

Research Paper

Modeling and Forecasting the Risk of Forest Degradation with Geomod Model (Case study: Chālus and Nowshahr counties)

Sāleh Arekhi^{1*} 

1. Associate Professor, Department of Geography and Geographical Information Systems, Faculty of Humanities Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran.



DOI: 10.22124/gscaj.2025.28143.1314

Received: 2024/08/11

Accepted: 2025/03/07

Abstract

Monitoring and investigation of land use changes in forest areas provides acceptable information for efficient management of these resources. The aim of this research was to investigate land use changes in the past and evaluate the effectiveness of the Geomod model in modeling and predicting land use changes. Therefore, Landsat satellite images belonging to the years 1989, 2000 and 2021 were examined and land use changes were monitored using these images. The images of all three time periods were classified into six categories: forest, range land, barren land, agriculture, wetland and urban areas. Forecasting the state of forest use change for the year 2021 was done using the land use maps of 1989 and 2001 with the help of geomod model and based on logistic regression. Therefore, the spatial variables of distance from the road, distance from the river, distance from rural areas, distance from urban areas, distance from the edge of the forest, elevation, slope, and slope direction were used as factors affecting changes in logistic regression. The Kappa coefficient obtained from the classification of 1989, 2000 and 2021 was 0.88, 0.91 and 0.87, respectively. Evaluation of logistic regression performance using two indices of Pseudo-R² and ROC with values of 0.34 and 0.85 for the first period and 0.35 and 0.87 for the second period, respectively, showing the relative agreement of the obtained model with real changes and the appropriate ability of the model in estimating forest changes in the past 32 years. The results showed that in the period of 1989-2021, about 33,853 hectares of forest area has been reduced, and in the period of 2021-2051, the area of forests would decrease by 15,047 hectares. The results related to the simulation of the land cover map of the year 2021 showed that the Geomod model has a high ability and capability in modeling land cover changes, and in this study, the accuracy of the land cover maps was above 0.91.

Keywords: Forecasting, Satellite Images, Forest Degradation, Logistic Regression, Chālus and Nowshahr counties.

Highlight

- Monitoring and investigation of land use changes in forest areas provides acceptable information for efficient management of these resources.
- The results of this research showed that during the years 1989 to 2021, the studied area has undergone extensive changes, and the majority of these changes were in the direction of forest degradation, and the reason for the decrease in the extent of forest lands in the studied period was the development of residential areas and agricultural lands in it the area.

Extended Abstract

Introduction

Studying the changes in land use and land cover plays an important role in studying the global changes. The increase in population, expansion of urbanization, economic development and the subsequent increase in land use change in the last few decades have caused the reduction of forest cover in different regions of the world. Monitoring and investigating the changes that have occurred in forest areas provides good information for better

* Corresponding author: S.arekhi@gu.ac.ir

management of these resources in the direction of their protection, conservation, development and even exploitation. Forest lands in the north of Iran are not exempted from this rule and this reduction has been seen in most areas. The current research aimed to investigate the forest changes in Nowshahr and Chalus cities in the past and using the pattern of the changes in order to predict its changes in the future using the geomod model and Landsat satellite images.

Methodology

The area investigated in this study was Nowshahr and Chalus cities. These cities are located around 50°55' to 51°27' east longitude and 36°9' to 36°41' north latitude. In this study, to investigate the change of the time period 1989-2021 and predict these changes in the year 2051, the data of the TM sensor of the Landsat 5 satellite related to the date 20/7/1989, the image of the TM sensor of the Landsat 5 satellite dated 7/5/2000 and ETM+ sensor image of Landsat 7 satellite corresponding to 7/27/2021 (all three images with pass number and row 165-34) were used. Other data including topographic map, waterway network map, thematic maps showing roads and villages with a scale of 1:50000 were obtained from the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran Province. First, the satellite images were analyzed geometrically and radiometrically, and after performing the required pre-processing, the images were classified using Idrisi Terrset software. In this study, image classification was conducted using the supervised method and maximum likelihood algorithm. The correctness of the classification was checked using ground control points. In this method, to check the accuracy of the classification, the classified image was compared with an image containing ground control points. Detecting land use changes is the process of identifying changes in land use in a certain time interval. In this study, the post-classification comparison method was used to detect land use changes. The images of all three time periods were classified into six classes: forest, rangeland, barren land, agriculture, wetland and urban areas. Forecasting the state of forest use change for the year 2021 was done using the land use maps of 1989 and 2000 with the help of geomod model and based on logistic regression. For this purpose, the spatial variables of distance from the road, distance from the river, distance from rural areas, distance from urban areas, distance from the edge of the forest, elevation, slope, and slope aspect were used as factors affecting changes in logistic regression.

Results and discussion

The results of the radiometric quality check and geometric control of the images showed that the images of every three years are of good quality and do not have any of the known radiometric errors. Also, the images with the layers of roads and waterways are completely spatially consistent and do not require geometric correction. Also, the classification of the images using the maximum likelihood classification showed that six land use classes include forest, range land, city, barren land, wetland and agriculture in the study area.

The Kappa coefficient obtained from the classification of 1989, 2000 and 2021 was 0.88, 0.91 and 0.87, respectively. Evaluation of logistic regression performance using two indices Pseudo- R^2 and ROC with values of 0.34 and 0.85 for the first period and 0.35 and 0.87 for the second period, respectively, showing the relative agreement of the obtained model with real changes and showed the appropriate ability of the model in estimating forest changes in the past 32 years. The results showed that in the period of 1989-2021, about 33,853 hectares of the area of forests were reduced, and in the period of 2021-2051, the area of forests will face a decrease of 15,047 hectares. The results related to the simulation of the land cover map of the year 2021 showed that the Geomod model has a high ability and capability in modeling land cover changes, and in this study, the accuracy of the land cover maps was about 0.91.

Conclusion

As the results of this research showed, during the years 1989 to 2021, the studied area has undergone extensive changes, and most of these changes were in the direction of forest degradation. The prediction results of the modeler also confirmed the continuation of the degradation process. Although these results would not happen in the future, it is a warning for managers and decision makers in this field to prevent the increase of degradation to some extent by making appropriate decisions and controlling the conversion of uses. The results of the reduction of the area of forest lands in the studied period showed that the main reason was the development of residential areas and agricultural lands in the region. Therefore, management and protection measures such as determining the boundaries of agricultural lands and preventing their expansion, preventing the expansion of villages and also preventing people from accessing forest areas are suggested.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

This article is one-person and is the result of one person's work.

Conflict of Interest

The author declares that he has no conflict of interest with any other person.

Acknowledgments

The author hereby expresses his gratitude to all those who have helped in this research in some way

Citation:

Arekhi, S. (2025) Modeling and Forecasting the Risk of Forest Degradation with Geomod Model (Case study: Cities of Nowshahr and Chālus). *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 6 (2), pp. 81-101.
DOI: 10.22124/gscaj.2025.28143.1314

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to *Geographical studies of Coastal Areas Journal*. 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.



مدل سازی و پیش بینی خطر تخریب جنگل با مدل Geomod (مطالعه موردی: شهرستان های چالوس و نوشهر)

صالح آرخی^{۱*}

۱. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

DOI: 10.22124/gscj.2025.28143.1314

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷

چکیده

پایش و بررسی تغییرات کاربری اراضی در عرصه های جنگلی، اطلاعات قابل قبولی را به منظور مدیریت کارآمد این منابع فراهم می کند. هدف این پژوهش بررسی تغییرات کاربری در گذشته و ارزیابی کارایی مدل Geomod در مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی می باشد. از این رو تصاویر ماهواره ای لندست متعلق به سال های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۴۰۰ بررسی شد و پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از این تصاویر انجام شد. تصاویر هر سه مقطع زمانی به شش طبقه جنگل، مرتع، بایر، کشاورزی، تالاب و مناطق شهری طبقه بندی شد. پیش بینی وضعیت تغییر کاربری جنگل برای سال ۱۴۰۰، با استفاده از نقشه های کاربری سال های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۹ و به کمک مدل ژنومد و بر پایه رگرسیون لجستیک انجام گرفت. به این منظور، از متغیرهای مکانی فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق روستایی، فاصله از مناطق شهری، فاصله از حاشیه جنگل، ارتفاع، شیب و جهت شیب به عنوان عوامل مؤثر بر تغییرات در رگرسیون لجستیک استفاده شد. ضریب کاپا حاصل از طبقه بندی سال ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۴۰۰ به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۹۱ و ۰/۸۷ بدست آمد. ارزیابی عملکرد رگرسیون لجستیک با استفاده از دو شاخص Pseudo-R² و ROC با مقادیر به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۸۵ برای دوره اول و ۰/۳۵ و ۰/۸۷ برای دوره دوم، نشان دهنده توافق نسبی مدل بدست آمده با تغییرات واقعی و توانایی مناسب مدل در برآورد تغییرات جنگل در ۳۲ سال گذشته است. نتایج نشان داد در دور [زمانی ۱۳۶۸-۱۴۰۰ حدود ۳۳۸۵۳ هکتار از مساحت جنگل ها کاسته شده است و در دوره ۱۴۰۰-۱۴۳۰ نیز مساحت جنگل ها با کاهش ۱۵۰۴۷ هکتاری روبرو خواهد شد. نتایج مربوط به شبیه سازی نقشه پوشش زمین سال ۱۴۰۰ نشان داد که مدل Geomod توانایی و قابلیت بالایی در مدل سازی تغییرات پوشش زمین دارد که در این بررسی صحت و درستی نقشه های پوشش زمین بالای حدود ۰/۹۱ بوده است.

واژگان کلیدی: پیش بینی، تصاویر ماهواره ای، تخریب جنگل، رگرسیون لجستیک، شهرستان های چالوس و نوشهر.

نکات برجسته:

- پایش و بررسی تغییرات کاربری اراضی در عرصه های جنگلی، اطلاعات قابل قبولی را به منظور مدیریت کارآمد این منابع فراهم می کند.
- نتایج این پژوهش نشان داد طی سال های ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۰ منطقه مورد مطالعه دستخوش تغییرات وسیعی شده است که عمده این تغییرات در جهت تخریب جنگل بوده است و دلیل کاهش گستره اراضی جنگلی در دوره زمانی مورد مطالعه، توسعه مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی در منطقه بود است.

۱. مقدمه

مدل‌سازی و پیش‌بینی پویایی کاربری و پوشش زمین در آینده یک جنبه مهم برای نظارت و ارزیابی مدیریت زیست محیطی از نظر برنامه‌ریزی و حفاظت است. مدیریت اصولی کاربری اراضی مستلزم در اختیار داشتن اطلاعات دقیق و به هنگام در قالب نقشه است. با توجه به تغییرات گسترده و غیراصولی کاربری اراضی از جمله تخریب منابع طبیعی در سال‌های اخیر، بررسی چگونگی تغییرات پوشش اراضی طی دوره‌های زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امری ضروری است. از طرفی داده‌های ماهواره‌ای تکرارپذیر و به هنگام است و همچنین سطح وسیعی را پوشش می‌دهد و همین خصوصیات کاربرد آنها را افزایش داده است. در سال‌های اخیر، به دلیل کارایی مناسب داده‌های ماهواره‌ای و قابلیت‌های سیستم‌های جغرافیایی، بررسی تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی و پیش‌بینی این تغییرات برای آینده مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. پایش تغییرات کاربری اراضی در ارتباط با اکولوژی، جنگل‌زدایی، شهرنشینی، مدیریت پایدار منابع طبیعی، شناسایی و مدل‌سازی اثرهای تغییرات آب و هوا انجام می‌شود (Lo & Quattrochi, 2003: 1053-1063; Russell-smith et al., 2003: 283-297; Fraser et al., 2005: 414-427).

تخریب جنگل، فرآیندها و چرخه‌های بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به فرسایش خاک و کمبود آب در جنگل می‌شود. استخراج تغییرات رخ داده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به یکی از زیر شاخه‌های مهم در علم جنگلداری تبدیل شده است و ابزاری برای پایش انواع تغییرات در اکوسیستم‌های جنگلی است. به فرایند شناسایی تغییرات یک موضوع، سطح، پدیده یا فرایندی که توسط مشاهدات زمانی صورت می‌گیرد، پایش تغییرات گفته می‌شود (Adedjei et al., 2015: 301-318). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش جنگلی، اطلاعات ارزشمندی را برای درک بهتر فرایند تغییر، تعیین عوامل مؤثر بر آنها و پیش‌بینی وضعیت مناطق در معرض تغییر فراهم می‌کند (زارع گاریزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۷۳-۲۸۵). استفاده از مدهای پیش‌بینی کاربری-پوشش اراضی در کشوری مثل ایران که بهره‌برداری از زمین با سرعت در حال تغییر است، یک نیاز ضروری است. همچنین، ارزیابی دقت و صحت نتایج حاصل از تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی این تغییرات مهم است.

۲. مبانی نظری

امروزه برای شناسایی و پیش‌بینی روند تغییرات و تخریب اراضی از مدل‌های تغییر کاربری اراضی از قبیل مدل‌ساز تغییر سرزمین (CA-MARKOV, EGO, DINAMICA, GEOMOD, LCM (Land Change Modeler) استفاده می‌گردد که تفاوت آنها در روش مدل‌سازی قابلیت انتقال تجربی می‌باشد (Mas et al., 2014: 94-111). برای مدل‌سازی الگوهای مکانی تغییرات کاربری زمین دو رویکرد رایج وجود دارد؛ (۱) مدل‌های رگرسیون مبناء و (۲) مدل‌هایی که بر پایه انتقال مکانی هستند. مدل‌های دسته اول، رابطه بین دامنه گسترده‌ای از متغیرهای مستقل، پیش‌بینی کننده و تغییرات مشاهده شده در کاربری اراضی را شکل می‌دهد. سپس با استفاده از این متغیرها، محل تغییرات آینده در چشم‌اندازها تخمین زده می‌شود (Pijanowski, 2005: 197-215).

ژئومدل (Geomod) یک مدل تغییر کاربری زمین در اصل برای مدل‌سازی کاهش جنگل‌های گرمسیری (Pontius et al., 2001: 1-13; Brown et al., 2007: 1001-1026) و برای برآورد خروج دی‌اکسید کربن از جنگل‌های گرمسیری طراحی شده است (Cabral and Zamyatin, 2006; Pontius and Malanson, 2005: 243-265). این مدل توسط محققین در کالج علوم جنگلداری و محیط زیست انسانی (Pontius and Schneider, 2001: 239-248) و با سرمایه‌گذاری بخش انرژی، برنامه پژوهش دی‌اکسید کربن و بخش تغییر اقلیم و اتمسفر آمریکا توسعه یافت. این مدل محل تغییر کاربری زمین و مقدار تغییر یافته را با مقایسه مساحت بدست آمده از نقشه‌های کاربری زمین چند زمانه برآورد نماید (Pontius and Schneider, 2001: 239-248). پونتئوس و اشنايدر (Pontius and Schneider, 2001: 239-248) بیان داشت که ژئومدل یک مدل تغییر کاربری زمین است که تغییر یک سویه از یک طبقه کاربری زمین به یک طبقه دیگر را پیش‌بینی می‌کند. در این مدل دو مؤلفه وجود دارد، یک تغییر کاربری زمین و محلی که تغییر کاربری زمین رخ می‌دهد. این مدل برای پیش‌بینی محل تغییرات کاربری زمین، تعدادی از داده‌های مکانی مربوط به عوامل اقتصادی-اجتماعی و بیوفیزیکی را مورد استفاده قرار می‌دهد (Brown et al., 2007: 1001-1026; Echeverria et al., 2008).

1041-1050; Pontius, 2002: 439-449). این عوامل در اغلب موارد شامل وضعیت توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع)، فاصله از رودخانه، جاده و مناطق مسکونی، عوامل اقلیمی و عوامل اقتصادی- اجتماعی است (DeFries and Belward, 1983-1092). در این مدل می توان انتقال از یک طبقه کاربری به طبقه دیگر را شبیه سازی نمود (Cabral and Zamyatin, 2006; Pontius and Malanson, 2005: 243-265).

۳. پیشینه پژوهش

این مدل در مطالعات گوناگونی برای مدل سازی تغییرات کاربری زمین و پوشش گیاهی در مناطق مختلف جهان استفاده شده است. از جمله این مطالعات می توان به موارد زیر اشاره نمود: احمدی ندوشن و سفانیان (۱۳۸۸) توسعه کالبدی شهر اراک را با استفاده از مدل ژئومد برای سال ۱۴۰۴ پیش بینی کردند. آن ها طبقه بندی پوشش اراضی شهری را به واسطه روش شبکه عصبی انجام دادند. همچنین جهت پیش بینی تغییرات اراضی شهری در سال ۱۴۰۴ از طریق مدل ژئومد، از نقشه های شیب، فاصله از جاده و فاصله از مناطق شهری سال ۱۳۸۵ استفاده کردند. نتایج آشکار سازی تغییرات نشان داد که مساحت شهر اراک طی ۳۴ سال، از ۱۳۲۴ هکتار به ۴۰۱۱ هکتار افزایش یافته و ۳ برابر شده است. ارزیابی اعتبار مدل ژئومد در پیش بینی تغییرات نیز نشان داد که این مدل دارای توانایی نسبتاً خوبی در پیش بینی تغییرات اراضی شهری در اراک بوده است. گری^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۱ در ارزیابی و پیش بینی تغییرات اراضی جنگل در ایتالیا (منطقه توسکانی) با استفاده از مدل Geomod به این نتیجه رسیدند که منطقه مورد مطالعه به طور گسترده دستخوش تغییرات بزرگ در دهه های اخیر شده است و با توجه به درستی کالیبره و اعتبارسنجی، مدل Geomod یک ابزار قوی برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی می باشد. کامیاب^۲ و همکاران (۲۰۱۰) توسعه شهر گرگان را طی دوره ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱، با استفاده از رگرسیون لجستیک، پیش بینی کردند و بیان داشتند که زمین های مرتعی و زراعی نقش مهمی در تبدیل به اراضی مسکونی در گرگان دارند. امینی و همکاران (۱۳۸۵)، به بررسی روند تغییرات گستره جنگل و ارتباط آن با عوامل فیزیوگرافی و انسانی در جنگل های غرب کشور پرداخت. به این منظور از روش همبستگی اسپیرمن و مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. نتایج روش همبستگی اسپیرمن نشان داد فاصله از جاده رابطه عکس با پدیده تخریب داشته است. نتایج بررسی با مدل رگرسیون لجستیک با ضریب تبیین ظاهری و تطبیق شده برابر با ۰/۳۷ نشان داد که فاصله از جاده، مؤثرترین عامل تخریب در منطقه است. قربانیان خیبری^۳ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل ژئومد، روند تغییرات کاربری جنگل در حوزه آبخیز چالوس رود را برای یک دوره ۲۸ ساله بین سال های ۱۳۹۴ تا ۱۴۲۲ پیش بینی کردند و با توجه به صحت ۹۶ درصدی به دست آمده در پیش بینی نقشه کاربری زمین، مدل ژئومد را مدلی مناسب برای مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری زمین در حوزه آبخیز چالوس رود معرفی کردند. حیدری زادی و محمدی بهبهانی (۲۰۱۹) کارایی مدل های GEOMOD و LCM را در شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی در دشت ابوغویر دهلران، استان ایلام برای سال ۱۳۶۹، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار دادند. برای اجرای GEOMOD از نقشه های بولین کاربری ها و نقشه تناسب از نقشه های بولین کاربری ها و نقشه تناسب استفاده کردند. فاطمه نوذری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تغییرات پوشش جنگلی منطقه بویراحمد با استفاده از مدل GEOMOD پرداختند.

همین طور این مدل برای مدل سازی تغییرات کاربری و پوشش زمین در مطالعات دیگری نیز استفاده شده است (اسماعیلی و اشجعی، ۱۳۹۸: ۱۵۳-۱۷۲؛ شایسته و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۴-۶۴؛ Pickard et al., 2017: 1-21; 597-607; Imadi et al., 2018; Andaryani et al., 2021: 1-12؛ عبدالمی و نصیری، ۱۴۰۰: ۶۴). این مدل برای مدل سازی تخریب جنگل در ماساچوست (Schneider and Pontius, 2001: 83-94)، کاستاریکا (Pontius et al., 2001: 1-13)، هند (Pontius and Pacheco, 2004: 325-334) و برزیل (Brown et al., 2007: 1001-1026) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، برخی از محققین از این مدل در مدل سازی تغییرات شهری استفاده و نتایج موفقیت آمیزی کسب نموده اند (Cabral and Zamyatin, 2006; Poelmans and Romoae, 2009: 10-19). در ایران این مدل برای مدل سازی تغییرات کاربری و پوشش زمین (ناصری راد

^۱ - Geri

^۲ - Kamyab

^۳ - Ghorbannia Kheybari

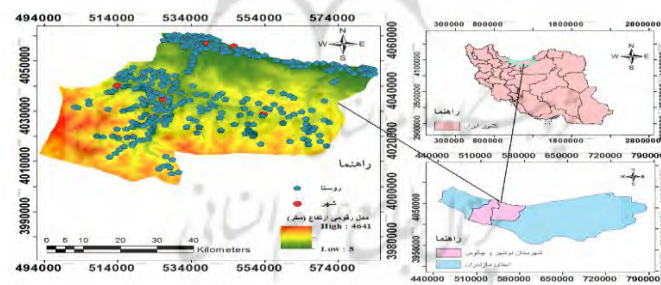
و همکاران، ۱۴۰۰)، توسعه شهری (Soffianian and Ahmadi Nadoushan, 2010؛ شایسته و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۴-۶۴)، مدل سازی تغییرات اراضی کشاورزی و توسعه آن (Andaryani et al., 2021: 1-12) و مدل سازی تغییرات اراضی جنگلی (نوذری و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۶۳-۴۷۶؛ Abdollahi & Nasiri, 2021: 141-151؛ نصیری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۷۱-۱۸۹) استفاده شده است.

جنگل های شهرستان های نوشهر و چالوس (جزوه جنگلهای هیرکانی) از مناطق مهم و در عین حال بحرانی از نظر تغییر کاربری اراضی و کاهش سطح عرصه های جنگلی در استان مازندران به شمار می رود و به همین دلیل برای بررسی بیشتر، مورد توجه مسئولان و بخش های تحقیقاتی قرار گرفته است. در مطالعه حاضر، از مدل Geomod جهت مدل سازی روند تغییرات کاربری اراضی جنگل های شهرستان های چالوس و نوشهر در استان مازندران در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۴۳۰ استفاده خواهد شد. به این منظور، ابتدا مدل سازی شرایط در دو دور زمانی ۱۳۶۸-۱۳۷۹ و ۱۳۷۹-۱۴۰۰ انجام شد. سپس، شرایط آینده منطقه پیش بینی می گردد. پیش بینی شرایط آینده می تواند امکان کنترل تغییرات آینده اراضی و در نتیجه مدیریت مناسب منطقه را امکان پذیر نماید.

۴. روش پژوهش

۴.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در این مطالعه، شهرستان نوشهر و چالوس می باشد. این شهرستان ها در حدود ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و ۳۶ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی قرار گرفته اند. شهرستان چالوس از شمال به دریای خزر، از جنوب به شهرستان کرج و از غرب به شهرستان های عباس آباد و کلاردشت و از شرق به شهرستان نوشهر متصل می باشد. این شهرستان دارای دو بخش مرکزی و مرزن آباد، چهار دهستان و سه شهر تابعه چالوس، مرزن آباد و هچی رود است و مساحت آن حدود ۱۶۸۴/۱۴۹ کیلومتر مربع می باشد. شهرستان نوشهر در سمت شرقی شهرستان چالوس واقع شده است. این شهرستان از شمال به دریای خزر، از جنوب به شهرستان نور و چالوس، از شرق به شهرستان نور و از غرب به شهرستان چالوس محدود می گردد. این شهرستان دارای دو بخش مرکزی و کجور، شش دهستان و سه شهر تابعه نوشهر، پول (نوشهر) و کجور است و مساحت آن حدود ۱۵۹۷/۸۸۵ کیلومتر مربع می باشد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۴.۲. داده های مورد استفاده

برای انجام پژوهش از سنجنده های TM و ETM⁺ لندست ۵ و ۷ استفاده شد. تصویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ مربوط به تاریخ ۱۹۸۹/۷/۲۰، تصویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ مربوط به تاریخ ۲۰۰۰/۷/۵ و تصویر سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷ مربوط به تاریخ ۲۰۲۱/۷/۲۷ (هر سه تصویر به شماره گذر و ردیف ۳۴-۱۶۵). داده های ماهواره ای به فرمت GeoTIFF در هفت باند طیفی تهیه شدند که از باند ۶ به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا (۶۰ متر) و عدم پرداختن به ویژگی های حرارتی پدیده ها در این تحقیق، استفاده نشد. با این توضیح که ابتدا، تصاویر مورد نیاز از سازمان زمین شناسی آمریکا در خواست و در سطح تصحیحات L1T از سایت مربوط دریافت شد. مشخصات تصاویر استفاده شده در جدول شماره ۱ آمده است. سایر داده های مورد نیاز در مطالعه شامل نقشه توپوگرافی، نقشه شبکه آبراهه ها، نقشه های موضوعی نشان

دهنده راهها و روستاها با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران تهیه گردید. از نقشه‌های مذکور به منظور کنترل هندسی تصاویر ماهواره‌ای، تهیه مدل رقومی زمین، استخراج لایه راهها و نیز به عنوان راهنما در کارهای میدانی استفاده شد. به علاوه نقشه‌های پوشش گیاهی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جنگلها و مراتع، نظر کارشناسان و داده‌های حاصل از بازدید میدانی به عنوان اطلاعات جانبی در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی هر چه دقیق‌تر بکار گرفته شد. در ضمن، از نرم‌افزارهای ENVI 5.3، IDRISI Terrset و ArcGIS 10.4 برای پردازش داده‌ها، بارزسازی، مدل سازی و خروجی گرفتن و از روش حداکثر احتمال^۱ برای طبقه‌بندی کاربری‌ها و مدل LCM برای پیش‌بینی تغییرات استفاده شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر استفاده شده در تحقیق

سنجنده	ردیف	گذر	تاریخ	مینا	سطح تصحیحات
TM	۳۴	۱۶۵	۱۹۸۹/۷/۲۰	WGS84	*L1T
TM	۳۴	۱۶۵	۲۰۰۰/۷/۵	WGS84	L1T
ETM ⁺	۳۴	۱۶۵	۲۰۲۱/۷/۲۷	WGS84	L1T

*این سطح از تصحیحات شامل تصحیح رادیومتری در سطح سیستماتیک، تصحیح هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی و همچنین خطای جابجایی ناشی از توپوگرافی منطقه می‌شود.

۳.۴. روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در ای تحقیق به طور کلی به دو دست عمده قابل تقسیم می‌باشند که عبارتند از: داده‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی در دوره‌های مختلف که این داده‌ها شامل تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه می‌باشند و داده‌هایی که برای تشریح عوامل مؤثر بر تخریب جنگل با تاکید بر تغییرات کاربری اراضی از آنها استفاده شده که از این داده‌ها با نام متغیرهای (فاکتورهای) مؤثر بر تغییرات یاد می‌شود. همچنین روشهای به کار گرفته شده در این تحقیق به سه دست کلی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند که عبارتند از:

الف) روش مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای که برای این کار از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال شده بهره‌گیری شده است؛ ب) روش مورد استفاده برای بررسی متغیرهای (فاکتورهای) مؤثر بر تغییرات و تهیه نقشه احتمال تخریب که در این مرحله از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است؛ ج) روش به کار رفته در پیش‌بینی روند تغییر کاربری اراضی در دوره‌های آتی که برای ای کار از مدل ژنومد استفاده شده است، که در شکل ۲ فرایند انجام کار نشان داده شده است.



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

در ادامه به معرفی مراحل مختلف مدل سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی پرداخته می‌شود:

¹. Maximum Likelihood

۱.۳.۴. بررسی کیفیت تصاویر

قبل از هر گونه تجزیه و تحلیل و پردازش، داده‌ها از نظر وجود خطای هندسی و رادیومتری بررسی شد. داده‌ها در سطح L1T دریافت شد، اما به منظور اطمینان از عدم خطا، با نمایش تک‌تک باندها و همچنین ترکیب‌های رنگی مختلف بر روی صفحه نمایش رایانه و با بزرگ‌نمایی قسمت‌های مختلف این تصاویر، داده‌های هر سه زمان از لحاظ خطاهای رادیومتری مانند راه‌راه شدگی بررسی شد. برای بررسی وضعیت هندسی تصاویر و اطمینان از مناسب بودن هندسه تصاویر، لایه‌های برداری جاده‌ها و آبراهه‌ها از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و بر روی تصاویر ماهواره‌ای قرار داده شد.

۲.۳.۴. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و آشکارسازی تغییرات

از آنجا که تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد ولی نمایش داده‌های حاصل از اسکنرها در تک باندها با استفاده از گام خاکستری^۱ است، تصویر رنگی کاذب^۲ هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲۳۴ به ترتیب با رنگ‌های مادون قرمز، قرمز و سبز تولید شد (Khoi and Murayama, 2010: 1249-1272). این تصاویر به تجسم انواع کاربری‌ها در منطقه کمک می‌کنند. از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی استفاده شد. اولین گام در انجام دادن یک طبقه‌بندی نظارت شده، تعریف مناطقی است که به مثابه نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شوند (Eastman, 2006). برای این مرحله با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده سازمان نقشه‌برداری کشور (<http://www.ncc.org.ir>)، نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شدند (Rafiee et al., 2009: 431-438). شش کلاس کاربری اراضی در منطقه تعریف شدند: جنگل، مرتع، بایر، شهر، کشاورزی و تالاب. سپس نمونه‌های تعلیمی به شیوه رقومی کردن روی صفحه رایانه رقومی شدند. در مرحله دوم، نمونه‌های تعلیمی تفکیک شدند و مرحله سوم طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است (Eastman, 2006) که از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شد (Schulz et al., 2010: 436-447). در نهایت برای حذف قطعات کوچک و ساده‌سازی تصاویر حاصل از طبقه‌بندی‌ها از فیلتر مد^۳ استفاده شد. آشکارسازی تغییرات کاربری زمین، فرایند شناسایی تغییرات ایجاد شده در کاربری زمین در یک فاصله زمانی مشخص است. در این مطالعه، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای آشکارسازی تغییرات کاربری زمین استفاده شد. در این روش، نخست تصاویر ماهواره‌ای مربوط به چند سال مختلف طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد فرایند آشکارسازی تغییرات کاربری زمین با مقایسه نقشه‌های کاربری زمین تهیه شده، انجام گرفت (Andaryani et al., 2021: 1-12; Nasiri et al., 2019: 171-189). در پژوهش حاضر، نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۴۰۰ با استفاده از تصاویر ذکر شده در جدول ۱ تهیه شدند. سپس، این نقشه‌ها برای اجرای عملیات آشکارسازی تغییرات در دو بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۷۹ و ۱۳۷۹-۱۴۰۰ مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه برای اجرای فرایند آشکارسازی تغییرات از ماژول Crosstab در نرم‌افزار Idrisi Terrset استفاده شد.

۳.۳.۴. مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک

کاربرد رگرسیون لجستیک تعیین احتمال وقوع هر یک از سطوح متغیر کیفی دو حالت بر اساس متغیرهای مستقل می‌باشد و شرایط استفاده از آن به گونه‌ای است که متغیر وابسته حتماً یک متغیر دو حالت است. رگرسیون لجستیک روش آماری متعلق به گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم یافته است که با استفاده از متغیرهای مستقل، احتمال وقوع یک حادثه را مورد پیش‌بینی قرار می‌دهد. نکته مهم و اصلی در رگرسیون لجستیک این است که متغیر وابسته یک متغیر دو حالت است، یعنی اینکه می‌تواند فقط عدد صفر به معنی عدم وقوع و یک به معنی وقوع رویداد باشد. در مورد تهیه نقشه حساسیت یا احتمال تغییر کاربری (تخریب)، هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته (تغییر کاربری یا تخریب) و مجموعه گروه‌هایی از متغیر مستقل است. رگرسیون لجستیک از روش برآورد حداکثر احتمال (MLE)^۴ برای پیدا کردن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را بهتر برازش می‌کنند، استفاده می‌کند. خروجی مدل،

¹ - Gray level

² - False color

³ - Mode

⁴ Maximum Likelihood Estimation

ضریب‌های بین ۰ و ۱ خواهد داشت که از طریق تئوری فازی به احتمالات بالاتر از ۰/۵ ارزش ۱ (تغییر) و کمتر از ۰/۵ ارزش صفر (عدم تغییر) می‌دهد و نقشه بولین تخریب را تولید می‌کند. رگرسیون با این فرض بکار می‌رود که احتمال یک بودن متغیر وابسته از منحنی لگاریتمی پیروی می‌کند و مقدار آن توسط رابطه (۱) تخمین زده می‌شود ((Eastman, 2012):

$$P(y = 1|X) = \frac{\exp(\Sigma BX)}{1 + \exp(\Sigma BX)} \quad (1)$$

P: احتمال یک بودن متغیر وابسته، X: متغیر مستقل، B: پارامترهای برآورده شده و Y: متغیر وابسته
مدل بدست آمده با استفاده از درصدی از نقاط بر گرفته شده از نقشه اولیه تخریب به روش‌های نمونه‌برداری سیستماتیک یا تصادفی طبقه‌بندی شده به صورت ارائه آماره‌های ROC و Pseudo-R² (مشخصه نسبی اجرایی) ارزیابی شود. Pseudo-R² برابر ۰/۲ به عنوان برازش مناسب در نظر گرفته می‌شود. ROC آماره‌ی مناسبی برای ارزیابی اعتبار مدل است و می‌توان از آن برای مقایسه تصویر مدل سازی شده با تصویر واقعی تخریب استفاده کرد. ارزش ۱ نشان‌دهنده توافق مکانی کامل و ارزش ۰/۵ نشان‌دهنده توافق کم مدل با واقعیت است (Clark and Peter, 1986).

۴.۳.۴. تهیه نقشه متغیرهای مؤثر بر تغییرات کاربری جنگل

امروزه فعالیت‌های انسانی اصلی‌ترین نیروی اثرگذار در تغییرات کاربری و پوشش زمین می‌باشد (et al., 2018: 597-607; Irmadi)، از این رو، ترکیب عوامل انسانی در کنار عوامل زیست فیزیکی در استخراج الگوهای تغییرات کاربری زمین، بسیار با اهمیت است. بر این اساس، در این مطالعه از متغیرهای فیزیکی شامل لایه‌های شیب، جهت و ارتفاع، فاصله از حاشیه جنگل و متغیرهای جایگزین اجتماعی-اقتصادی شامل لایه‌های فاصله از روستاها، فاصله از جاده‌ها و فاصله از مناطق مسکونی شهر در مدل سازی استفاده شد. متغیرهای استفاده شده در تحقیق حاضر در اغلب مطالعات مدل سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شوند. به عنوان مثال، نزدیکی به جاده و شهر و حاشیه جنگل/غیرجنگل در جنوب کامرون متغیرهای مهمی در مدل سازی تغییرات جنگل گزارش شده‌اند (Mertens and Lambin, 1999: 48-52). ارتفاع و نزدیکی به جاده نیز عوامل مهمی در تغییرات جنگل در زمین‌های کم ارتفاع سوماترا تشخیص داده شدند (Linkie et al., 2004: 1809-1818). همچنین در مطالعه سچولز^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، شیب و نزدیکی به جاده‌های اصلی تاثیر معنی‌داری را در تغییرات پوشش گیاهی نشان دادند. در این تحقیق طبقات ارتفاعی، شیب و جهت، به عنوان عوامل طبیعی مؤثر در تغییرات و فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از شهر و فاصله از حاشیه جنگل به عنوان نقش عوامل انسانی در وقوع تغییرات مدنظر قرار گرفت. در این راستا نقشه عوامل فوق با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.4 و IDRISI Terrset در محیط GIS تهیه شده و جهت تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ برای تهیه مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده شد. لایه شیب و جهت با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع فوق تولید شد. برای تهیه هر یک از نقشه‌های مشخصه‌های انسانی از جمله فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از شهر، فاصله از جنگل و اراضی کشاورزی از لایه‌های رقومی موجود (<http://www.ncc.org.ir>) استفاده شد و این نقشه‌ها به ساختار رستری تبدیل شدند تا برای استفاده در تجزیه و تحلیل‌های مکانی مناسب باشند. لازم به یادآوری است که با استفاده از توابع فاصله‌ای^۲ لایه‌های فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از روستا و شهر و خطوط ارتفاعیتهیه و به طبقات معین طبقه‌بندی گردیدند.

۵.۳.۴. مدل سازی در GEOMOD

مدل GEOMOD محل‌هایی را که احتمال تغییر در کاربری و پوشش زمین آنها وجود دارد، با استفاده از سه دستورالعمل تصمیم‌گیری تعیین می‌کند. این دستورالعمل‌ها شامل سه موردی هستند که در ادامه می‌آیند. ۱- عواملی که بر این تغییرات اثر می‌گذارند و اثر عوامل مؤثر بر ایجاد تغییرات کاربری و پوشش زمین را در مدل سازی تغییرات اعمال می‌کند. ۲- تصویر اشکوب‌بندی شده که از تقسیمات ناحیه‌ای مانند تقسیمات کشوری (مثلا مرز شهرستانها) جهت انجام فرایند مدل سازی در هر یک از مرزها استفاده می‌کند و در این محدوده‌ها وضعیت تغییرات کاربری یا پوشش زمین را به طور جداگانه تعیین می‌نماید و

^۱- Schulz

^۲-Distance

۳- نزدیکترین همسایه که در هر یک از مراحل زمانی، تبدیل کاربری یا پوشش زمین را برای مناطقی که روی مرز هستند، تعیین می کند (Eman and Bharti., 2022: 1-15; Pontius and Malanson, 2005: 243-265). مثلاً برای اراضی جنگلی، تبدیل از پیکسل های جنگلی به غیر جنگل با توجه به پیکسل های همسایه بررسی می شود (Pontius et al., 2001: 1-13). دستورالعمل سوم در واقع قوانین همسایگی را شامل می شود. محققان می توانند به طور اختیاری از هر یک از این سه دستورالعمل استفاده کنند (Pontius et al., 2001: 1-13). پس از آشکارسازی تغییرات کاربری زمین و تهیه نقشه های عوامل مؤثر بر ایجاد تغییرات کاربری زمین، فرایند مدل سازی تغییرات در دو مرحله زمانی ۱۳۶۷-۱۳۷۹ و ۱۳۷۹-۱۴۰۰ انجام گردید. برای اجرای مدل GEOMOD باید نقشه تناسب و یا نقشه احتمال تغییر تهیه شود. این نقشه، میزان احتمال هر پیکسل را برای تغییر با توجه به متغیرهای مستقل مورد بررسی نشان می دهد و مقادیر بالا در این نقشه نشان دهنده مناطق با احتمال بالاتر برای تغییر است. نقشه تناسب را با استفاده از روش رگرسیون لجستیک یا روش MCE می توان تهیه نمود. در این مطالعه از روش رگرسیون لجستیک جهت تهیه نقشه تناسب استفاده خواهد شد. متغیر وابسته در مدل GEOMOD، لایه نوع کاربری زمین مورد نظر در سال شروع مدل سازی است که این لایه از نقشه کاربری زمین منطقه استخراج گردید. مدل GEOMOD یک روش اعتبارسنجی داخلی دارد که به صحت و اعتبار بیشتر نتایج حاصل از آن کمک می نماید. همچنین، اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل سازی در دوره های زمانی مورد نظر با استفاده از ماژول VALIDATE انجام و میزان صحت مدل با استفاده از معیار کاپا بررسی شد. این معیار، مقداری بین صفر و یک دارد و هر چه میزان آن بیشتر باشد، مدل اجرا شده، از صحت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۶.۳.۴. پیش بینی (شبیه سازی) شرایط آینده کاربری اراضی در GEOMOD

برای پیش بینی شرایط آینده اراضی نیاز به یک نقشه زمان شروع فرایند مدل سازی و نقشه تناسب تغییر است. ضمن این که در مدل سازی شرایط آینده از آن جا که وضعیت کاربری زمین در سال نهایی مدل سازی موجود نیست، در این مدل تعداد پیکسل تغییر یافته در فاصله زمانی که پیش بینی برای آن صورت می گیرد، به مدل معرفی می شود و مدل با استفاده از دو تصویر ذکر شده و تعداد پیکسل های تغییر یافته، شرایط آینده کاربری های مورد مطالعه را پیش بینی می نماید. در این مطالعه شرایط آینده اراضی در دو فاصله زمانی ۱۳۷۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۳۰ پیش بینی شدند. فرض براین بوده است که در آینده نیز همین روند ادامه خواهد داشت.

۷.۳.۴. ارزیابی صحت طبقه بندی و پیش بینی مدل

برآورد صحت برای درک نتایج به دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم گیری خیلی مهم هستند. معمول ترین پارامترهای برآورد دقت شامل، دقت کل^۱ و ضریب کاپا^۲ هستند (Lu et al., 2004: 2365-2407). در این مطالعه جهت تعیین نقاط واقعیت زمینی از برداشت زمینی، نرم افزار گوگل ارث، عکس های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ استفاده شده است. برای این منظور، صحت نقشه های تولید شده کاربری اراضی سال های ۱۳۶۸، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ با تفسیر تصاویر رنگی کاذب و مناطقی که طی زمان تغییر نکرده بودند، ارزیابی شدند و سپس ماتریس خطا، کاپای کل و دقت کل محاسبه شدند (Yuan et al., 2005: 317-328).

۵. یافته های پژوهش و بحث

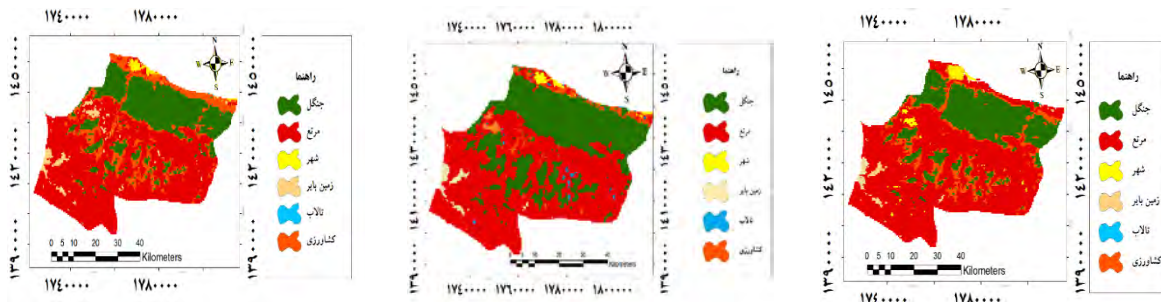
۵.۱. طبقه بندی کاربری اراضی

نتایج بررسی کیفیت رادیومتری و کنترل هندسی تصاویر نشان داد که تصاویر هر سه سال از کیفیت مطلوب برخوردارند و هیچ کدام از خطاهای شناخته شده رادیومتری را ندارند. همچنین تصاویر با لایه های برداری جاده ها و آبراه ها کاملاً همخوانی مکانی دارند و به تصحیح هندسی مجدد نیاز ندارند. همچنین، طبقه بندی تصاویر با استفاده از طبقه بندی حداکثر احتمال نشان

^۱ -Overall accuracy

^۲ -Kappa Coefficient

داد که شش طبقه کاربری اراضی شامل جنگل، مرتع، شهر، زمین بایر، تالاب و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد (اشکال ۳، ۴ و ۵).



شکل ۳. نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۶۸ شکل ۴. نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۷۹ شکل ۵. نقشه پوشش اراضی سال ۱۴۰۰

جدول ۲. مساحت و درصد طبقات مختلف پوشش اراضی بر حسب هکتار در سال های مورد مطالعه

سال/کلاس	جنگل	مرتع	شهر	زمین بایر	کشاورزی	تالاب
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد
۱۳۶۸	۱۱۹۹۵۳	۳۶/۵۴	۱۳۸۱۴۰	۴۲/۰۱	۲۸۱۲۰	۸/۵۷
					۲۱۷۴	۰/۷۰
					۳۹۷۱۱	۱۲/۱
					۱۰۵	۰/۳۰
۱۳۷۹	۱۱۷۱۶۲	۳۵/۷۰	۱۴۰۸۴۱	۴۳	۳۲۶۸۱	۹/۹۵
					۲۱۷۴	۰/۷۳
					۴۰۰۱۴	۱۲/۱۹
					۱۰۶	۰/۳۰
۱۴۰۰	۱۰۵۰۴۸	۳۲	۱۴۴۳۵۶	۴۴	۴۱۷۶	۱۰/۱۱
					۴۲۴۱۷	۰/۷۷
					۱۲/۹۲	۱۱۰
					۱۱	۰/۳۰

در جدول ۲ مساحت و درصد مساحت طبقات پوشش اراضی و در جدول ۳ تغییرات طبقات پوشش اراضی آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی پوشش اراضی در سال ۱۳۶۸ مساحت کلاس اراضی جنگل، مرتع، شهر، زمین بایر، کشاورزی و تالاب به ترتیب ۱۱۹۹۵۳ هکتار معادل ۳۶/۵۴ درصد، ۱۳۸۱۴۰ هکتار معادل ۴۲/۰۱ درصد، ۲۸۱۲۰ هکتار معادل ۸/۵۷ درصد، ۲۱۷۴ هکتار معادل ۰/۷۰ درصد، ۳۹۷۱۱ هکتار معادل ۱۲/۱ درصد، ۱۰۵ هکتار معادل ۰/۳۰ درصد بوده است. در سال ۱۳۷۹ مساحت کلاس پوشش اراضی جنگل ۱۱۷۱۶۲ هکتار معادل ۳۵/۷۰ درصد، مرتع ۱۴۰۸۴۱ هکتار معادل ۴۳ درصد، شهر ۳۲۶۸۱ هکتار معادل ۹/۹۵ درصد، زمین بایر ۲۱۷۴ هکتار معادل ۰/۷۳ درصد، کشاورزی ۴۰۰۱۴ هکتار معادل ۱۲/۱۹ درصد و تالاب ۱۰۶ هکتار معادل ۰/۳۰ درصد بوده است. در نهایت در سال ۱۴۰۰ طبقه جنگل مساحتی در حدود ۱۰۵۰۴۸ هکتار معادل ۳۲ درصد، طبقه مرتع مساحتی حدود ۱۴۴۳۵۶ هکتار معادل ۴۴ درصد، طبقه شهر مساحتی حدود ۳۳۲۰۶ هکتار معادل ۱۰/۱۱ درصد، طبقه زمین بایر ۴۱۷۶ هکتار معادل ۰/۷۷ درصد، طبقه کشاورزی ۴۲۴۱۷ هکتار معادل ۱۲/۹۲ درصد و طبقه تالاب با مساحت ۱۱۰ هکتار معادل ۰/۳۰ درصد بوده است.

جدول ۳. تغییرات طبقات پوشش اراضی بر حسب درصد

سال/کلاس	جنگل	مرتع	شهر	زمین بایر	کشاورزی	تالاب
۱۳۶۸-۱۳۷۹	-۰/۸۴	۰/۹۹	۱/۲۳۸	۰/۰۳	۰/۰۹	۰
۱۳۷۹-۱۴۰۰	-۳/۷	۱	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۷۳	۰

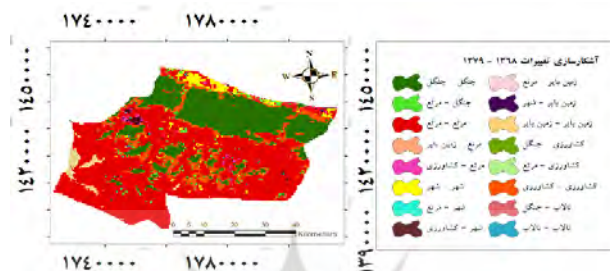
بررسی تغییرات پوشش گیاهی در بازه زمانی تحقیق نیز انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده است. بر اساس نتایج به دست آمده، تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۳۶۸ - ۱۳۷۹، طبقه جنگل ۰/۸۴ - درصد کاهش مساحت را نشان می دهد و برای کلاس مرتع، شهر، زمین بایر و کشاورزی به ترتیب ۰/۹۹، ۱/۳۸، ۰/۰۳، ۰/۰۹ درصد افزایش مساحت داشته اند. در بازه زمانی ۱۳۷۹ - ۱۴۰۰ نیز حدود ۳/۷ - درصد کاهش مساحت در طبقه جنگل مشاهده شد. طبقه مرتع ۱ درصد، طبقه شهر ۰/۱۶ درصد، زمین بایر ۰/۰۴ درصد و کشاورزی ۰/۷۳ درصد روند افزایش مساحت دارا بوده اند.

۲.۵. ارزیابی صحت طبقه‌بندی‌ها

نتایج به‌دست آمده برای آزمون صحت طبقه‌بندی پوشش اراضی سال ۱۳۶۸ نشان دهنده دقت کل ۹۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۳ می‌باشد. برای سال ۱۳۷۹ دقت کل و ضریب کاپا به ترتیب ۹۳ درصد و ۰/۸۱ به‌دست آمد. برای سال ۱۴۰۰، دقت کل ۹۱ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۴ برآورد شد.

۳.۵. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۹ در شکل ۶ و جدول ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج آمده از کل مساحت طبقه جنگل در حدود ۶۹۴۲۰ هکتار بدون تغییر باقی مانده است و ۴۱۳۹۴ هکتار از طبقه جنگل به مرتع تبدیل شده است. از کل مساحت طبقه مرتع، ۴۲۳۶۶ هکتار به طبقه جنگل و ۱۹۷۵، ۲۱۸۲ و ۱۹۱۴ هکتار به ترتیب به طبقه بایر، کشاورزی و تالاب تبدیل شده‌اند.

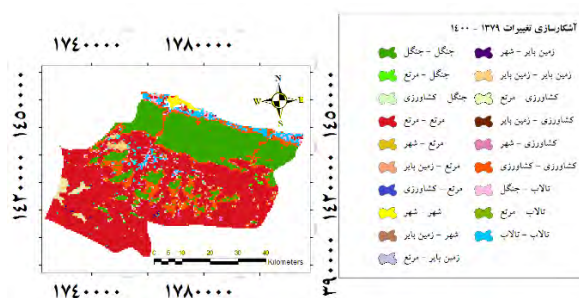


شکل ۶. آشکارسازی تغییرات بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۷۹

جدول ۴. تغییرات رخ داده برای هر کدام از طبقات پوشش اراضی در بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۰ بر حسب هکتار

۱۳۶۸ - ۱۳۷۹	جنگل	مرتع	شهر	زمین بایر	کشاورزی	تالاب	مجموع
جنگل	۶۹۴۲۰	۴۱۳۹۴	۰	۰	۰	۰	۱۱۰۸۱۵
مرتع	۴۲۳۶۶	۹۱۰۳۱	۰	۲۱۸۲	۱۹۷۵	۱۹۱۴	۱۶۹۴۶۸
شهر	۰	۳۰۱	۵۱۳۸	۰	۹۳۷۱	۰	۱۴۸۱۰
زمین بایر	۰	۴۹۳	۱۴۱۱	۱۱۸۴۸	۰	۰	۱۳۷۵۲
کشاورزی	۳۸۰۰	۴۲۰۲	۰	۰	۵۴۰۰	۰	۱۳۴۰۲
تالاب	۵۴۴۳	۰	۰	۰	۰	۴۹۳	۵۹۵۶

نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۴۰۰ در شکل ۷ و جدول ۵ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از مجموع کل مساحت جنگل، ۹۸۷۳ هکتار به طبقه مرتع تبدیل شده است. در رابطه با طبقه پوششی مرتع ۱۳۰۲۰۷ هکتار بدون تغییر، ۳۳۳ هکتار به شهر، ۷۶۴۷ هکتار به اراضی بایر و ۷۸۶۳ هکتار به کشاورزی تبدیل شده است.



شکل ۷. آشکارسازی بازه زمانی ۱۳۹۰ - ۱۴۰۰

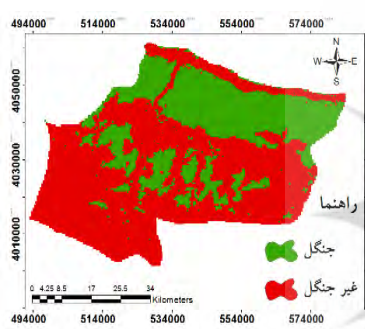
جدول ۵. تغییرات رخ داده برای هر کدام از طبقات پوشش اراضی در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۴۰۰ بر حسب هکتار

۱۳۷ - ۱۴۰۰	جنگل	مرتع	شهر	زمین بایر	کشاورزی	تالاب	مجموع
جنگل	۹۹۰۷۸	۹۸۷۳	۰	۰	۱۲۰۸	۰	۱۱۰۱۵۹
مرتع	۰	۱۳۰۲۰۷	۳۳۳	۷۶۴۷	۷۸۶۳	۰	۱۴۶۰۵۰
شهر	۰	۰	۱۱۱۲۲	۱۰۷۸	۰	۰	۱۲۲۰۰
زمین بایر	۰	۱۳۴۰	۲۲۲۹	۱۱۰۵۲	۰	۰	۱۴۶۲۱
کشاورزی	۰	۵۲۳	۲۱۰	۳۴۵	۱۶۱۶۸	۰	۱۷۲۴۶
تالاب	۱۲۴۵۰	۱۱۰۵۴	۰	۰	۰	۴۴۱۶	۲۷۹۲۰

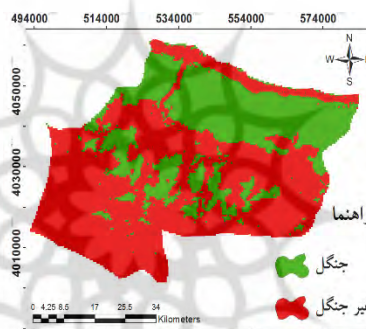
۴.۵. مراحل مدل سازی تخریب جنگل

مرحله ۱- تهیه نقشه پوشش اراضی

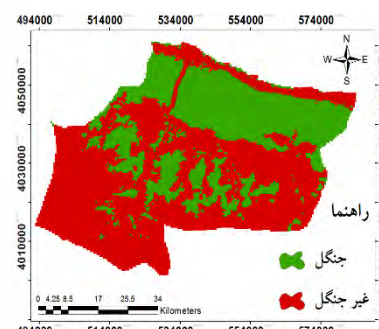
به منظور تهیه نقشه های پوشش جنگل (متشکل از دو طبقه مناطق پوشیده از جنگل و مناطق غیرجنگل) برای منطقه مورد مطالعه از نقشه های پوشش اراضی سال های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۴۰۰ که در شکل ۳، ۴ و ۵ آورده شده بودند، استفاده شد. با این تفاوت که کلاس اراضی مرتع، بایر، کشاورزی، تالاب و شهر با یکدیگر تلفیق شده و کلاس اراضی غیرجنگل تولید شد که در شکل های ۸، ۹ و ۱۰ آورده شده اند.



شکل ۱۰. نقشه پوشش جنگل ۱۴۰۰



شکل ۹. نقشه پوشش جنگل ۱۳۷۹



شکل ۸. نقشه پوشش جنگل ۱۳۶۸

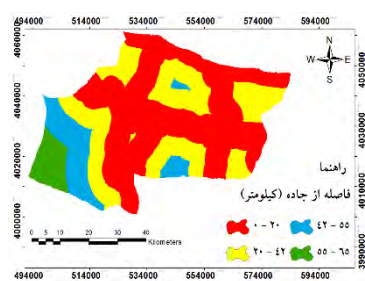
جدول ۶ ارزیابی صحت طبقه بندی تصاویر ماهواره ای در سال های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۴۰۰ را نشان می دهد. بر اساس این جدول، طبقه بندی با صحت کل بالای ۹۱ درصد و ضریب کاپای ۸۷ درصد انجام شده است که نشان دهنده دقت بالای طبقه بندی است.

جدول ۶- ارزیابی صحت طبقه بندی تصاویر ماهواره ای در سال های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۴۰۰

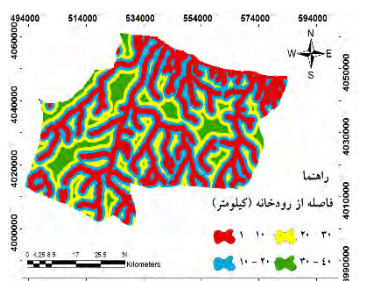
نقشه کاربری اراضی	ضریب کاپا	صحت کل (درصد)
۱۳۶۸	۰/۸۸	۹۲
۱۳۷۹	۰/۹۱	۹۴
۱۴۰۰	۰/۸۷	۹۱

۵.۵. متغیرهای ورودی به مدل رگرسیون لجستیک

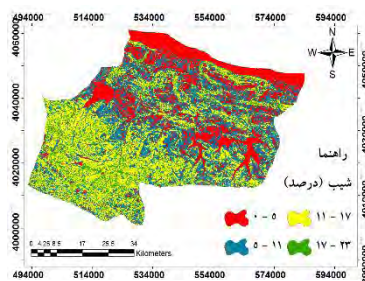
به منظور بررسی میزان و نحوه اثر متغیرها از مدل رگرسیون لجستیک که یک مدل آماری است، استفاده گردید. نقشه متغیرهای ورودی که دلایل احتمالی تغییر (تخریب) جنگل را بر اساس آنها می‌توان توجیه کرد، در شکل‌های ۱۱ تا ۱۸ نشان داده شده است. متغیرهای شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از شهر به عنوان متغیرهای ورودی مدل انتخاب شدند.



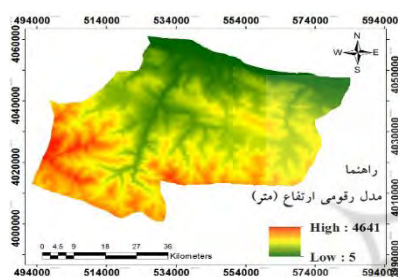
شکل ۱۳. فاصله از جاده منطقه



شکل ۱۲. فاصله از رودخانه



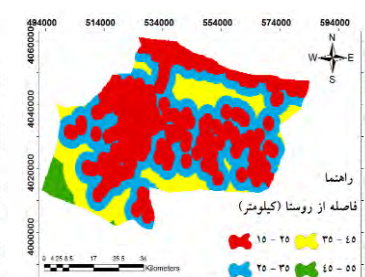
شکل ۱۱. شیب منطقه



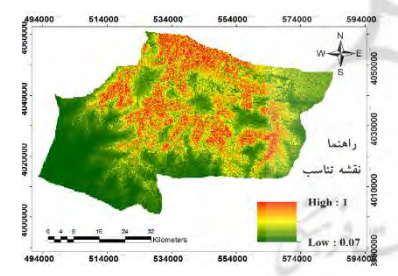
شکل ۱۶. نقشه ارتفاع



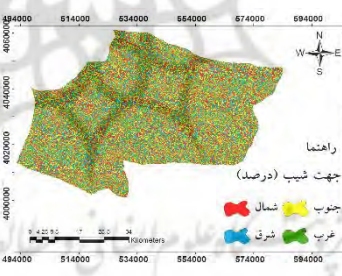
شکل ۱۵. فاصله از شهر منطقه



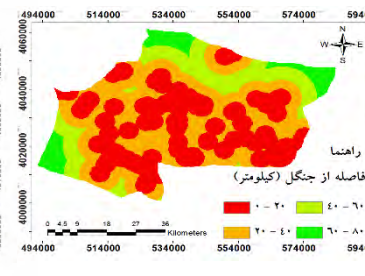
شکل ۱۴. فاصله از روستا



شکل ۱۹. نقشه تناسب ۱۳۷۹-۱۴۰۰



شکل ۱۸. نقشه جهت شیب



شکل ۱۷. فاصله از جنگل منطقه

قبل از اجرای فرایند مدل‌سازی، نیاز به تعیین و تهیه نقشه‌های متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی است. با استفاده از متغیرهای مورد استفاده نقشه تناسب تهیه شد (شکل ۱۹). نقشه تناسب با روش رگرسیون لجستیک و با توجه به ارتباط بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته تهیه و مدل با استفاده از نقشه تناسب و اعمال قوانین همسایگی در پنجره سه در سه اجرا گردید. نقشه تناسب برای شبیه‌سازی تغییر کاربری (تخریب جنگل) استفاده می‌شود. جدول ۷ ضرایب متغیرهای مستقل و عرض از مبدأ را در مدل رگرسیون لجستیک برای تغییرات سطح جنگل نشان می‌دهد. این ضرایب، وزن متغیرهای مذکور را در احتمال یک شدن تغییر وابسته یا همان احتمال حضور پوشش جنگلی را نشان می‌دهد. منفی بودن ضرایب نشان دهنده رابطه معکوس میان این عامل با احتمال حضور جنگل است یا به عبارتی، هر چه ضرایب کمتر باشند تأثیر بیشتری بر احتمال نبود پوشش جنگلی یا تخریب جنگل دارند، بدین معنی که به دلیل کوهستانی بودن منطقه، شیب و فاصله از روستا و شهر نسبت به بقیه عوامل‌ها بیشترین تأثیر را بر احتمال تخریب جنگل دارد (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج مدل رگرسیون لجستیک دوره‌های مورد مطالعه

متغیر مستقل	دوره ۱۳۶۸-۱۳۷۹	دوره ۱۳۷۹-۱۴۰۰
ضریب	ضریب	ضریب
ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۰
جهت شیب	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۴
فاصله تا روستا	-۰/۰۴۲۸	-۰/۰۳۲۳
فاصله از حاشیه جنگل	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۶۷
فاصله تا شهر	-۰/۰۳۲۲	-۰/۰۳۲۵
فاصله تا جاده	-۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۵
شیب زمین	-۰/۰۱۰۰	-۰/۰۲۴۳
فاصله تا رودخانه و ابراهه	-۰/۰۰۲۲	-۰/۰۰۰۳۳
ضریب معادله رگرسیون (عرض از مبدأ)	-۵/۴۸۲۳	-۷/۴۹۲۲

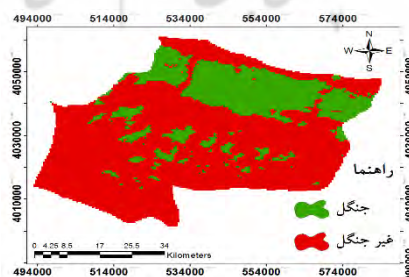
ارزیابی عملکرد رگرسیون لجستیک با استفاده از دو شاخص $Pseudo-R^2$ و ROC با مقادیر به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۸۵ برای دوره اول و ۰/۳۵ و ۰/۸۷ برای دوره دوم، نشان دهنده توافق نسبی مدل بدست آمده با تغییرات واقعی و توانایی مناسب مدل در برآورد تغییرات جنگل در ۳۲ سال گذشته است (جدول ۸).

جدول ۸. ارزیابی صحت رگرسیون لجستیک

دوره زمانی	تغییرات	آماره لجستیک‌های ارزیابی صحت مدل رگرسیون
		منحنی آماره نسبی (ROC) Pseudo-R ²
۱۳۶۸-۱۳۷۹	جنگل	۰/۸۵ ۰/۳۴
۱۳۷۹-۱۴۰۰	جنگل	۰/۸۷ ۰/۳۵

۵.۶. مدل سازی تغییرات با Geomod و بررسی صحت نقشه پیش‌بینی (سال ۱۴۰۰)

مدل Geomod در دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۴۰۰ با استفاده از نقشه تناسب تهیه آمده (شکل ۱۹) برای مناطق جنگلی به روش رگرسیون لجستیک اجرا گردید. با استفاده از نقشه قابلیت یا تناسب به دست آمده در مرحله قبل و مشخص نمودن میزان تغییر در هر یک از کاربریها، نقشه کاربری اراضی جنگلی سال ۱۴۰۰ با استفاده از مدل GEOMOD شبیه‌سازی شد. اعتبار مدل GEOMOD در شبیه‌سازی تغییرات از طریق مقایسه نقشه واقعی کاربری اراضی سال ۱۴۰۰ و شبیه‌سازی شده سال ۱۴۰۰ تعیین شد. نقشه پیش‌بینی کاربری جنگل برای سال ۱۴۰۰ در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰. نقشه پیش‌بینی پوشش کاربری جنگل برای سال ۱۴۰۰

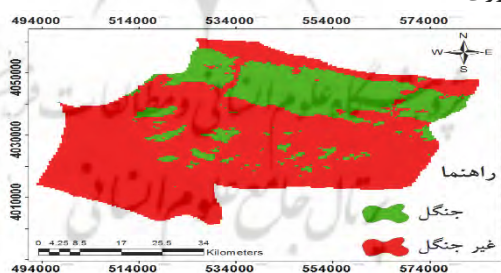
همانگونه که نقشه تناسب تغییر (شکل ۱۹) نشان می‌دهد، محل‌های با ارزش بالاتر احتمال بیش‌تری برای تخریب دارند و نقشه حاصل از اجرای مدل Geomod (شکل ۲۰) نیز مبین همین موضوع است. فرایند اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی با محاسبه معیارهای کاپا انجام شد. مقادیر معیارهای کاپای استاندارد، کاپای محل و K_{no} در دوره زمانی ۱۳۶۸-۱۳۷۹، به

ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۶ و ۰/۹۳ و در دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۴۰۰، به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۹۵ و ۰/۹۲ بدست آمدند. بالا بودن مقادیر این معیارها، توانایی مناسب مدل Geomod را برای مدل سازی الگوی مکانی تغییرات اراضی جنگلی در منطقه تایید می نمایند. لاندیز و کوک (۱۹۷۷) معیار را در چند طبقه مطابق با جدول (۹) رتبه بندی نمودند (Landis & Koch, 1977: 159-174). بنابراین با توجه به این طبقه بندی، کاپای بدست آمده در این مطالعه در طبقه صحت (توافق) قوی قرار دارد که توانایی بالای مدل را در این منطقه مطالعاتی با داده های مورد استفاده تایید می نماید.

جدول ۹. طبقات معیار کاپا بر اساس طبقه بندی لاندیز و کوک (۱۹۷۷)

مقدار کاپا	رتبه بندی
بیشتر از ۰/۸	صحت قوی
۰/۸-۰/۶	صحت خوب
۰/۶-۰/۴	صحت متوسط
کمتر از ۰/۴	صحت ضعیف

مرحله ۲- پیش بینی شرایط آینده اراضی جنگلی (سال ۱۴۳۰)
 نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که این مدل توانایی خوبی در مدل سازی تغییرات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه دارند. بنابراین، در مرحله بعد شرایط آینده اراضی با استفاده از این مدل برای سال ۱۴۳۰ پیش بینی شد. به این منظور برای پیش بینی اراضی جنگلی در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۴۳۰، مدل Geomod با استفاده از نقشه تناسب تهیه شده برای کاهش اراضی جنگلی در دوره ۱۳۷۹-۱۴۰۰ و نیز با استفاده از تعداد پیکسل های کاهش یافته این دوره اجرا گردید. شکل ۲۱ نقشه پیش بینی شرایط آینده اراضی جنگلی حاصل از اجرای مدل Geomod در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۴۳۰ را نشان می دهد؛ همانطور مساحت و درصد مساحت اراضی جنگلی در سال ۱۴۳۰ در جدول ۱۰ نشان داده است. مطابق این نقشه و جدول، مساحت جنگل در سال ۱۴۳۰ هکتار پیش بینی می شود که حدود ۱۵۰۴۷ هکتار نسبت به سطح آن در ۱۴۰۰ کاهش می یابد. روند تخریب کلی طبقه پوشش جنگل در سالهای بین ۱۳۶۸-۱۳۷۹، ۱۳۷۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۳۰ به ترتیب ۱۴۴۷۳، ۱۹۳۸۰ و ۱۵۰۴۷ برآورد می شود. همان طور که ملاحظه می فرمایید، اراضی جنگلی در منطقه مورد مطالعه دارای روند کاهشی هستند. بنابراین اقدامات مدیریتی برای حفظ این اراضی ضروری است.



شکل ۲۱. نقشه پیش بینی شده پوشش کاربری جنگل برای سال ۱۴۳۰

جدول ۱۰. مساحت و درصد طبقات پوشش کاربری جنگل در سال ۱۴۳۰ بر حسب هکتار

سال/کلاس		جنگل		غیر جنگل	
		مساحت	درصد	مساحت	درصد
۱۳۶۸		۱۴۰۰۰۳	۴۲/۶۶	۱۸۸۲۰۰	۵۷/۳۴
۱۳۷۹		۱۲۵۵۳۰	۳۸/۲۵	۲۰۲۶۷۳	۶۱/۷۵
۱۴۰۰-واقعیت		۱۰۶۱۵۰	۳۲/۳۴	۲۲۲۰۵۳	۶۷/۶۶
۱۴۰۰-پیش بینی		۱۰۰۱۰۳	۳۰/۹۸	۲۲۳۱۰۰	۶۹/۰۲
۱۴۳۰		۹۱۱۰۳	۲۷/۷۶	۲۳۷۱۰۰	۷۲/۲۴

۶. نتیجه گیری

مدیریت اصولی منابع طبیعی در مناطق مختلف برای به حداقل رساندن خسارت های زیست محیطی ناشی از تغییر کاربری، نیازمند در اختیار داشتن اطاعات مربوط به تغییر کاربری است. این اطاعات شامل آشکارسازی تغییرات در گذشته و ارزیابی تغییرات اکوسیستم و همچنین پیش بینی تغییرات در بلندمدت است تا بر مبنای تغییرات احتمالی، راهکارهای مدیریتی مناسب در مناطق ارائه و اعمال شود. در این تحقیق، تغییرات کاربری در گذشته مورد بررسی قرار گرفت و همچنین کارایی مدل Geomod در مدل سازی و پیش بینی پوشش ارزیابی شد. در این راستا با آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی منطقه در ۳۲ سال گذشته، دوره زمانی ۱۳۶۸-۱۴۰۰، تغییرات پوشش جنگلی برای ۳۰ سال آینده، دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۴۳۰، پیش بینی و شبیه سازی شده است. برای این منظور از تصاویر سنجنده TM مربوط به Landsat5 برای سال های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۹ و تصاویر سنجنده ETM⁺ مربوط به سال ۱۴۰۰ استفاده شد. مقادیر معیارهای کاپای استاندارد، کاپای محل و Kno در بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۴۰۰، به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۶ و ۰/۹۳ بدست آمدند. بالا بودن مقادیر این معیارها، توانایی مناسب مدل Geomod را برای مدل سازی الگوی مکانی تغییرات اراضی جنگلی در منطقه تایید می نمایند.

در این پژوهش، نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات برای اراضی جنگلی نشان داد که این اراضی در دوره زمانی ۱۳۶۸-۱۳۷۹ حدوداً ۱۴۴۷۳ هکتار و ۱۳۷۹-۱۴۰۰ حدوداً ۱۹۳۸۰ هکتار کاهش یافته اند. همانطور نتایج نشان داد در دوره ۱۴۰۰-۱۴۳۰ نیز مساحت جنگل ها با کاهش ۱۵۰۴۷ هکتاری روبرو خواهد شد. این امر بیان میکند که تخریب اراضی جنگلی در منطقه با گذشت زمان رو به افزایش است. اگر این روند ادامه یابد، در آینده شاهد وضعیت نامناسب و اسفبار اراضی جنگلی در این منطقه خواهیم بود. پژوهش های انجام شده در نقاط مختلف کشور بر کاهش سطح مناطق جنگلی در دهه های آتی دلالت دارند (قربانیان و خیبری، ۲۰۱۷؛ نوروزی و همکاران، ۱۳۹۹). رضانی و جعفری در منطقه اسفراین (۱۳۹۳)، جویباریان شوشتری در منطقه نکارورد (۱۳۹۶)، رستمی کیا و شریفی در منطقه جنگلی فندقلو (۱۳۹۷) از بخش عمده تبدیل جنگل به کشاورزی و مناطق مسکونی را گزارش کردند که با نتایج روند کاهشی پوشش جنگل در این پژوهش مطابقت دارد. دلیل کاهش وسعت جنگل، توسعه فعالیت های اجتماعی - اقتصادی در این منطقه و در واقع فرایند تغییر کاربری زمین است. بخش عمده این تغییرات به دلیل تبدیل اراضی جنگلی به مناطق مسکونی و نیز تبدیل این اراضی به اراضی کشاورزی بوده است. این امر ضرورت انجام اقدامات مدیریتی را برای جلوگیری از تخریب اراضی جنگلی در منطقه نشان میدهد. در غیر این صورت اراضی جنگلی منطقه در آینده های نه چندان دور به شدت تخریب شده و کاهش خواهند یافت. مرادی و پاکیده (۲۰۱۳) در پژوهش خود کاهش پوشش جنگلی و افزایش ساخت و ساز و اراضی کشاورزی را گزارش دادند. میلیس^۱ و همکاران (۲۰۱۱) بخش عمده تبدیل جنگل به مسکونی و کشاورزی را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

ارزیابی عملکرد رگرسیون لجستیک با استفاده از دو شاخص Pseudo-R² و ROC با مقادیر به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۸۵ برای دوره اول و ۰/۳۵ و ۰/۸۷ برای دوره دوم، نشان دهنده توافق نسبی مدل بدست آمده با تغییرات واقعی و توانایی مناسب مدل در برآورد تغییرات جنگل در ۳۲ سال گذشته در این منطقه است؛ که نشان می دهد روش مورد استفاده در این پژوهش، به طور نسبی روشی مناسب برای تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش جنگل به شمار می آید. باقری و شتایی (۲۰۱۰) در مدل سازی کاهش گستره جنگل با استفاده از رگرسیون لجستیک در حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان با دستیابی به ROC برابر ۰/۷۲ و Pseudo-R² برابر با ۰/۱۱، مدل رگرسیون لجستیک به کاررفته را با به کارگیری متغیرهای مستقل شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده و مقدار جمعیت، برای برآورد کاهش گستره جنگل مناسب ارزیابی کردند. در مدل ارائه شده در این بررسی و هم در مدل ارائه شده توسط باقری و شتایی (۲۰۱۰)، متغیرهای شیب و فاصله از روستا با مقدار تخریب جنگل رابطه عکس دارند؛ و به عبارتی با افزایش شیب در هر دو منطقه، مقدار تخریب جنگل کاهش یافته و تخریب در اطراف روستاهای و شهرها بیشتر است؛ بنابراین، برای کاهش روند تخریب جنگل و جلوگیری از کاهش سطح عرصه های جنگلی در دهه های آتی، الزام است حداقل، تمرکز مدیریت منابع جنگل و جنگلداری در مناطق پرجمعیت اطراف روستاها و شهرها و مشارکت روستاییان

در طرح‌های حفاظت و احیاء جنگل با اهمیت بیشتری در دستور کار واحدهای اجرایی و مدیریتی در بخش جنگل و حفاظت محیط زیست شهرستان‌های نوشهر و چالوس قرار گیرد.

۷. حامیان پژوهش

این پژوهش حمایت مالی نداشته است.

۸. مشارکت نویسندگان

این مقاله تک نفره بوده و حاصل کار یک نفر می‌باشد.

۹. تعارض منافع

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ گونه تضاد منافی با فرد دیگری ندارد.

۱۰. تقدیر و تشکر

نویسنده بدین وسیله از همه کسانی که به نوعی در انجام این پژوهش یاری رسانده‌اند، قدردانی مینمایند

منابع

- اسماعیلی، علی، اشجعی، حمید. (۱۳۹۸). مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی با استفاده از مارکوف و GIS (مطالعه موردی: استان قم). جغرافیا و آمایش فضایی سرزمین. ۹ (۳۱)، صص. ۱۵۳-۱۷۲.
- احمدی‌ندوش، مژگان و سفیانیان، علیرضا. (۱۳۸۸). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی شهر اراک. همایش ژئوماتیک ۸۸. سازمان نقشه برداری کشور. تهران.
- امینی، محمدرشد؛ شتایی، شعبان؛ معیری، محمد هادی و غضنفری، هدایت ... (۱۳۸۵). بررسی تغییرات گستره جنگل زاگرس و ارتباط آن با عوامل فیزیوگرافی و انسانی با استفاده از GIS و RS، مطالعه موردی: جنگل‌های آرمیده بانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گروه جنگلداری.
- باقری، رضا، و شتایی، شعبان. (۱۳۸۹). مدل‌سازی کاهش سطح جنگل‌ها با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل چای، استان گلستان)، جنگل/ایران، ۲ (۳)، صص. ۲۴۳-۲۵۲.
- جوباریان شوشتری، شریف؛ شایسته، کامران؛ غالمعلی فرد، مهدی؛ آذری، محمود و خوان ایگناسیو، لوپز مورنو (۱۳۹۶). قشر سنجه‌های سیمای سرزمین و فرایندهای مکانی تغییر در ارزیابی کارایی مدل GEOMOD (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکا رود). جغرافیا و پایداری محیط، ۷ (۲۴)، صص. ۶۳-۷۳.
- حیدریزادی، زاهده و محمدی بهبهانی، علی (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی مدل‌های Geomod و LCM در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت ابوغویر دهلران، استان ایلام). تحقیقات مرتع و بیابان/ایران، ۳ (۳)، صص. ۶۶۰-۶۷۳.
- رستمی‌کیا، شریفی و یونس، جابر (۱۳۹۷). فندقلو بزرگترین ذخیره‌گاه جنگلی صندوق ایران را دریابید. طبیعت/ایران، ۳ (۶)، صص. ۹۰-۹۹.
- رضانی، جعفری و نفیسه، رضا (۱۳۹۳). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌های CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین). تحقیقات جغرافیایی، ۲۹ (۴)، صص. ۸۴-۹۵.
- زارع گاریزی، آرش، شیخ، واحد، سعدالدین، امیر، و ماهینی، سلمان. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی تغییرات مکانی-زمانی وسعت جنگل برای حوزه آبخیز چهل چای (استان گلستان)، با استفاده از مدل تلفیقی CA-Markov. تحقیقات جنگل و صنوبر/ایران، ۲۰ (۲)، صص. ۲۷۳-۲۸۵.
- شایسته، کامران، عابدیان، سحر و گلدوی، سمیه. (۱۳۹۷). مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از روش رگرسیون لجستیک مبتنی بر مدل Geomod مطالعه موردی: شهر کردکوی. جغرافیا و توسعه، ۱۶ (۵۱)، صص. ۴۴-۶۴.
- عبداللهی، سحر و نصیری، وحید. (۱۳۹۰). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات جنگل‌ها در استان گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ژئومد. پژوهش و فناوری محیط زیست. ۵ (۷)، صص. ۱۴۱-۱۵۱.
- قربانیاں خیبری، وجیهه؛ میرسنجری، میرمهرداد و آرمین، محسن (۱۳۹۶). پیش‌بینی تغییرات کاربری جنگل در حوزه آبخیز چالوس رود، ه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸ (۲)، صص. ۷۹-۹۱.

- کامیاب، حمیدرضا، ماهینی، سلمان، حسینی، سید محسن و غلامعلی فرد، مهدی. (۱۳۸۹). اتخاذ رویکرد مبتنی بر اطلاعات با استفاده از روش رگرسیون لجستیک برای مدل سازی توسعه شهری در گرگان. *بوم‌شناسی*، ۳۶ (۵۴): ۸۹-۹۶.
- مرادی، سحر و پاهکیده، اقبال. (۱۳۹۲). بررسی علل تغییرات اراضی جنگلی و غیرجنگلی با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: قلمرو قراردادی روستای جوجار کرمانشاه - ایران)، *علوم زیستی*، ۱۰ (۳): ۵۶۶-۵۷۳.
- ناصری راد، سهیلا، نقوی، حامد، سوسنی، جواد، نورالدینی، احمدرضا، و وفایی، ساسان. (۱۳۹۰). بررسی پتانسیل انتقال کاربری و پوشش اراضی با استفاده از روش‌های یادگیری مبتنی بر نمونه وزنی تشابه، رگرسیون لجستیک و ژنومد (مطالعه موردی: حوزه بسطام، شهرستان سلسله). *علوم و فناوری محیط زیست*، ۲۲ (۱۱): ۱۲۱-۱۳۳.
- نصیری، وحید، درویش صفت، علی، اصغر، شیروانی، انوشیروان، و عوافی، محمد. (۲۰۱۹). آشکارسازی و مدل سازی تغییرات جنگل در ارسباران با استفاده از رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف و مدل ژنومد. *فضای جغرافیایی*، ۱۹ (۶۵)، صص. ۱۷۱-۱۸۹.
- نوذری، فاطمه؛ صالحی، علیرضا و فرزین، محسن (۱۳۹۹). پیش بینی تغییرات پوشش جنگلی منطقه بویراحمد با استفاده از مدل GEOMOD جنگل، ۶ (۳)، صص. ۴۶۳-۴۷۶.
- Adedeji, O.H., Tope-Ajayi, O.O., & Abegunde, O.L. (2015). Assessing and Predicting Changes in the Status of Gambari Forest Reserve, Nigeria Using Remote Sensing an GIS Techniques, *Journal of Geographic Information System*, 7: 301-318.
- Andaryani, S., Sloan, S., Nourani, V., & Keshtkar, H. (2021). The utility of a hybrid GEOMOD-Markov Chain model of land-use change in the context of highly water-demanding agriculture in a semi-arid region. *Ecological Informatics*. Vol 64: 1-12.
- Brown, S., Hall, M., Andrasko, K., Ruiz, F., Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., DeJong, B., & Cornell J. (2007). Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(6): 1001-1026.
- Cabral, P., Zamyatin, A. (2006). Three land change models for urban dynamics analysis in SintraCascais area. In: *Proceedings of First Workshop of the EARSEL SIG on Urban Remote Sensing: Challenges and solutions. Humboldt-Universität zu Berlin*, 2-3 March.
- Clark, W.A.V., Peter, L.H. (1986). *Statistical Methods for Geographers*. 1st Edition. Chichester:
- DeFries, R., Belward, A. (2000). Global and regional land cover characterization from satellite data: an introduction to the Special Issue. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-1): 1083-1092.
- Eastman, J.R. (2012). Idrisi Production, Clark Labs-Clark University IDRISI Selva Tutorial.
- Eastman, J.R. (2006). IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Echeverria, C., Coomes, D.A., Hall, M., & Newton, A.C. (2008). Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling*, 212(3): 439-449.
- Eman A.A., Bharti, W.G. (2022). Modeling Land Use Change in Sana'a City of Yemen with MOLUSCE. *Journal of Sensors*. Vol 2022: 1-15.
- Fraser, R.H., Abuelgasim, A., & Latifovic, R. (2005). A method for detecting large-scale forest cover change using coarse spatial resolution imagery, *Remote Sensing of Environment*, 95: 414-427.
- Galdavi, S., Mohammadzadeh, M., Salman Mahini, A., & Najafi Nejad, A. (2013). Urban Change Detection Using Multi-Temporal Remotely Sensed imagery (Case study: Gorgan Area, Northern Iran). *Environment & Urbanization ASIA*. Vol 4: 339-348.
- Geri, F., Amici, V., & Rocchini, D. (2011). Spatiallybased accuracy assessment of forestation prediction in a complex Mediterranean landscape. *Journal of Applied Geography*, 31 (3): 881-890
<http://www.ncc.org.ir>
- Irmadi, N., Turmudi, R.W., Jaka, S., Ratna, S.D., & Sri, L. (2018). Comparing of Land Change Modeler and Geomod Modeling for the Assessment of Deforestation (Case Study: Forest Area at Poso Regency, Central Sulawesi Province). *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS)*. Vol. 4. No 8: 597-607.
- Khoi, D.D., Murayama, Y. (2010). Forecasting areas vulnerable to forest conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam, *Journal of Remote Sensing*, Vol. 2, pp. 1249-1272.
- Landis, J., Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. Vol 33: 159-174.
- Linkie, M., Smith, R.J. Smith., & Leader-Williams, N. (2004). Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*. 13 (10), 1809-1818.
- Lo, C.P., Quattrochi, D.A. (2003). Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69: 1053-1063.
- Mallinis, G., Emmanouloudis, D., Giannakopoulos, V., Maris, F., & Koutsias, N. (2011). Mapping and interpreting historical land cover/land use changes in a Natura 2000 site using earth observational data: The case of Nestos delta, Greece, *Applied geography*, 31(1): 312-320.
- Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., & DeJong, B. (2007). Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Mitig Adapt Start Glob Change*. Vol. 12: 1001- 1026.

- Mas, J.F., Melanie, K., Martin, P., Mara, T., Camacho, O., & Thoma, H. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling and Software*, 94-111.
- Pickard, B., Gray, J., & Meentemeyer, R. (2017). Comparing Quantity, Allocation and Configuration Accuracy of Multiple Land Change Models. *Land*. Vol 6. No 52: 1-21.
- Pijanowski, B., Pithadia, S., Shellito, B., & Alexandridis, K. (2005). Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States. *International Journal of Geographical Information Science*, 19 (2), 197-215.
- Poelmans, L., Romoae, A.V. (2009). Detection and modeling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flanders region. *Landscape and Urban Planning*. (93): 10-19.
- Pontius J.r, R.G., Pacheco, P. (2004). Calibration and validation of model of forest disturbance in the western ghats, India 1920- 1990. *Geo Journal*. Vol. 61: 325-334.
- Pontius J.r, R.G., Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 19. No. 2: 243-265.
- Pontius J.r, R.G. Cornell, J.D., & Hall, C.A.S. (2001). Modeling the spatial pattern of land- use change with GEOMOD2: Application and validation for Costa Rica. *Agriculture Ecosystems & Environment*. Vol. 1775: 1-13.
- Pontius, R.G, Cornell, J.D., & Hall, C.A. (2001). Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1): 191-203
- Pontius, R.G., Schneider, L.C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1): 239-248.
- Pontius, R.G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8): 1011-1016.
- Pontius, R.G. (2002). Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(10): 1041-1050.
- Rafiee, R., Salman Mahiny, A., & Khorasani, N. (2009). Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11: 431-438.
- Russell-Smith, J., Yates, C., Edwards, A., Allen, G.E., Cook, G.D., Cooke, P., Craig, R., Heath, B., & Smith, R. (2003). "Contemporary fire regimes of northern Australia, 1997-1380: change since Aboriginal occupancy, challenges for sustainable management," *International Journal of Wildland Fire*, 12: 283-297.
- Schneider, L.C., Pontius, J.r. (2001). Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture Ecosystems & Environment*. Vol. 85: 83-94.
- Schulz, J.J., Cayuela, C., Echeverria, C., Salas, J., & Rey Benayas, J.M. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008), *Applied Geography*, 30: 436-447.
- Selvalakshmi, S., Jayakumar, S. (2018). EFFECTIVENESS OF PROTECTED AREAS IN MAINTAINING THE FOREST COVER: A MODELING APPROACH USING GEOMOD. " *Sciencia Acta Xaveriana an International Science Journal*, ISSN. 0976-1152. 9(1). 35-44.
- Soffianian, A., Ahmadi Nadoushan, M. (2010). Modelling urban changes using Geomod Model in Arak, Iran. *3rd International Conference on Cartography and GIS*. 15-20 June. Nessebar, Bulgaria.
- Wiley - Merten, B., Lambin, E.F. (1997). spatial modeling of tropical deforestation in southern Cameroon: spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17(2), 143-162.

References

- Abdollahi, S., Nasiri, V. (2021). Forest change Detecting and predicting in Gilan province using satellite images and geomed. *Environmental research and technology*. 7(5): 141-151. [In Persian].
- Adediji, O.H., Tope-Ajayi, O.O., & Abegunde, O.L. (2015). Assessing and Predicting Changes in the Status of Gambari Forest Reserve, Nigeria Using Remote Sensing an GIS Techniques, *Journal of Geographic Information System*, 7: 301-318.
- Ahmadi-Ndosh, M., Sufianian, A. (2008). Revealing and predicting the changes in the land cover of Arak city. *88th Geomatic Conference*. Country Mapping Organization. Tehran. [In Persian]
- Amini, M.R., Shtai, S., Muairi, M.H., & Ghazanfari, H. (2006). Investigation of Zagros forest extent changes and its relationship with physiographic and anthropogenic factors using GIS and RS, case study: Armarde Baneh forests. *Master's Thesis in Forestry, under the guidance of Dr. Shatai, Gorgan University*, 157 p. [In Persian]
- Andaryani, S., Sloan, S., Nourani, V., & Keshtkar, H. (2021). The utility of a hybrid GEOMOD-Markov Chain model of land-use change in the context of highly water-demanding agriculture in a semi-arid region. *Ecological Informatics*. 64: 1-12.
- Bagheri, R., & Shataee, S.H. (2010). Modeling forest areas decreases, using logistic regression (case study: Chehl-Chay catchment, Golestan province), *Iranian Journal of Forest*, 2(3): 243-252. [In Persian]
- Brown, S., Hall, M., Andrasko, K., Ruiz, F., Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., DeJong, B., & Cornell J. (2007). Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(6): 1001-1026.

- Cabral, P., Zamyatin, A. (2006). Three land change models for urban dynamics analysis in SintraCascais area. In: Proceedings of First Workshop of the EARSEL SIG on Urban Remote Sensing: Challenges and solutions. Humboldt-Universität zu Berlin, 2-3 March.
- Clark, W.A.V., Peter, L.H. (1986). Statistical Methods for Geographers. 1st Edition. Chichester:
- DeFries, R., Belward, A. (2000). Global and regional land cover characterization from satellite data: an introduction to the Special Issue. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-1): 1083-1092.
- Eastman, J.R. (2006). IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Eastman, J.R. (2012). Idrisi Production, Clark Labs-Clark University IDRISI Selva Tutorial.
- Echeverria, C., Coomes, D.A., Hall, M., & Newton, A.C. (2008). Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling*, 212(3): 439-449.
- Eman A.A., Bharti, W.G. (2022). Modeling Land Use Change in Sana'a City of Yemen with MOLUSCE. *Journal of Sensors*. Vol 2022: 1-15.
- Fraser, R.H., Abuelgasim, A., & Latifovic, R. (2005). A method for detecting large-scale forest cover change using coarse spatial resolution imagery, *Remote Sensing of Environment*, 95: 414-427.
- Galdavi, S., Mohammadzadeh, M., Salman Mahini, A., & Najafi Nejad, A. (2013). Urban Change Detection Using Multi-Temporal Remotely Sensed imagery (Case study: Gorgan Area, Northern Iran). *Environment & Urbanization ASIA*. 4: 339-348.
- Geri, F., Amici, V., & Rocchini, D. (2011). Spatiallybased accuracy assessment of forestation prediction in a complex Mediterranean landscape. *Journal of Applied Geography*, 31(3): 881-890
- Ghorbanian Khyberi, W., Mirsengari, M.M., & Armin, Mohsen. (2016). Prediction of forest use changes in Chalus River watershed, *Journal of Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*, 8(2). pp. 79-91. [In Persian]
- Heydarizadi, Z., Mohammadi Behbahani, A. (2018). Evaluating the effectiveness of Geomod and LCM models in simulating land use changes (case study: Abu Ghoir plain, Dehhran, Ilam province). *Scientific Journal of Pasture and Desert Research in Iran*, 62(3), Pages 660-673. [In Persian]
- <http://www.ncc.org.ir> [In Persian]
- Irmadi, N., Turmudi, R.W., Jaka, S., Ratna, S.D., & Sri, L. (2018). Comparing of Land Change Modeler and Geomod Modeling for the Assessment of Deforestation (Case Study: Forest Area at Poso Regency, Central Sulawesi Province). *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS)*. 4(8): 597-607.
- Joybarian Shushtri, S., Shaishte, K., Gholamali Fard, M., Azari, M., & Juan Ignacio, L.M. (2016). The stratum of land surface parameters and spatial processes of change in evaluating the efficiency of the GEOMOD model (case study: Neka River watershed). *Geography and environmental sustainability*, 24: 73-63. [In Persian]
- Kamyab, H., Mahini, S., Hosseini, A., & Gholamalifard, M. (2010). Adoption of informationbased approach using logistic regression methodology for modeling urban development in Gorgan. *Journal of Ecology*, 36(54): 89-96. [In Persian]
- Khoi, D.D., Murayama, Y. (2010). Forecasting areas vulnerable to forest conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam, *Journal of Remote Sensing*, 2: 1249-1272.
- Landis, J., Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33: 159-174.
- Linkie, M., Smith, R.J. Smith., & Leader-Williams, N. (2004). Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*. 13(10), 1809-1818.
- Lo, C.P., Quattrochi, D.A. (2003). Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69: 1053-1063.
- Mallinis, G., Emmanoulidis, D., Giannakopoulos, V., Maris, F., & Koutsias, N. (2011). Mapping and interpreting historical land cover/land use changes in a Natura 2000 site using earth observational data: The case of Nestos delta, Greece, *Applied geography*, 31(1): 312-320.
- Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., & DeJong, B. (2007). *Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects*. Mitig Adapt Start Glob Change. 12: 1001- 1026.
- Mas, J.F., Melanie, K., Martin, P., Mara, T., Camacho, O., & Thoma, H. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling and Software*, 94-111.
- Mertens, B., and Lambin, E.F. (1999). Modelling land cover dynamics: integration of fine-scale land cover data with landscape attributes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 1: 48-52 pp.
- Moradi, S., Pahlkideh, E. (2013). Studying the causes of changes in forest and non-forest land using RS and GIS (Case study: conventional territory of Joojar village Kermanshah - Iran), *Life Science Journal*, 10(3): 566-573. [In Persian]
- Naseri Rad, S., Naghavi, H., Soosani, J., Nouredini, A.R., & Vafaei, S. (2021). Investigating the transmission potential of land use and land cover using Similarity Weighted Instance based Learning, Logistic regression and Geomod methods (Case study: Bastam basin, Selseleh city). *Journal of environmental science and technology*. 22(11). 121-133. [In Persian]
- Nasiri, V., Darvishsefat, A.A., Shirvani, A., & Avatefi, H. (2019). Forest change detecting and modeling in Arsbaran using regression Logistic, Markov chain and geomed model. 19(65): 171-189. [In Persian]

- Nozari, F., Salehi, A., & Farzin, M. (2020). Prediction of forest cover changes in Boyar Ahmad region using GEOMOD model. *Jungle scientific research quarterly*, 6(3), 463-476. [In Persian]
- Pickard, B., Gray, J., & Meentemeyer, R. (2017). Comparing Quantity, Allocation and Configuration Accuracy of Multiple Land Change Models. *Land*, 6(52): 1-21.
- Pijanowski, B., Pithadia, S., Shellito, B., & Alexandridis, K. (2005). Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 197-215.
- Poelmans, L., Romoae, A.V. (2009). Detection and modeling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flanders region. *Landscape and Urban Planning*, 93: 10-19.
- Pontius Jr, R.G. Cornell, J.D., & Hall, C.A.S. (2001). Modeling the spatial pattern of land- use change with GEOMOD2: Application and validation for Costa Rica. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 1775: 1-13.
- Pontius Jr, R.G., Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2): 243-265.
- Pontius Jr, R.G., Pacheco, P. (2004). Calibration and validation of model of forest disturbance in the western ghats, India 1920- 1990. *Geo Journal*, 61: 325-334.
- Pontius, R.G, Cornell, J.D., & Hall, C.A. (2001). Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1): 191-203
- Pontius, R.G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8): 1011-1016.
- Pontius, R.G. (2002). Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(10): 1041-1050.
- Pontius, R.G., Schneider, L.C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1): 239-248.
- Rafiee, R., Salman Mahiny, A., & Khorasani, N. (2009). Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11: 431-438.
- Ramezani, J., & Nafiseh, R. (2014). Detecting land use and land cover changes in the 1404 horizon using the CA Markov chain model (case study: Efrain). *Geographical Research Quarterly*, 29(4), 84-95. [In Persian]
- Rostamikia, S., Younes, J. (2017). Find out the largest forest reserve of Fundak in Iran. *Nature of Iran, Ardabil*, 6(13). 7-20. [In Persian]
- Russell-Smith, J., Yates, C., Edwards, A., Allen, G.E., Cook, G.D., Cooke, P., Craig, R., Heath, B., & Smith, R. (2003). "Contemporary fire regimes of northern Australia, 1997-1380: change since Aboriginal occupancy, challenges for sustainable management," *International Journal of Wildland Fire*, 12: 283-297.
- Schneider, L.C., Pontius, Jr. (2001). Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 85: 83-94.
- Schulz, J.J., Cayuela, C., Echeverria, C., Salas, J., & Rey Benayas, J.M. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008), *Applied Geography*, 30: 436-447.
- Shayesteh, K., Abedian, S., & Galdavi, S. (2018). Urban Expansion Modeling Using Logistic Regression Method based on Geomod Model Case study: Kordkuy city. *Journal of geography and development*, 16(51): 44-64. *Journal of geography and development*. [In Persian]
- Smaeily, A., Ashjaei. (2019). Modeling land use change through Markoff and GIS (Case study: Qom Province). *Geography and territorial Spatial Arrangement*, 9(31): 153-172. [In Persian]
- Soffianian, A., Ahmadi Nadoushan, M. (2010). Modelling urban changes using Geomod Model in Arak, Iran. *3rd International Conference on Cartography and GIS*, 15-20 June. Nessebar, Bulgaria.
- Wiley - Merten, B., Lambin, E.F. (1997). spatial modeling of tropical deforestation in southern Cameroon: spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17(2), 143-162.
- Yuan F, Sawaya KE, Loeffelholz BC, Bauer ME (2005) Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sens Environ*. 98(2-3):317-328.
- Zare Garizi, A., Sheikh, V., Sadoddin, A., & Mahiny, S. (2012). Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(2): 273-285. [In Persian]

نحوه استناد به این مقاله:

آرخی، صالح (۱۴۰۴). مدل سازی و پیش بینی خطر تخریب جنگل با مدل Geomod (مطالعه موردی: شهرستان های چالوس و نوشهر) مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی، ۶(۲)، ۸۱-۱۰۱.
DOI: 10.22124/gscj.2025.28143.1314

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to *Geographical studies of Coastal Areas Journal*. 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.

