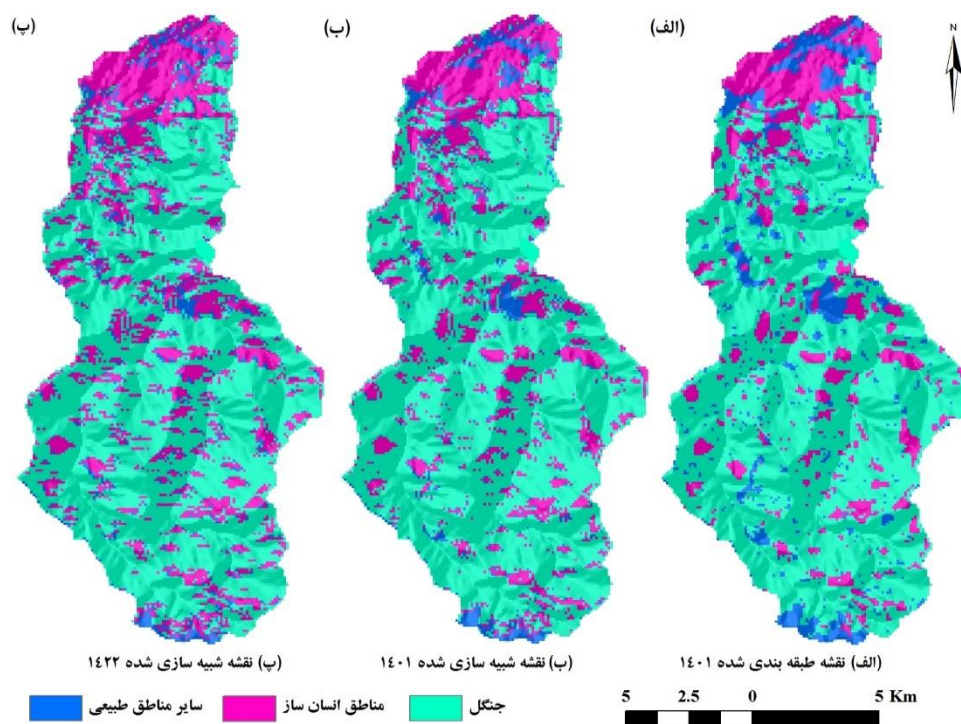
### پیش‌بینی آینده تغییر کاربری اراضی

روندهای تبدیل و احتمال‌های انتقال کاربری اراضی بدست آمده در این مطالعه، بنیان مدل‌سازی احتمال انتقال برای شبیه‌سازی CA-ANN را فراهم می‌کند. نقشه تغییر ۱۴۰۱-۱۳۸۰ و پارامترهای مکانی (ارتفاع، شیب و پارامترهای فاصله) به عنوان متغیرهای ورودی برای آموزش مدل ANN در نظر گرفته شد. در اعتبارسنجی مدل ANN، درصد صحت نقشه شبیه‌سازی سال ۱۴۰۱ در مقایسه با نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی سال ۱۴۰۱، برابر با ۹۱ درصد و آماره کاپای کلی ۰/۸۶ بدست آمد. بر اساس نتایج اعتبارسنجی شده، این مدل با نرخ یادگیری ۰/۱ و نیروی حرکت آنی (Momentum) ۰/۰۵ آموزش داده شد. فرآیند آموزش مدل

برای ۱۰۰۰ تکرار و مقدار همسایگی یک پیکسل با ۱۰ لایه پنهان اجرا شد. سپس مدل آموزش دیده برای بدست آوردن نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۴۲۲ شبیه‌سازی شد. شکل ۶ تغییرات پیش‌بینی شده در طبقات کاربری اراضی از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۲۲ در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مساحت و درصد پوشش این طبقات در این دوره در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج پیش‌بینی شده تغییرات ثابت را در دوره مطالعه نشان می‌دهد. رشد مستمر در الگوی کاربری مناطق انسان‌ساز مشاهده شد، که در آن مساحت از تقریباً ۴۱ کیلومتر مربع (۲۱/۶۱ درصد) در سال ۱۴۰۱ به تقریباً ۵۰ کیلومتر مربع (۲۶/۲۹ درصد) در سال ۱۴۲۲ افزایش یافت. با توجه به افزایش نرخ مساحت تحت پوشش مناطق انسان‌ساز، روند کاهشی برای زمین‌های جنگل و سایر مناطق طبیعی در نقشه‌های شبیه‌سازی شده مشاهده شد. پوشش جنگلی از ۱۳۷/۴۱ کیلومتر مربع (۷۲/۳۲ درصد) در سال ۱۴۰۱ به ۱۲۹/۳۱ کیلومتر مربع (۶۸/۰۶ درصد) در سال ۱۴۲۲ کاهش یافته است. به طور مشابه، سایر مناطق طبیعی نیز روند کاهشی خود را بین سال‌های ۱۴۰۱ (۶/۰۷ درصد) و ۱۴۲۲ (۵/۶۵ درصد) حفظ می‌کند. در مقایسه روند تغییر مشاهده شده در دوره ۱۴۰۱-۱۳۸۰ (جدول ۱) با دوره ۱۴۲۲-۱۴۰۱، کاهش قابل توجه نرخ تغییر سالانه در دوره دوم نسبت به دوره اول مشهود است. به عنوان مثال، نرخ تغییر سالانه برای مناطق انسان‌ساز از ۴/۹۴ درصد در دوره اول به ۱/۰۳ درصد در دوره دوم کاهش یافت. این نتیجه مشابه با کاهش تبدیل ناخالص سالانه کاربری اراضی برای دوره دوم نسبت به دوره اول مورد مطالعه در چین در نتیجه کاهش آشفستگی‌های انسانی سیمای سرزمین بود (Zhu et al., 2022).

جدول (۳): تغییرات کاربری اراضی (km<sup>2</sup>) و نرخ سالانه (%) برای دوره زمانی پیش‌بینی شده (۱۴۰۱-۱۴۲۲).

نرخ تغییر سالانه <sup>o</sup> (درصد در سال)	درصد پوشش			مساحت		طبقه کاربری اراضی	
	Δ	۱۴۲۲	۱۴۰۱	Δ	۱۴۲۲		۱۴۰۱
-0.28	-4.26	68.06	72.32	-8.1	129.31	137.41	جنگل
1.03	4.68	26.29	21.61	8.9	49.95	41.05	مناطق انسان‌ساز
-0.33	-0.42	5.65	6.07	-0.8	10.74	11.54	سایر مناطق طبیعی



شکل (۶): نقشه طبقه‌بندی شده ۱۴۰۱ به همراه نقشه‌های شبیه‌سازی شده ۱۴۰۱ و ۱۴۲۲ برای منطقه مورد مطالعه.

## تحلیل رگرسیون

بر اساس نتایج، گزارش آماره والد نشان داد که متغیرهای توصیفی برای دوره مطالعه ضریب رگرسیون قابل قبول ارائه می‌کند ( $p < 0.05$ ). در ادامه معنی‌داری هر یک از متغیرهای توصیفی با استفاده از مدل OLS در جدول ۴ ارزیابی شد. این جدول نشان می‌دهد که همه متغیرهای توصیفی معنی‌دار بودند زیرا احتمال آنها کمتر از ۰/۰۵ است. هم‌چنین آماره  $t$  محاسبه شده آنها نشان می‌دهد که همه آنها تأثیر دارند (آماره  $t$  خارج از محدوده  $\pm 1/96$ ). مقادیر عامل تورم واریانس (VIF) کمتر از ۷/۵ برای همه متغیرهای توصیفی نیز تأییدگر این حقیقت است که این متغیرها برای هدف مورد مطالعه مناسب است و به عبارت دیگر افزودگی داده دیده نمی‌شود. در نهایت، معیار ضریب تشخیص ( $R^2$ ) که از معیارهای اصلی عملکرد مدل است، برای دوره مورد مطالعه ۰/۵۱ بدست آمد که نشان می‌دهد متغیرهای توصیفی توانستند ۵۱ درصد از تغییرات در کاربری اراضی را تبیین کنند. این میزان  $R^2$  (بالاتر از ۰/۵) از نظر آماری برای مدل‌های رگرسیونی قابل قبول است. در بین متغیرهای مورد بررسی، شیب و فاصله از جاده بیشترین تأثیرگذاری و متغیر فاصله از روستاها کمترین تأثیرگذاری را در تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه نشان دادند.

جدول (۴): نتایج آماری حاصل از رگرسیون OLS برای مقایسه سطوح معنی‌داری متغیرهای مستقل در مدل تغییر کاربری اراضی ۱۴۰۱-۱۳۸۰.

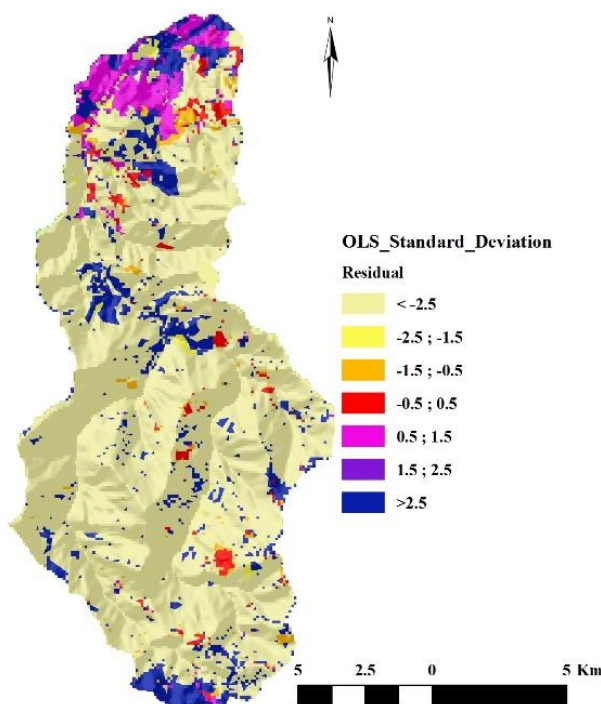
متغیرها	ضریب <sup>a</sup>	اشتباه معیار	آماره $t$	احتمال <sup>b</sup>	عامل تورم واریانس <sup>c</sup> (VIF)
ارتفاع	-0.012381	0.000454	-21.965643	0.003434*	4.016664
شیب	-1.000412	0.019102	-35.163364	0.003063*	1.002291
فاصله از مرکز شهر	-0.006722	0.000133	-25.206306	0.008365*	2.548625
فاصله از جاده	-0.014851	0.000078	-12.379415	0.001743*	1.819032
فاصله از روستاها	-0.000297	0.000130	-5.746882	0.004552*	2.704776
فاصله از آبراه‌ها	-0.002172	0.000461	-15.565718	0.007611*	1.036933

<sup>a</sup> ضریب: قدرت و نوع رابطه بین هر متغیر مستقل و متغیر وابسته را نشان می‌دهد.

<sup>b</sup> احتمال: ستاره (\*) نشان می‌دهد که یک ضریب از نظر آماری معنی‌دار است ( $p\text{-value} < 0.05$ ).

<sup>c</sup> عامل تورم واریانس (VIF): مقادیر عامل تورم واریانس (VIF) بزرگ ( $> 7.5$ ) نشان‌دهنده افزونگی در بین متغیرهای مستقل است.

در ادامه نقشه مقدار باقیمانده (Residual) از تحلیل رگرسیون OLS برای داده‌های مربوط به دوره ۱۴۰۱-۱۳۸۰ در شکل ۷ ارائه شده است. در ارتباط با مقادیر باقیمانده که برابر با تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده است، مطلوب است که باقیمانده‌های استاندارد (پیش‌بینی کمتر و بیش از حد) به صورت تصادفی توزیع شوند و شکل ۷ نشان می‌دهد که باقیمانده‌های استاندارد برای دوره مورد مطالعه واقعاً تصادفی بودند. این بدان معناست که هیچ متغیر مستقل کلیدی از مدل حذف نشده است (Thapa and Murayama, 2009). مقادیر پائین باقیمانده محلی مناطقی را بر روی نقشه نشان می‌دهد که مدل OLS به خوبی پیش‌بینی کرده است، در حالی که مقادیر بالای باقیمانده محلی مناطقی را بر روی نقشه نشان می‌دهد که کمتر به خوبی توسط مدل OLS پیش‌بینی شده است. در کل، نتایج تحلیل رگرسیون OLS یک رابطه قوی و معنی‌دار آماری را بین کاربری اراضی و متغیرهای توصیفی نشان داد (جدول ۴). با این وجود، بدیهی است که این رابطه ناپایا بوده و تغییر در متغیرهای توصیفی می‌تواند مقدار بیشتری از تغییرات در کاربری اراضی را نسبت به تحلیل رگرسیون اولیه OLS توضیح دهد.



شکل (۷): نقشه مقدار باقیمانده (Residual) از تحلیل رگرسیون OLS برای داده‌های مربوط به دوره ۱۴۰۱-۱۳۸۰.

## نتیجه‌گیری

این مطالعه تغییرات زمانی و مکانی کاربری اراضی را در حوضه آبخیز شنرود سیاهکل، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۲۲ شناسایی کرد. حوضه آبخیز مورد مطالعه به سه طبقه اصلی کاربری اراضی بر اساس پوشش‌های زمین رایج، پاسخ‌های طبیعی پدیده‌ها در تصاویر لندست، مشاهدات میدانی گسترده و بررسی ادبیات موضوعی تقسیم شد. سپس روش طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد که نمایش‌های دقیقی از الگوهای کاربری اراضی ارائه کرد. بر اساس نتایج مشاهده شده از نقشه‌های طبقه‌بندی شده، مناطق انسان‌ساز از تقریباً ۹ درصد در سال ۱۳۸۰ به بیش از ۱۸ درصد در سال ۱۴۰۱ افزایش سریعی را تجربه کردند. در حالی که جنگل و سایر مناطق طبیعی کاهش به ترتیب تقریباً ۷ و ۲ درصدی را تجربه کردند. عامل محرکه تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه مانند سایر نواحی شمالی کشور به نرخ سریع شهرنشینی و تبدیل جنگل‌ها و سایر مناطق طبیعی به زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌های شهری بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱ نسبت داده شد. پوشش‌های جنگلی تخریب مداوم را تجربه کردند. تجزیه و تحلیل ماتریس انتقال نشان دهنده تبدیل پوشش‌های جنگلی به کشاورزی و گسترش اراضی توسعه یافته بر زمین‌های کشاورزی است. علاوه بر این، نقشه‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل CA-ANN در سال ۱۴۲۲ نیز افزایش مناطق توسعه یافته (انسان‌ساز) و کاهش پوشش‌های جنگلی و سایر مناطق طبیعی را پیش‌بینی کردند. با این روند تغییرات شدید کاربری اراضی، به نظر می‌رسد که پایداری بوم‌سازگان‌های طبیعی به ویژه به دلیل گسترش شهری و تکه تکه شدن جنگل‌ها در خطر است. یافته‌ها حاکی از آن است که شیوه‌های مدیریت پایدار کاربری اراضی، مانند مدیریت جامع آبخیز، برای حفاظت و استفاده هوشمندانه از خدمات بوم‌سازگان طبیعی در منطقه مورد مطالعه مورد نیاز است. علاوه بر این، نیاز به افزایش آگاهی جامعه محلی، ذینفعان، سیاستگذاران و تصمیم‌گیرندگان در بخش‌های دولتی و غیردولتی است. بر این اساس، شبیه‌سازی‌های مکانی-زمانی و تشکیل سناریوهای آینده که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در تجزیه و تحلیل تغییرات شدت کاربری اراضی و آثار متغیرهای اجتماعی-اقتصادی، و همچنین ترویج حفاظت از محیط زیست و برنامه‌های توسعه پایدار کمک کند، پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، آثار تغییرات اقلیمی که تحت تاثیر گسترش سریع شهری و صنعتی است، باید در مطالعات آینده مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

## منابع

- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، نقشه‌های پوشش گیاهی، ۱۴۰۰.
- اصغری سراسکانرود، صیاد، سعیدی، علیرضا. ۱۴۰۲. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی رواناب حوضه رودخانه قره چای با استفاده از مدل‌های HEC-HMS. جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲ (۴۵)، ۱۴۸-۱۳۴.
- جهدی، رقیه، عربی، مهدی. ۱۴۰۱. موادسوختنی سطحی و تاجی و رفتار آتش در بوم‌سازگان جنگل‌های طبیعی و دست-کاشت حوضه آبخیز ۲۵ شنرود سیاهکل. مطالعات علوم محیط زیست. ۸ (۲)، ۶۳۸۷-۶۳۷۳.
- جورابیان شوشتری، شریف. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی اثرات آینده تغییرات اقلیم، کاربری اراضی، سنجه‌های سیمای سرزمین و فرآیندهای تغییر بر کیفیت آب سطحی. پایان‌نامه دکتری تخصصی، دانشگاه ملایر، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- خاوریان، حسن، آقائی، مریم، مصطفی‌زاده، رئوف. ۱۳۹۹. پیش‌بینی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر جریان ماهانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و داده‌های سنجش از دور در حوضه آبریز کوزه تیراچی اردبیل. هیدروژئومورفولوژی، ۶ (۲۴)، ۳۹-۱۹.
- خدابنده‌لو، بهروز، خاوریان نه‌زک، حسن، قربانی، اردوان. ۱۳۹۸. آشکارسازی تغییرات کاربری/پوشش اراضی با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوزه آبریز قره سو، استان اردبیل). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰ (۳)، ۹۲-۷۶.
- داداش پور، هاشم، جهانزاد، نریمان. ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مجموعه شهری مشهد با استفاده از سلول‌های خودکار و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی. ۱۳۹۵. برنامه‌ریزی فضایی. ۲۰ (۱)، ۳۸-۲۱.
- درویشی، شادمان، سلیمانی، کریم. ۱۳۹۹. پایش و مدل‌سازی تغییرهای زمانی - مکانی پوشش گیاهی با استفاده از NDVI و مدل Markov-CA (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). علوم محیطی. ۱۸ (۴)، ۱۸۲-۱۶۱.
- صالحی آسفیچی، هاتف الرحمن، کرمی، جلال، علوی، سیدعلی. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی الگوی تلفیقی CA-ANN در مدل‌سازی رشد شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران). جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ۱۶ (۱)، ۲۷۸-۲۵۷.
- عابدینی، موسی، صادقی، ابوزر، آقازاده، نازفر، پاسبان، امیرحسام. ۱۴۰۱. پایش دمای سطح زمین در رابطه با تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه صوفی‌چای مراغه). جغرافیا و مطالعات محیطی، انتشار آنلاین از ۱۹ آذر ۱۴۰۱. [https://ges.iaun.iau.ir/article\\_697635.html](https://ges.iaun.iau.ir/article_697635.html)
- کریم‌زاده مطلق، زینب، لطفی، علی، پورمنافی، سعید، احمدی‌زاده، سید سعیدرضا. ۱۴۰۱. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Markov. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۳۳ (۲)، ۸۰-۶۳.
- مولائی هاشجین، نصرالله، علینقی پور، مریم. ۱۳۹۹. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با تاکید بر افزایش جمعیت طی سالهای ۹۵-۱۳۸۰. ه.ش (مطالعه موردی: شهرستان رشت، استان گیلان). مهندسی جغرافیایی سرزمین، ۴ (۲)، ۲۴۱-۲۲۵.
- وفایی، ساسان، درویش صفت، علی اصغر، پیرباوقار، مهتاب. ۱۳۹۲. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM. جنگل ایران، ۵ (۳)، ۳۳۶-۳۲۳.
- هاشمی، سیدآرمین، فاطمی طلب، سیدرضا، کاوسی کلاشمی، حمیده، معدنی پور کرمانشاهی. ۱۳۹۵. پایش تغییرات سطح پوشش جنگل‌های حوزه سیاه‌مزگی استان گیلان با استفاده از تصاویر لندست. سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷ (۳)، ۸۸-۷۸.

Abebe, G., Getachew, D., Ewunetu, A. 2022. Analyzing land use/land cover changes and its dynamics using remote sensing and GIS in Gubalafito district, Northeastern Ethiopia. SN Applied Sciences, 4. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-021-04915-8>

Ahmadi-Sani, N., Razaghnia, L., Pukkala, T. 2022. Effect of Land-Use Change on Runoff in Hyrcania. Land 2022, 11, 220.

Amoah, M.K.M. 2022. Mapping Wetlands Using GIS and Remote Sensing Techniques, A Case Study of Wetlands in Greater Accra, Ghana [Master's thesis, Bowling Green State University]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. [http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc\\_num=bgsu1660601620356502](http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=bgsu1660601620356502)

- Aghsaei, H., Dinan, N.M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N., Wagner, P.D. 2020. Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment*, 712:136449
- Baig, M.F., Mustafa, M.R.U., Baig, I., Takaijudin, H.B., Zeshan, M.T. 2022. Assessment of land use land cover changes and future predictions using CA-ANN simulation for Selangor, Malaysia. *Water*, 14, 402. <https://doi.org/10.3390/w14030402>
- Bansod, R.D., Dandekar, U. 2018. Evaluation of Morna river catchment with RS and GIS techniques. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 1945–1948.
- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad, S.S., Aziz, N. 2015. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2):251–259
- DeValue, K., Takahashi, N., Woolnough, T., Merle, C., Fortuna, S., Agostini, A. 2022. Halting deforestation from agricultural value chains: the role of governments. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2262en>
- European Environment Agency (EEA). 2021. Global climate change impacts and the supply of agricultural commodities to Europe, EEA Briefing No 27/2020, European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/publications/global-climate-change-impacts-and>) accessed 20 January 2023.
- FAO. 2011. Farm systems management: agricultural and farm systems. <http://www.fao.org/docrep/w7365e04.htm>. FAO, 2011. Save and grow. A policymaker's guide to intensification of smallholder crop production.
- Foody, GM. 2003. Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: An example focused on the NDVI–rainfall relationship. *Remote Sensing of Environment* 88, 283–293.
- Kamaraj, M., Rangarajan, S. 2022. Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17904-6>
- Keenan, R., Reams, G., Achard, F., De Freitas, J., Grainger, A., Lindquist, E. 2015. Dynamics of global forest area: results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352: 9-20. JRC96276
- Islami, F.A., Tarigan SD., Wahjunie E.D., Dasanto, B.D. 2022. Accuracy Assessment of Land Use Change Analysis Using Google Earth in Sadar Watershed Mojokerto Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 950 012091.
- Huu, C.N., Van, C.N., My, TNN. 2022. Modeling land-use changes using logistic regression in Western Highlands of Vietnam: A case study of Lam Dong province. *Agriculture and Natural Resources*, 56 (2022) 935–944.
- Li, K., Feng, M., Biswas, A., Su, H., Niu, Y., Cao, J. 2020. Driving factors and future prediction of land use and cover change based on satellite remote sensing data by the LCM model: A case study from Gansu province, China. *Sensors* 20: 2757. [doi.org/10.3390/s20102757](https://doi.org/10.3390/s20102757)
- Malede, D.A., Tena Alamirew, T., Kosgie, J.R., Andualem, T.G. 2023. Analysis of land use/land cover change trends over Birr River Watershed, Abbay Basin, Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 17, 100222.
- Mohammadi, M., Khaledi Darvishan, A.K., Spalevic, V., Dudic, B., Billi, P. 2021. Analysis of the impact of land use changes on soil erosion intensity and sediment yield using the intErO model in the talar watershed of Iran. *Water*, 13, 881.
- Thapa, R.B., Murayama, Y. 2009. Examining spatiotemporal urbanization patterns in Kathmandu Valley, Nepal: Remote sensing and spatial metrics approaches. *Remote Sensing*, 1(3): 534-556.
- Wang, B., Tian, J., Wang, S. 2022. Process and mechanism of transition in regional land use function guided by policy: A case study from Northeast China. *Ecological Indicators*, 144, 109527.
- Zhang, Q., Li, F. 2022a. Correlation between land use spatial and functional transition: a case study of Shaanxi Province, China. *Land Use Policy*, 119, 106194.
- Zhang, C., Li, X. 2022b. Land use and land cover mapping in the era of big data. *Land*, 11, 1692. <https://doi.org/10.3390/land1110169>
- Zhu, Z., Zhang, Z., Zhao, X., Zuo, L., Wang, X. 2022. Characteristics of Land Use Change in China before and after 2000. *Sustainability*, 14, 14623. <https://doi.org/10.3390/su142114623>

**نحوه ارجاع به مقاله:**

جهدی، رقیه (۱۴۰۲)، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی‌های آینده با استفاده از شبیه‌سازی CA-ANN در حوضه آبخیز ۲۵ شنرود سیاهکل، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲ (۴۶)، ۱۶۴-۱۷۹، Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.46.10.4

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

