مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره ده، دی ماه ۱۴۰۲ (۱۶-۱)

پایش و مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی در منطقه گرگان با استفاده از مدل Geomod

سمیه گلدوی[1*]

S.galdavi@kashmar.ac.ir

مرجان محمدزاده[2]

عبدالرسول سلمان ماهینی[3]

علی نجفی‌نژاد[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲

چکیده

زمینه و هدف: سالانه سطح وسیعی از جنگل‌ها به دلیل تبدیل به کاربری‌های دیگری مانند زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی کاهش می‌یابد. اراضی جنگلی شمال ایران نیز از این قاعده مستثنی نیستند و این کاهش در اکثر مناطق دیده شده است. لذا، پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی در منطقه گرگان با استفاده از مدل Geomod انجام شده است.

روش بررسی: در مطالعه حاضر، نخست تغییرات اراضی جنگلی منطقه گرگان در بازه زمانی ۲۰ ساله تعیین و سپس، مدل‌سازی این تغییرات با استفاده از مدل Geomod اجرا گردید. به این منظور، نقشه‌های کاربری زمین بازه‌های مطالعاتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه و آشکارسازی تغییرات با روش مقایسه پس از طبقه‌بندی انجام شد. سپس، مدل Geomod برای مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی اجرا گردید.

یافته‌ها: آشکارسازی تغییرات در دوره‌های زمانی مورد بررسی کاهش گستره اراضی جنگلی را نشان داد. همچنین، نتایج اجرای مدل با کسب کاپا بیش از ۰/۹۹ توانایی مدل را در مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی این منطقه نشان داد. بنابراین، شرایط آینده اراضی جنگلی برای نیز با استفاده از مدل پیش‌بینی شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده کاهش گستره اراضی جنگلی منطقه در دوره زمانی مورد مطالعه بود.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج کاهش گستره اراضی جنگلی منطقه در دوره زمانی مورد مطالعه را نشان داد که دلیل اصلی آن توسعه مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی در منطقه بود. بنابراین، اقدامات مدیریتی و حفاظتی همچون تعیین محدوده اراضی کشاورزی و ممانعت از گسترش آن‌ها، جلوگیری از گسترش روستاها و نیز ممانعت از دسترسی بی‌رویه مردم به عرصه‌های جنگلی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی تغییرات، مدل Geomod، اراضی جنگلی، منطقه گرگان، ایران.

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، مرکز آموزش عالی کاشمر. *(مسوول مکاتبات)

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No.10, January, 2024

Monitoring and modelling of forest changes in Gorgan area using Geomod

Somayeh Galdavi[1*]
S.galdavi@kashmar.ac.ir
Marjan Mohammadzadeh[2]
Abdolrasool Salman Mahiny[3]
Ali Najafi Nejad [4]

Admission Date: November 23, 2023 Date Received: October 24, 2023

Abstract

Background and Objective: Each year, a wide range of forests change to the other uses such as agricultural and residential lands. Forests in northern Iran are no exception, and this decrease has been seen nearly everywhere. Therefore, the research was conducted with the aim of forest changes modeling in Gorgan area using Geomod model.

Material and Methodology: In the present study, forest changes occurred in Gorgan area was detected during 20 years. Then, forest change modeling was performed using Geomod. To do this, land use maps for the study time period were prepared using satellite imagery. Then, change detection process was performed by post-classification comparison technique. The Geomod was run to simulate forest changes in this area.

Findings: Forest change detection and its modelling showed the reduction of forest area in the region. Also, modeling results were validated using kappa indices which resulted in more than 0.99 and indicated model capability in the depicted forest changes in this area. Then, the future condition of forest areas were predicted using the model.

Discussion and Conclusions: Results showed that forest areas have been decreased in this time period that development of residential areas and agricultural lands are the main reason for this. So, managerial and protectoral programs such as determining agricultural lands' boundaries, preventing their expansion, preventing rural expansion, and restricting accessible to forest areas were suggested.

Keywords: Change Modeling, Geomod, Forest areas, Gorgan, Iran.

1- Assistant Professor of Environmental Sciences (Land use Planning). Department of Environmental Sciences and Engineering. Kashmar Higher Education Institute. *(*Corresponding Author*)
2- Associate Professor, Faculty of fisheries and Environmental sciences, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources.
3- Associate Professor, Faculty of fisheries and Environmental sciences, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources.
4- Associate Professor, Faculty of range land and watershed management, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources.

مقدمه

تغییرات کاربری و پوشش زمین به عنوان یک عامل مهم تغییرات جهانی در دهه‌های اخیر مشخص شده است (۱). فعالیت‌های بشر دلیل اصلی تغییرات محیط و بر هم خوردن نظم اکوسیستم‌ها است. از جمله این تحولات می‌توان به تخریب جنگل‌ها و مراتع در سطح وسیع و ایجاد زمین‌های کشاورزی و سایر کاربری‌های مورد نظر بشر اشاره نمود (۲، ۳ و ۴). جنگل یک منبع طبیعی مهم است که باید در الویت حفاظتی برای مدیریت پایدار محیط زیست قرار گیرد (۴). با این حال فعالیت‌های انسانی، فشارهای شدیدی را بر اراضی جنگل اعمال می‌نماید (۵ و ۶) که این امر باعث کاهش چشمگیر وسعت اراضی جنگلی در سراسر جهان شده است (۳ و ۴). این کاهش اثرات زیادی بر وضعیت بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی بر جای می‌گذارد(۵). پیامدهای حاصل از آن شامل انهدام جوامع زیستی (۵، ۶ و ۷)، فرسایش خاک و بیابان‌زایی (۵)، گرمایش جهانی، کاهش درآمد جنگل‌نشینان و نیز تغییر کارکرد اکوسیستم‌ها و تغییرات کمی و کیفی آب‌های سطحی است. این موضوع، اهمیت نقشه‌سازی، کمی‌سازی، پایش و مدل‌سازی تغییرات در خصوصیات فیزیکی پوشش جنگل به عنوان یک عنصر اصلی در درک و مطالعات تغییرات جهانی را نشان می‌دهد (۸).

بررسی تغییرات مکانی و زمانی پدیده‌های سطح زمین مبنایی، برای درک بهتر روابط و ارتباط متقابل بین انسان و پدیده‌های طبیعی برای مدیریت و استفاده بهتر از منابع طبیعی مهیا می‌کند (۳، ۵ و ۸). در این زمینه، استخراج تغییرات رخ داده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به یکی از زیرشاخه‌های مهم در علم جنگلداری تبدیل شده است و ابزاری برای پایش انواع تغییرات در اکوسیستم‌های جنگلی است (۹). همچنین، مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین می‌تواند اطلاعاتی در مورد نحوه تغییرات کاربری زمین طی زمان، عوامل موثر بر ایجاد تغییرات، چگونگی کنترل تغییرات و پیشگیری از تغییرات مخرب و نیز برای تصمیم‌گیری در مورد نحوه استفاده از اراضی ارایه نماید (۵، ۹ و ۱۰). مدل نماینده ساده شده‌ای از کل سیستم است و به عبارتی نمایان‌گر خلاصه ساده شده واقعیت‌هایی است که در یک سیستم وجود دارد. فرآیند مدل‌سازی با بررسی جامع تغییرات ایجاد شده در کاربری زمین و با بررسی پارامترهای موثر بر این تغییرات، ابزاری مهم برای مطالعه تغییرات کاربری زمین محسوب می‌شود (۱۱ و ۱۲). مدل‌ها با توضیح ساز و کارها و دلایل تغییر کاربری زمین به دولت‌ها جهت تنظیم سیاست‌های مناسب کمک می‌نمایند. رهیافت‌های مدل‌سازی متفاوتی برای درک تغییرات کاربری زمین و عوامل موثر بر این تغییرات وجود دارند (۱۳ و ۱۴). یکی از این رهیافت‌ها، در قالب مدل Geomod ارایه شده است. Geomod یک مدل تغییر کاربری زمین است که در اصل برای مدل‌سازی کاهش جنگل‌های گرمسیری (۱۵) و برآورد خروج دی‌اکسیدکربن ناشی از تخریب این جنگل‌ها طراحی شده است (۱۵ و ۱۶). مدل Geomod توسط محققین در کالج علوم جنگل‌داری و محیط‌زیست سانی[1](۷ و ۱۷) و با سرمایه‌گذاری بخش انرژی، برنامه پژوهش دی‌اکسیدکربن[2] و بخش تغییر اقلیم و اتمسفر امریکا[3] توسعه یافته است. پانتیوس و همکاران (۲۰۰۱) تعریف جامعی از Geomod ارایه نموده‌اند: Geomod یک مدل تعیین چگونگی تغییر کاربری زمین است که تغییر یک‌سویه از یک نوع کاربری زمین به نوع دیگر را پیش‌بینی می‌کند. در این مدل دو مولفه وجود دارد: سطح تغییر کاربری زمین و محلی که تغییر کاربری زمین رخ می‌دهد. این مدل محدوده تغییر کاربری زمین را پیش‌بینی می‌کند و سطح تغییر را با مقایسه مساحت به دست آمده از نقشه‌های کاربری زمین چند زمانه برآورد می‌نماید (۱۷). برای به دست آوردن سطح تغییر کاربری زمین، از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه استفاده می‌شود. به طور کلی تغییرات پوشش زمین و کاربری زمین به عنوان نتیجه‌ای از اثرات متقابل بین عوامل اقتصادی- اجتماعی، حقوقی و

1- SUNY College of Environmental Science and Forestry

2- Carbon Dioxide Research Program
3- Atmosphere and Climate Change Division

محیط‌زیستی در نظر گرفته می‌شوند (۱۳ و ۱۸). به این ترتیب، برای مدل‌سازی مناطقی که در آن‌ها تغییر کاربری زمین رخ داده است، این مدل تعدادی از داده‌های مکانی مربوط به عوامل اجتماعی – اقتصادی و زیست فیزیکی را مورد استفاده قرار می‌دهد (۴، ۱۰، ۱۹، ۲۰ و ۲۱).

مدل Geomod برای مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش زمین در مطالعات بسیاری استفاده شده است (۵، ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۲۲، ۲۳؛، ۲۴، ۲۵، 27 و ۲۸). این مدل برای مدل‌سازی تخریب جنگل در ماساچوست (۱۲)، کاستاریکا (۱۷)، هند (۲۵)، برزیل (۲۰) و شیلی (۵) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، برخی از محققین از این مدل در مدل‌سازی تغییرات شهری استفاده و نتایج موفقیت‌آمیزی کسب نموده‌اند (۱۵، ۱۶، ۲۲ و ۲۴). در ایران این مدل برای مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش زمین (۸)، توسعه شهری (۲۲ و ۲۳)، مدل‌سازی تغییرات اراضی کشاورزی و توسعه آن (۲۷) و مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی (۹، ۲۸ و ۲۹) استفاده شده است.

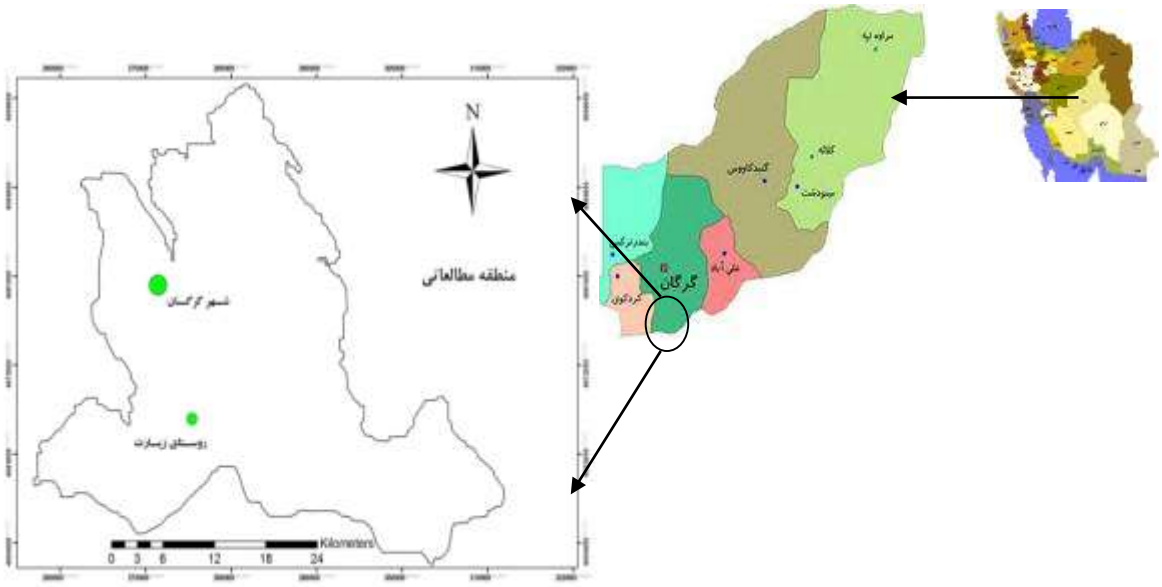
در مطالعه حاضر، از مدل Geomod جهت مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی منطقه گرگان در استان گلستان در دوره زمانی ۲۰۲۵- ۲۰۰۷ استفاده خواهد شد. به این منظور، ابتدا مدل‌سازی شرایط در دو دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ انجام خواهد شد. سپس، شرایط آینده منطقه پیش‌بینی می‌گردد. پیش‌بینی شرایط آینده می‌تواند امکان کنترل تغییرات آینده اراضی و در نتیجه مدیریت مناسب منطقه را امکان‌پذیر نماید (۲).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر در محدوده جغرافیایی ´۳۲ °۳۶ تا ´۲ °۳۷ عرض شمالی و ″۱۲ ۵۴ تا ″۵۸ ۵۴ طول شرقی در استان گلستان قرار دارد. مرز منطقه مطالعاتی، مرز شهرستان است که براساس حوزه آبخیز تصحیح شده است. منطقه مطالعاتی حدود ۱۲۳۲ کیلومتر مربع مساحت دارد و از دو بخش کوهستانی (جنوب منطقه) و بخش دشتی (شمال منطقه) تشکیل شده است. کاربری‌های اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه شامل مناطق مسکونی، اراضی زراعی، اراضی مرتعی، اراضی جنگلی، منابع آبی و اراضی بایر هستند. اراضی جنگلی شامل بخش‌هایی از مناطق جنگلی توسکاستان، محمدآباد، زیارت و شصت‌کلاته است که در جنوب منطقه واقع شده‌اند. مهم‌ترین منطقه مسکونی آن شهر گرگان است که از شهرهای بخش شمالی دامنه ارتفاعات البرز ایران محسوب می‌شود. از آبادی‌های مهم این منطقه می‌توان به روستای زیارت در جنوب شهر گرگان اشاره نمود (شکل ۱).

هدف از انتخاب این منطقه برای مطالعه، تغییرات شدید کاربری زمین در بخش‌هایی از منطقه در سال‌های گذشته است. بخش‌هایی از منطقه نیز از جنبه توریسم تحت توسعه نامناسب قرار گرفته ا ست که سبب شدت گرفتن فرآیندهای ساخت و ساز گسترده و تغییرات کاربری زمین در این منطقه گردیده است. همچنین، تبدیل اراضی جنگلی به کاربری‌های کشاورزی و مسکونی و نیز تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی و تاسیسات انسان‌ساخت در سال‌های اخیر در این منطقه مشاهده شده که این عوامل در انتخاب این منطقه جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین نقش داشته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

Figure 1. situation of the study area

داده‌ها

برای مدل‌سازی تغییرات نخست نیاز به تهیه نقشه‌های کاربری زمین در بازه زمانی مورد مطالعه است (۹). در مرحله بعد، نقشه متغیرهای مستقل و متغیر وابسته تهیه می‌شوند. سپس، متغیرهای مستقل از لحاظ وجود رابطه همبستگی با هم مقایسه و از میان متغیرهای دارای همبستگی، برخی حذف می‌گردند. این امر هم باعث کاهش حجم داده‌ها و کاهش حجم محاسبات مدل‌ها می‌شود و هم از اتلاف زمان و انجام محاسبات با اولویت کم‌تر جلوگیری می‌نماید. به این ترتیب متغیرهای نهایی مدل انتخاب می‌شوند. مرحله آخر اجرای مدل است. در مطالعات مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین، متغیر وابسته همان کاربری زمین مشخص مورد مطالعه و متغیرهای مستقل عبارت‌اند از متغیرهایی که بر تغییر کاربری زمین موثرند. این متغیرهای مستقل، در ادامه ذکر می‌شوند.

در پژوهش حاضر، برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین، از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سه دوره زمانی استفاده می‌شود و فرآیندهای آشکارسازی و مدل‌سازی در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ انجام خواهد شد. از داده‌های سنجش از دور به طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف برای به دست آوردن داده‌ها و نقشه‌های مورد نیاز برای مدلسازی تغییرات کاربری و پوشش زمین استفاده شده است (۱، ۴، ۱۹ و ۲۹). در این پژوهش، تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به سال ۱۹۸۸ و سال ۱۹۹۸ و تصاویر سنجنده LISSIII ماهواره IRS مربوط به سال ۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی مربوط به سال ۱۳۸۲ برای تهیه لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه استفاده گردیده است. لایه‌های شیب و جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از لایه مدل رقومی ارتفاع تهیه خواهند شد. از طرفی، لایه‌های حمل و نقل که به صورت لایه فاصله از جاده‌های اصلی در مطالعه به کار خواهد رفت، از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی کشور، به دست آمدند. این مطالعه در بازه زمانی ۲۰ ساله، از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۰۷ انجام می‌شود. جدول (۱) داده‌های مورد استفاده در مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در مطالعه

Table 1. Data used in the study

داده‌های مورد استفاده	توصیف داده‌ها	باندهای مورد استفاده	تاریخ
تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۸۸	مربوط به سنجنده TM لندست	۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷	۱۹۸۸/۹/۵
تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۹۸	مربوط به سنجنده TM لندست	۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷	۱۹۹۸/۶/۱۲
تصاویر ماهواره‌ای سال۲۰۰۷	مربوط به سنجنده IRS،LissIII	۲، ۳، ۴ و ۵	۲۰۰۷/۱۰/۱۵
نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰	تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی کشور	-	۱۳۸۲

روش کار

- **طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و آشکارسازی تغییرات**

نخست تصاویر ماهواره‌ای از لحاظ هندسی و رادیومتری مورد بررسی قرار گرفتند و پس از انجام تصحیحات مورد نیاز، پردازش و طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Selva انجام گردید. در این مطالعه با استفاده از روش نظارت شده و با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال عملیات طبقه‌بندی تصاویر انجام گردید. بررسی درستی طبقه‌بندی با روش استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام شد. در این روش برای بررسی درستی طبقه‌بندی، تصویر طبقه‌بندی شده با یک تصویر حاوی نقاط کنترل زمینی مقایسه می‌گردد. این روش برای هر یک از نقشه‌های کاربری زمین انجام شد و مقادیر کاپا و درستی کل به دست آمد. مقدار معیار کاپا و درستی کل در گستره ۱-۰ است. هر چه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد، نقشه طبقه‌بندی‌شده از صحت بالاتری برخوردار است.

آشکارسازی تغییرات کاربری زمین، فرآیند 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 خواهد شد. در این روش، نخست تصاویر ماهواره‌ای مربوط به چند سال مختلف طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد فرآیند آشکارسازی تغییرات کاربری زمین با مقایسه نقشه‌های کاربری زمین تهیه شده، انجام گرفت (۲۷ و ۲۹). در پژوهش حاضر، نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ذکر شده در جدول (۱) تهیه شدند. سپس، این نقشه‌ها برای اجرای عملیات آشکارسازی تغییرات در دو بازه زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه برای اجرای فرآیند آشکارسازی تغییرات از ماژول Crosstab در نرم‌افزار Idrisi Selva استفاده شد.

- **تهیه نقشه متغیرهای موثر بر تغییرات**

امروزه فعالیت‌های انسانی اصلی‌ترین نیروی اثرگذار در تغییرات کاربری و پوشش زمین می‌باشد (۱۰، ۲۳، ۲۷، ۲۸و ۲۹)، 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 اراضی مرتعی، فاصله از حاشیه جنگل، NDVI[1]، لایه Fragmentation، لایه طول[2] لایه عرض[3] متغیرهای جایگزین (Surrogate) اجتماعی – اقتصادی شامل لایه‌های فاصله از روستاها، فاصله از جاده‌ها، فاصله از اراضی کشاورزی و فاصله از مناطق مسکونی شهر استفاده شد. Fragmentation به معنای لکه‌لکه‌شدگی و تکه‌تکه‌شدگی یک پدیده است. در این مطالعه، از لایه Fragmentation به عنوان شاخص تکه‌تکه‌شدگی اراضی جنگلی در مدل‌سازی استفاده شد.

گاهی ممکن است رابطه‌ای بین متغیرها از نظر اثرگذاری بر متغیر وابسته، وجود داشته باشد. در این صورت، می‌توان از بین متغیرهای با همبستگی بالا برخی را حذف و با توجه به سایر

1- Normalized Differencing Vegetation Index
2- X Location
3- Y Location

متغیرها، اثر آن متغیرها را هم بر متغیر وابسته بررسی نمود. این امر هم باعث کاهش حجم داده‌ها و کاهش حجم محاسبات مدل‌ها می‌شود و هم از اتلاف زمان و انجام محاسبات با اولویت کم جلوگیری می‌نماید. بنابراین، پس از تهیه نقشه متغیرها، میزان همبستگی آن‌ها با یک‌دیگر با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی[1](PCA) بررسی خواهد شد. در این روش با محاسبه کوواریانس بین متغیرها، میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل تعیین می‌گردد. علاوه بر اجرای تحلیل مولفه‌های اصلی، فرآیند Contract نیز اجرا شد. تحلیل Contract اثرات همبستگی مکانی متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی را کاهش می‌دهد. این تحلیل در محیط نرم‌افزار Idrisi Selva و با استفاده از ماژول Contract انجام می‌شود و طی آن اندازه پیکسل‌ها کوچکتر می‌گردد.

نتایج بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل نشان داد که همبستگی قوی بین متغیرهای مستقل «فاصله از مناطق مسکونی شهری و فاصله از روستاها»، «فاصله از مناطق مسکونی شهری و فاصله از جاده‌ها» و «فاصله از روستاها و فاصله از جاده‌ها» وجود دارد. میزان همبستگی بین این متغیرها بیش از ۰/۹۰ بود. با توجه به میزان همبستگی‌ها، برخی از این متغیرها از فرآیند مدل‌سازی حذف گردید. به این ترتیب، متغیرهای مستقل نهایی مدل عبارتنداز لایه‌های شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از روستاها، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از اراضی مرتعی، NDVI، Fragmentation، X Location و لایه Y Location. همه این متغیرهای مستقل دارای ماهیت پیوسته هستند. متغیر وابسته مدل – لایه تغییرات اراضی جنگلی در بازه زمانی مورد مطالعه – دارای ماهیت گسسته باینری (صفر و یک) است. جدول (۲) فهرست متغیرهای مورد استفاده برای مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- فهرست متغیرهای مورد استفاده برای مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی

Table 2. List of variables used to model forest changes

متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی	ماهیت تغییر
شیب	پیوسته
جهت شیب	پیوسته
ارتفاع	پیوسته
فاصله از روستاها	پیوسته
فاصله از جاده‌ها	پیوسته
فاصله از لبه جنگل	پیوسته
فاصله از اراضی کشاورزی	پیوسته
فاصله از اراضی مرتعی	پیوسته
NDVI	پیوسته
Fragmentation	پیوسته
لایه طول و عرض	پیوسته

- **چگونگی اجرای مدل GEOMOD:**

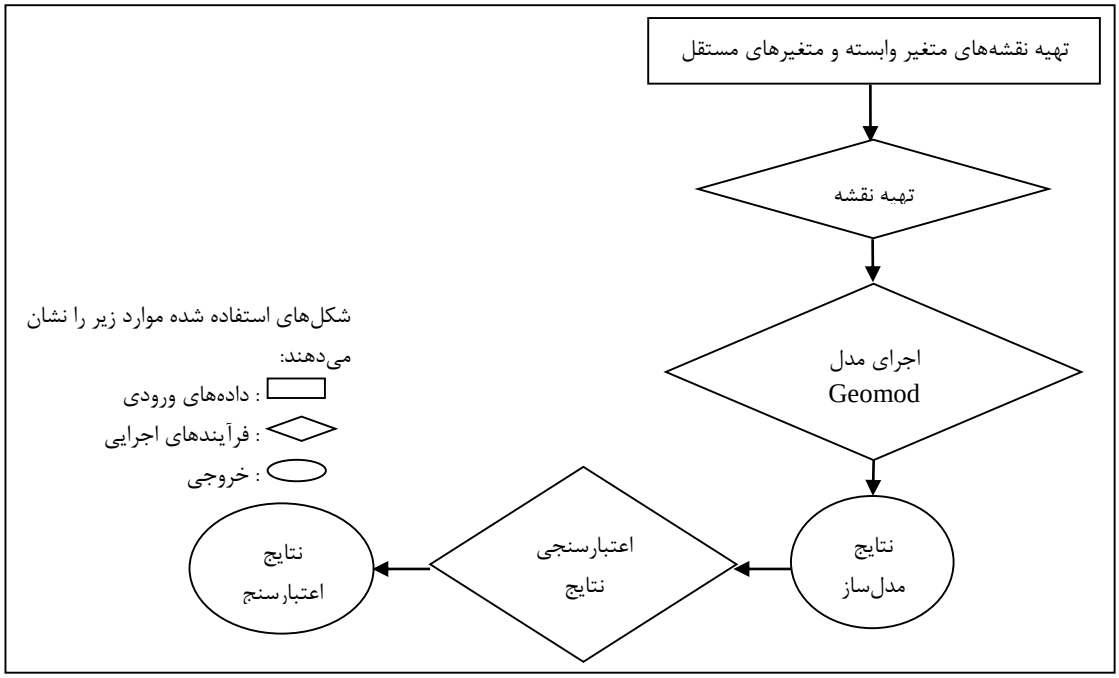
مدل Geomod محل‌هایی را که احتمال تغییر در کاربری و پوشش زمین آن‌ها وجود دارد، با استفاده از سه دستورالعمل تصمیم‌گیری تعیین می‌کند. این دستورالعمل‌ها شامل سه

1- Principal Components Analysis

موردی هستند که در ادامه می‌آیند. ۱- عواملی که بر این تغییرات اثر می‌گذارند و اثر عوامل موثر بر ایجاد تغییرات کاربری و پوشش زمین را در مدل‌سازی تغییرات اعمال می‌کند. ۲- تصویر اشکوب‌بندی شده که از تقسیمات ناحیه‌ای مانند تقسیمات کشوری (مثلا مرز شهرستان‌ها) جهت انجام فرآیند مدل‌سازی در هر یک از مرزها استفاده می‌کند و در این محدوده‌ها وضعیت تغییرات کاربری یا پوشش زمین را به طور جداگانه تعیین می‌نماید و ۳- نزدیک‌ترین همسایه که در هر یک از مراحل زمانی، تبدیل کاربری یا پوشش زمین را برای مناطقی که روی مرز هستند، تعیین می‌کند (۴، ۱۵ و ۱۷). مثلا برای اراضی جنگلی، تبدیل از پیکسل‌های جنگلی به غیر جنگل با توجه به پیکسل‌های همسایه بررسی می‌شود (۴ و ۱۷). دستورالعمل سوم در واقع قوانین همسایگی را شامل می‌شود. محققان می‌توانند به طور اختیاری از هر یک از این سه دستورالعمل استفاده کنند (۱۷).

پس از آشکارسازی تغییرات کاربری زمین و تهیه نقشه‌های عوامل موثر بر ایجاد تغییرات کاربری زمین، فرآیند مدل‌سازی تغییرات در دو مرحله زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ 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 می‌دهد و مقادیر بالا در این نقشه نشان‌دهنده مناطق با احتمال بالاتر برای تغییر است. نقشه تناسب را با استفاده از روش رگرسیون لجستیک یا روش MCE می‌توان 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 مدل‌سازی 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 می‌نماید. همچنین، اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی در دوره‌های 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. شکل (۲) مراحل اجرای مدل GEOMOD را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مراحل اجرای مدل GEOMOD

Figure 2. implementation steps of GEOMOD model

- **چگونگی پیش‌بینی شرایط آینده اراضی**

برای پیش‌بینی شرایط آینده اراضی نیاز به یک نقشه زمان شروع فرآیند مدل‌سازی و نقشه تناسب تغییر است. ضمن این که در مدل‌سازی شرایط آینده از آن جا که وضعیت کاربری زمین در سال نهایی مدل‌سازی موجود نیست، در این مدل تعداد پیکسل تغییر یافته در فاصله زمانی که پیش‌بینی برای آن صورت می‌گیرد، به مدل معرفی می‌شود و مدل با استفاده از دو تصویر ذکر شده و تعداد پیکسل‌های تغییر یافته، شرایط آینده کاربری‌های مورد مطالعه را پیش‌بینی می‌نماید. در این مطالعه شرایط آینده اراضی در دو فاصله زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۶ و۲۰۰۷-۲۰۲۵ پیش‌بینی شدند. فرض براین بوده است که در آینده نیز همین روند ادامه خواهد داشت.

یافته‌ها

در این مطالعه تغییرات اراضی جنگلی با مدل Geomod در بازه زمانی ۲۰ ساله در مناطق جنگلی گرگان مدل‌سازی شد و سپس در مرحله بعد شرایط آینده اراضی برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ تعیین گردید. نتایج حاصل از این مطالعه در ادامه آورده می‌شود.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و آشکارسازی تغییرات

بررسی درستی طبقه‌بندی با محاسبه مقادیر کاپا و درستی کل به دست آمد. این معیارها با کسب مقادیر بیش از ۰/۹۰ نمایان‌گر طبقه‌بندی مطلوب تصاویر هستند. نتایج حاصل از این بررسی در جدول (۳) ارایه شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

Table 3. Results of the accuracy assessment of the classification of satellite images

نقشه‌های کاربری زمین	معیار کاپا	معیار درستی کل
نقشه کاربری زمین ۱۹۸۸	۰/۹۱۴۰	۰/۹۳۶۰
نقشه کاربری زمین۱۹۹۸	۰/۹۶۰۲	۰/۹۷۱۴
نقشه کاربری زمین۲۰۰۷	۰/۹۳۰۴	۰/۹۴۷۰

بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی درستی طبقه‌بندی آن‌ها، عملیات آشکارسازی تغییرات به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی[1] در محیط نرم‌افزار Idrisi Selva انجام شد. این فرآیند در دوره‌های زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ به طور جداگانه انجام و تغییرات ایجاد شده در هر یک از انواع کاربری زمین در هر دو دوره، مطالعه گردید. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مناطق جنگلی ایجاد شده است. جدول (۴) نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات در منطقه مطالعاتی

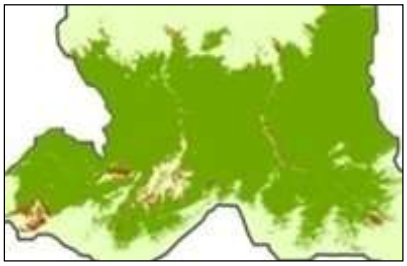
Table 4. Results of the change detection process in the study area

نام کلاس	مساحت ۱۹۸۸ (ha)	مساحت ۱۹۹۸ (ha)	میزان کاهش مساحت	مساحت ۲۰۰۷ (ha)	میزان کاهش مساحت
جنگل	۴۹۸۸۵/۶	۴۹۴۳۳/۵	۴۵۳	۴۸۵۳۹	۸۹۴

نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات اراضی جنگلی نشان داد که تغییرات این اراضی در دوره زمانی مورد مطالعه روند کاهشی داشته است. بنابر نتایج حاصل، اراضی جنگلی حوضه در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ حدودا ۴۵۳ هکتار و در دوره زمانی ۱۹۹۸-

1- Post- Classification comparison method

۲۰۰۷ حدودا ۸۹۴ هکتار کاهش داشته است. با توجه به این نتایج مشخص می‌شود که در این منطقه سطح اراضی جنگلی طی دوره زمانی مورد مطالعه رو به کاهش است. بخش عمده تغییرات به دلیل تبدیل اراضی جنگلی به مناطق مسکونی و نیز تبدیل اراضی به اراضی کشاورزی بوده است که منجر به کاهش سطح اراضی جنگلی منطقه در طی زمان شده است. به عنوان نمونه شکل (۳)، نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات اراضی جنگلی حوضه در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷ را نشان می‌دهد.

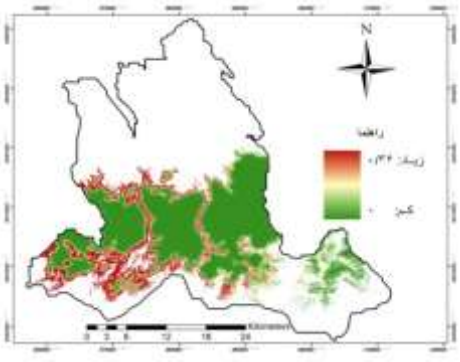


شکل ۳- نقشه آشکارسازی تغییرات اراضی جنگلی در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۷

Figure 3. change detection map of forest area during 1998-2007

مدل‌سازی تغییرات

مدل Geomod در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ با استفاده از نقشه تناسب تهیه شده برای مناطق جنگلی به روش رگرسیون لجستیک اجرا گردید. نقشه تناسب با روش رگرسیون لجستیک و با توجه به ارتباط بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته تهیه شد. همچنین، مدل Geomod برای مدل‌سازی کاهش اراضی جنگلی در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷ نیز اجرا گردید. 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. به عنوان نمونه، شکل‌های (۴) و (۵) نقشه حاصل از مدل‌سازی کاهش اراضی جنگلی با مدل Geomod و نقشه تناسب کاهش جنگل در دوره زمانی ۱۹۹۸ -۲۰۰۷ در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهند.



شکل ۴- نقشه مدل‌سازی شده کاهش اراضی جنگلی در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۷

Figure 4. Modeled map of forest reduction in the period 1998-2007

شکل ۵- نقشه تناسب کاهش اراضی جنگلی در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۷

Figure 5. Suitability map of forest reduction in the period 1998-2007

همان‌گونه که نقشه تناسب تغییر (شکل۵) نشان می‌دهد، محل‌های با ارزش بالاتر احتمال بیش‌تری برای تخریب دارند و نقشه حاصل از اجرای مدل Geomod (شکل ۴) نیز مبین همین موضوع است. فرآیند اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی با محاسبه معیارهای کاپا انجام شد. مقادیر معیارهای کاپای استاندارد، کاپای محل و Kno در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸، به ترتیب ۰/۹۹۶۲، ۰/۹۹۶۲ و ۰/۹۹۶۸ و در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷، به ترتیب ۰/۹۹۲۳، ۰/۹۹۲۴ و ۰/۹۹۳۷ به دست آمدند. بالا بودن مقادیر این معیارها، توانایی مناسب مدل Geomod را برای مدل‌سازی الگوی مکانی تغییرات اراضی جنگلی در منطقه تایید می‌نمایند. لاندیز و کوک (۱۹۷۷) معیار کاپا را در چند طبقه مطابق با جدول (۵) رتبه‌بندی نمودند (۳۰). بنابراین با توجه به این طبقه‌بندی، کاپای به دست آمده در این مطالعه در طبقه صحت (توافق) قوی[1] قرار دارد که توانایی بالای مدل را در این منطقه مطالعاتی با داده‌های مورد استفاده تایید می‌نماید.

جدول ۵- طبقات معیار کاپا براساس طبقه‌بندی لاندیز و کوک (۱۹۷۷)

Table 5. Kappa Standard Classification Based on Landis & Koch (1977)

مقدار کاپا	رتبه‌بندی
بیش از ۰/۸	صحت قوی
۰/۶-۰/۸	صحت خوب
۰/۴-۰/۶	صحت متوسط
کم‌تر از ۰/۴	صحت ضعیف

پیش‌بینی شرایط آینده اراضی جنگلی

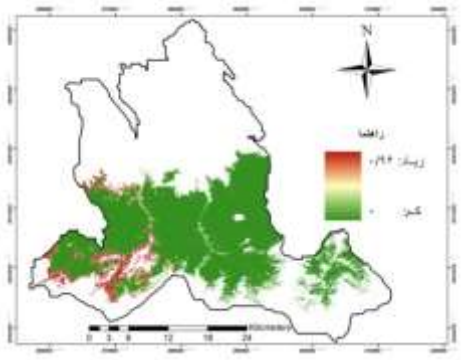
نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که این مدل توانایی خوبی در مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه دارند. بنابراین، در مرحله بعد شرایط آینده اراضی با استفاده از این مدل برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ پیش‌بینی شدند.

به این منظور برای پیش‌بینی اراضی جنگلی در دوره‌های زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۶ و ۲۰۰۷-۲۰۲۵، مدل Geomod با استفاده از نقشه تناسب تهیه شده برای کاهش اراضی جنگلی در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۷ و نیز با استفاده از تعداد پیکسل‌های کاهش یافته این دوره‌ها اجرا گردید. شکل‌های (۶) و (۷) نقشه تناسب و نقشه پیش‌بینی شرایط آینده اراضی جنگلی حاصل از اجرای مدل Geomod در دوره زمانی ۲۰۰۷-۲۰۲۵ را نشان می‌دهند. البته فرض بر این بوده است که شرایط گذشته هم‌چنان در آینده ادامه یابد.

1- Strong Agreement or Accuracy

شکل ۶- نقشه‌تناسب کاهش اراضی جنگلی در دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۷

Figure 6. Suitability map of forest reduction du**ring 2007-2025**



شکل ۷- نقشه پیش‌بینی شرایط آینده اراضی جنگلی در دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۷

Figure 7. prediction map of the future condition of forest during 2007-2025

همان طور که در بخش قبل ذکر شد، اراضی جنگلی در منطقه مورد مطالعه دارای روند کاهشی هستند. بنابراین اقدامات مدیریتی برای حفظ این اراضی ضروری است. در بخش (۴) برخی از این اقدامات ارایه خواهد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

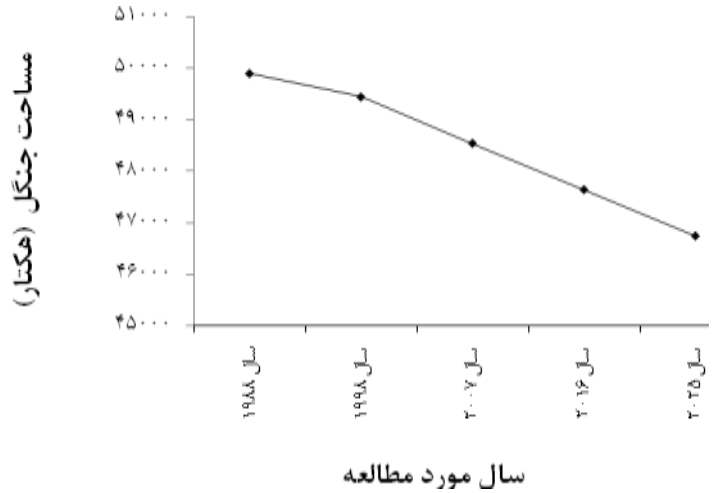
یکی از قابل توجه ترین موارد تغییر انسان روی زمین، تبدیل اکوسیستم‌های طبیعی به مناظر انسانی است (۱۹). مراقبت از یک اکوسیستم و حفاظت از منابع طبیعی نیازمند آگاهی از شرایط و نحوه تغییر کاربری‌های مختلف اراضی است (۳۱). از آنجا که تغییر کاربری و پوشش زمین اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر محیط زیست و همچنین توسعه پایدار منطقه‌ای و جهانی دارد (۳۲)، لذا در پژوهش حاضر تغییرات پوشش جنگلی در منطقه گرگان شناسایی و با استفاده از مدل Geomod مدل سازی گردید. در این زمینه، اظهار نمودند تجزیه و تحلیل ویژگی‌های کاربری و پوشش زمین و بررسی تغییرات آن‌ها در مقیاس‌های زمانی-مکانی مختلف و پیش‌بینی سناریوهای آینده آن در آشکار کردن فرآیندهای تغییرات محیطی منطقه‌ای و جهانی ناشی از فعالیت‌های انسان مفید است (۳۲).

در این پژوهش، نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات برای اراضی جنگلی نشان داد که این اراضی در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ حدودا ۴۵۳ هکتار و در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷ حدودا ۸۹۴/۵ هکتار کاهش یافته‌اند. 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.

در این مطالعه، مدل Geomod برای مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی در دوره‌های زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ اجرا گردید. برای اجرای این مدل نخست نقشه تناسب با استفاده از

روش رگرسیون لجستیک تهیه شد. این روش در مطالعات زیادی از جمله (۹، ۱۰، ۱۲، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۲ و ۳۳) برای تهیه نقشه تناسب استفاده شده است. در مرحله بعد، مدل Geomod برای مدل‌سازی کاهش جنگل در دو دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ اجرا شد. سپس، برای اطمینان از قابلیت مدل در مدل‌سازی تغییرات جنگل در این منطقه و جهت استفاده از مدل برای پیش‌بینی شرایط آینده منطقه، نتایج حاصل با استفاده از ماژول VALIDATE و با محاسبه معیارهای کاپا اعتبارسنجی شد. نتایج اعتبارسنجی مدل با کسب مقادیر کاپای بیش از ۰/۹۹ توانایی مدل را برای مدل‌سازی کاهش اراضی جنگلی در این منطقه تایید می‌نماید. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج سایر محققان از جمله Nahib, et al (2018) مطابقت دارد که تغییرات اراضی جنگلی را با استفاده از مدل Geomod در دوره‌های زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۰ در اندونزی مدل‌سازی نمودند و از نتایج مدل برای شبیه‌سازی شرایط در سال ۲۰۱۱ استفاده کردند (۱۰). عبداللهی و نصیری (۲۰۲۱) از مدل Geomod برای مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی در استان گیلان استفاده نمودند. نتایج این مطالعات نشان‌داد که این مدل قادر به مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی در مناطق مطالعاتی است (۲۸) که نتایج مطالعه حاضر با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. لازم به ذکر است در صورتی که عوامل تعیین‌کننده تغییر در آینده نیز همین‌گونه باشند، نتایج کاپا به صورت مشابه به دست خواهد آمد. اما اگر عوامل موثر بر تغییرات، تغییر یابند مقدار کاپا نیز تغییر خواهد یافت.

به این ترتیب، در مرحله بعد شرایط آینده منطقه با استفاده از مدل Geomod پیش‌بینی شد. نتایج حاصل از بررسی وضعیت آینده اراضی جنگلی برای سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ نشان داد که اراضی جنگلی حوضه در حال کاهش است. دلیل این امر، توسعه فعالیت‌های اجتماعی – اقتصادی در این منطقه و در واقع فرآیند 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 حوضه در آینده‌ای نه چندان دور به شدت تخریب شده و کاهش خواهند یافت. همچنین، شکل (۸) مساحت جنگل را در دوره زمانی مورد مطالعه از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۲۵ در منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۸- پیش‌بینی تغییرات مساحت جنگل در منطقه مطالعاتی در دوره‌های زمانی مورد مطالعه

Figur 8. Forest change trend within the study area during study periods

همان طور که شکل (۸) نشان می‌دهد در فاصله زمانی ۱۹۸۸-۲۰۰۷ حدود ۱۴۰۰ هکتار از سطح جنگل‌ها کاسته شده و سطح جنگل‌ها از حدود ۴۹۸۰۰ هکتار در سال ۱۹۸۸ به حدود ۴۸۴۰۰ هکتار در سال ۲۰۰۷ رسیده است. مطابق پیش‌بینی انجام شده

در مطالعه حاضر با ادامه این روند، سطح این جنگل‌ها در سال ۲۰۱۶ به حدود ۴۷۶۰۰ هکتار و در سال ۲۰۲۵ به سطحی حدود ۴۶۷۰۰ هکتار تنزل خواهد یافت. به این ترتیب، همان‌گونه که اشاره شد، اگر فرآیندهای تغییر کاربری زمین کنترل و مدیریت نگردند، موجب تغییرات شدید کاربری زمین در منطقه در آینده‌ای نه چندان دور روی خواهد داد. بنابراین، انجام اقدامات مدیریتی و حفاظتی نظیر تعیین محدوده اراضی کشاورزی و ممانعت از گسترش آن‌ها، خرید و تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری‌هایی حفاظتی و نیز جلوگیری از گسترش روستاها و ممانعت از دسترسی بی‌رویه مردم به عرصه‌های جنگلی پیشنهاد می‌گردد. در این زمینه Aksoy, & Kaptan, (2022) اظهار نمودند برای مدیریت و بهره‌برداری پایدار جنگل، حفظ کیفیت و قابلیت تولید اکوسیستم جنگلی و تنوع زیستی آن، مشارکت در چرخه کربن جهانی، نگهداشت منابع آب و خاک و همچنین عملکردهای اجتماعی-اقتصادی آن، توسعه، پایش و حفاظت مناطق جنگلی ضرورت دارند (۱۱). چرا که بررسی‌ها نشان داده از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۹، حدود یک سوم از مساحت زمین در سراسر جهان تحت تاثیر انواع مختلف تغییرات کاربری زمین از جنگل‌زدایی تا گسترش زمین‌های کشاورزی و همچنین احیای جنگل‌ها قرار گرفته است (۳۳). به همین دلیل بررسی تغییرات رخ داده در اکوسیستم‌های جنگلی و انجام اقدامات لازم به موقع از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، پژوهش حاضر با ارائه اطلاعات در مورد شرایط اراضی جنگلی منطقه، می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان و مدیران جهت مدیریت پایدار اراضی جنگل ارائه نماید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از سازمان فضایی ایران و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور به خاطر در اختیار قرار دادن تصاویر ماهواره‌ای سپاس‌گزاری می‌نمایند.

References

1. Hua, A. K. 2017. Application of ca-markov model and land use/land cover changes in Malacca river watershed, Malaysia. Applied ecology and environmental research. Vol 15. No 4:605-622.
2. Galdavi, S.; Mohammadzadeh, M., salman Mahiny, A. R. & Najafi Nejad, A. 2014. Forest change modeling using logistic regression in the period 1988-2007 and prediction of future condition in gorgan area. Geographic Space, 14(46), 51-70. (In Persian)
3. Abuelaish, B. & Camacho Olmedo, M. T. 2016. Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. Arab J Geosci. Vol 9: 1-14.
4. 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.
5. Smaeily, A. & Ashjaei. 2019. Modeling land use change through Markoff and GIS (Case study: Qom Province). Geography and territorial Spatial Arrangement. Vol 9. No 31: 153-172. (In Persian)
6. 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 Modeling. Vol. 212: 439-449.
7. Echeverria, C., Coomes, D., Salas, J., rey-Benayas, J. M., Lara, A. & Newton, A. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests.Biological Conservation. Xxx-xxx.
8. 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

Environmental Sciences and Technology. Vol 22. No.11.

9. Nozari, F. Salehi, A. Armin, M. & Farzin, M. 2020. Prediction of forest cover changes for Boyer-Ahmad region using Geomod model. Journal of Forest Research and Development. Vol 6. No 3: 463-476.
10. 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.
11. Aksoy, H. & Kaptan, S. 2022. Simulation of Future Forest and Land Use/Cover Changes (2019-2039) Using the Cellular Automata Markov Model. Geocarto International. Vol 37. No 4: 1183-1202.
12. Schneider, L. C. & Pontius Jr, R. G. 2001. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture Ecosystems & Environment. Vol. 85: 83-94.
13. Rahimi, J. & Almodaresi, S. A. 2020. Investigation and Prediction of Land Use Change in Shahrekord City Using Land Change Model and GIS. Journal of Radar and Optical Remote Sensing. Vol 4: 72–86.
14. Serra, P., Pons, X. & Sauri, D. 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. Applied Geography. Vol. 28: 189-209.
15. Pontius Jr, 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.
16. Cabral, P. & Zamyatin, A. 2006. Three land change models for urban dynamics analysis in Sintra-Cascais area. 1st Earsel workshop of the sig urban Remote Sensing Humboldt-universitst Zu Berlin, 2-3 March.
17. 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 CostaRica.Agriculture Ecosystems & Environment. Vol. 1775: 1-13.
18. 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.
19. Azizi, P., Soltani, A., Bagheri, F., Sharifi, Sh. & Mikaeili, M. 2022. An Integrated Modelling Approach to Urban Growth and Land Use/Cover Change. Land. Vol 11: 1-26.
20. Brown, S., Hall, M., Andrasko, K., Ruiz, F., 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 Chenge. Vol. 12: 1001-1026.
21. Pontius Jr, R. G. 2002. Statistical Methods to Partition Effects of Quantity and Location During Comparison of Categorical Maps at Multiple Resolutions. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 68. No. 10: 1041-1049.

22. 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.
23. Shayesteh, K. Abedian, S. & Galdavi, S. 2018. Urban Expansion Modeling Using Logistic Regression Method based on Geomod Model Case study: Kordkuy city. Vol 16. No 51: 44-64.
24. Poelmans, L. & Romoaey, A. V. 2009. Detection and modeling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flunders region. Landscape and Urban Planning. (93): 10-19.
25. Pontius Jr, 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.
26. 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.
27. 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.
28. Abdollahi, S. & Nasiri, V. 2021. Forest change Detecting and predicting in Gilan province using satellite images and geomed. Environmental research and technology. Vol 7. No 5: 141-151. (In Persian)
29. Nasiri, V. Darvishsefat, A. A. Shirvani, A. & Avatefi Hemmat. 2019. Forest change detecting and modeling in Arsbaran using regression Logistic, Markov chain and geomed model. Vol 19. No 65: 171-189.
30. Landis, J. & Koch, G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics. Vol 33: 159–174.
31. Heidarizadi, Z. & Mohammadian Behbahani, A. 2019. Performance comparison of Geomod and LCM models to predict land use changes (case study: Abughovair plain, Ilam province). Iranian Journal of Range and Desert Research. Vol 26. No 3: 660-674. (In Persian)
32. Yang, Ch., Wu, G., Chend, J., Lia, Q., Dinge, K., Wangf, G & Zhanga, Ch. 2019. Simulating and forecasting spatio-temporal characteristic of land-use/cover change with numerical model and remote sensing: a case study in Fuxian Lake Basin, China. European journal of remote sensing. VOl 52. NO 1: 374–384.
33. Thiam, S., Ariel, A., Salas, Houngue, N. R., Santos Almoradie, A. D., Verleysdonk, S., Adounkpe, J. & Komi, K. 2022. Modelling Land Use and Land Cover in the Transboundary Mono River Catchment of Togo and Benin Using Markov Chain and Stakeholder's Perspectives. Sustainability. Vol 14: 1-22.