https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2023.556005.2882

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره۳۲، شماره ۱۲۵، بهار ۱۴۰۲

صفحات ۱۹۲ - ۱۷۹

# مدل‌سازی تغییر پوشش جنگل فندقلو با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف و GEOMOD

خلیل ولیزاده کامران[۱]  مریم صادقی [۲]

اسداله حجازی [۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷  تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶

*********

## چکیده

پایش و بررسی تغییرات کاربری اراضی در عرصه‌های جنگلی، اطلاعات قابل قبولی را به‌منظور مدیریت کارآمد این منابع فراهم می‌کند. همچنین حفاظت از منابع طبیعی نیازمند آگاهی از شرایط و نحوه تغییر کاربری‌های مختلف اراضی است؛ بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی روند تغییر کاربری جنگل در محدوده جنگلی فندقلو از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۹ با استفاده از تصاویر لندست ۵، ۸ و ادغام آن‌ها باتصاویر سنتینل۲ و استر است. پس از تهیه تصاویر برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹، تصحیح هندسی، رادیومتریک و اتمسفری تصاویر انجام گرفت و نقشه کاربری‌ها با دقت کاپا به ترتیب ۹۳، ۸۳، ۹۱ درصد تهیه شدند. مدل‌سازی تغییر کاربری برای سال ۲۰۲۵ با مدل GEOMOD، نیازمند تهیه نقشه تناسب منطقه است که با استفاده از روش Fuzzy ANP و ضریب ناسازگاری کمتر از ۰/۰۶ تهیه شده و برای تهیه نقشه تناسب اراضی از چهار معیار: انسانی، زیست‌شناختی، توپوگرافی و اقلیمی و ۱۱ زیر معیار با توابع بولین به‌دست آمد و نقشه‌های کاربری اراضی بولین (جنگل و غیر جنگل) ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ مدل‌سازی برای سال ۲۰۱۹ انجام گرفت. مدل‌سازی کاربری برای سال ۲۰۲۵ از نقشه پایه ۲۰۱۹ و ماتریس انتقال زنجیره مارکوف کاربری اراضی ۲۰۲۵ با مدل CA- Markov صورت پذیرفت و نتیجه تغییرات مکانی برای سال ۲۰۲۵ به دست آمد. برای ارزیابی دقت مدل از میزان توافق و عدم توافق مکانی پیکسل‌ها با Klocation و Standard به ترتیب با دقت ۹۸ و ۹۵ استفاده شد. نتایج مدل‌سازی برای سال ۲۰۲۵ تغییرات به‌صورت کاهش پوشش جنگل بوده که از ۳۲۰۴/۱۸ هکتار در سال ۲۰۱۰ به ۳۰۷۰/۵۵ هکتار در ۲۰۱۹ هزار هکتار کاهش یافته است. با توجه به نتایج وزن‌دهی، معیار انسانی و زیرمعیارهای کاربری اراضی و فاصله از جاده وزن بالایی را به‌دست آوردند. علت آن می‌تواند پتانسیل گردشگری این منطقه در جذب گردشگران و همچنین دخالت‌های ساکنان محلی باشد که تأثیر مستقیمی بر روند کاهشی جنگل دارد.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌سازی تغییر پوشش جنگل، CA مارکوف، GEOMOD، فندقلو

*********

۱- دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز (نویسنده مسئول) valizadeh@tabrizu.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز sadegi.maryam92@gmail.com

۳- دانشیار، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز s.hejazi@tabrizu.ac.ir

## ۱- مقدمه

پیش‌بینی پویایی کاربری و پوشش زمین (LULC) در آینده یک جنبه مهم برای نظارت و ارزیابی مدیریت زیست‌محیطی ازنظر برنامه‌ریزی و حفاظت است. در سال‌های اخیر، مدل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی به‌طور گسترده در سراسر جهان برای درک و تجزیه‌وتحلیل تغییر کاربری و پوشش زمین منطقه‌ای برای مطالعه روند کاهشی جنگل با توجه به بازیگران مختلف اجتماعی-اقتصادی و فیزیکی مورداستفاده قرارگرفته‌اند ***(Chamlingat al. 2021:417)***. همچنین امروزه دسترسی به نقشه‌های کاربری اراضی با جزئیات بیشتر یکی از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی منابع و توسعه پایدار محسوب می‌شود ***(Li et al. 2013:33; Turner et al. 2014: 395)***. بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین نقش اساسی در بررسی تغییرات جهانی دارد ***(نوذری و همکاران، ۱۳۹۸: ٤٦٤)***.

طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به دو روش پیکسل پایه و شئ‌گرا صورت می‌گیرد ***(Duro,2012: 260)***. برای استفاده پایدار از زمین، برنامه‌ریزی و مدیریت در این زمینه، آگاهی از تغییرات و تحولات کاربری اراضی در طول یک دوره زمانی، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ضروری به نظر می‌رسد ***(Mas et al, 2014:1)***. درواقع در زمینه تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی، مدل‌ها نقش مهمی در کاوش توسعه آینده احتمالی آن دارند و از قابلیت‌های تشریحی و پیش‌بینی آینده‌ای که مدل‌ها دارا هستند، می‌توان به‌عنوان ابزاری برای آگاهی افراد درگیر در تصمیم‌گیری‌های کاربری و پوشش زمین، استفاده کرد. قابلیت پیش‌بینی‌کنندگی مدل‌ها را می‌توان به‌عنوان سیستم هشداردهنده اولیه مورد استفاده قرار داد. به این ترتیب که تصمیم‌گیران را از نتایج توسعه آینده و مناطق دارای اولویت برای تحلیل‌ها و سیاست‌های میانجی آگاه کرد.

تکنولوژی سنجش از دور در سراسر جهان به شکل گسترده‌ای در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مورداستفاده قرار می‌گیرند ***(Walter, 2004: 225)***. با توجه به سطح فعلی دانش و فناوری بشر، دستیابی به یک حجم اطلاعاتی عظیم درزمینه تغییرات منابع طبیعی، بدون صرف هزینه‌های هنگفت، تنها با بهره‌گیری از علم و فن سنجش‌ازدور، امکان‌پذیر خواهد بود. فن سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی درزمینه بررسی و مدیریت منابع طبیعی، ارزان‌تر از روش‌های سنتی بوده و با سرعت عملی که فراهم می‌آورد، دارای توجیه اقتصادی است؛ همچنین در روند توسعه پایدار برای استفاده بهینه از منابع طبیعی نیاز به شناسایی منابع اکولوژیک در کوتاه‌ترین زمان و کمترین هزینه ممکن احساس می‌شود. استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی تغییر کاربری برای تغییرات کاربری زمین در کنار بسیاری از تجزیه و تحلیل‌های کمّی برای تشخیص، ارزیابی و اندازه‌گیری تغییرات اکوسیستم، یک روش لازم و کاربردی در چشم‌انداز جغرافیایی است ***(Peng et al. 2010; Asgarian et al.2016; Cardille Turner Inkoom et al. 2018; Kumar et all: 1)***. فقط دانستن مکان و چگونگی رخ داد تغییرات کاربری به عنوان مفیدترین اطلاعات برای مدیران منطقه‌ای کافی نیست، بلکه سرعت وعلت تغییرات کاربری و عوامل کنترل‌کننده آن نیز باید مشخص شود.

مدل GEOMOD به عنوان یک مدل قوی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با هدف توزیع مکانی طبقات خاصی از کاربری در آینده با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از گذشته است ***(Lopez, 1: 2001:3; Myint & Wang, 2006:2)***. برای پیش‌بینی دینامیک تغییرات کاربری اراضی در آینده از انواع مدل‌های تجربی مانند مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف و همچنین مدل GEOMOD استفاده شده است ***(نوذری و همکاران، ۱۳۹۹: ٤٦٤)***. GEOMOD یک مدل تغییر کاربری و پوشش زمین مبتنی بر شبکه است که الگوی فضایی تغییر زمین را در یک‌جهت (گذشته یا آینده) در زمان شبیه‌سازی می‌کند.

GEOMOD مکان شبکه سلول‌ها را براساس قوانین زیر انتخاب می‌کند:

الف) مقاومت: شبیه‌سازی مسیر تغییرات

ب) طبقه‌بندی منطقه‌ای: شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در یک سری از مناطق به‌عنوان طبقه
ج) دستورالعمل همسایگی
د) تهیه نقشه تناسب ***(Pontius, 2006:5)***.

گلدوی (۱۳۹۱) به مقایسه عملکرد روش‌های رگرسیون لجستیک و GEOMOD برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین و پوشش گیاهی و همچنین بررسی اثرات تغییرات بر آب‌های سطحی در منطقه گرگان پرداخت که نتایج بررسی نشان‌دهنده کاهش اراضی جنگلی و افزایش اراضی مرتعی و کشاورزی و توان بالای مدل GEOMOD نسبت به مدل لجستیک بود.

اندریانی (۱۳۹۱) به بررسی تغییرات کاربری در حوضه صوفی چای با استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان توسط تصاویر لندست پرداخت.

عزیزی قلایی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست پرداختند که نتایج بیانگر افزایش مساحت پوشش مرتعی و کاهش مساحت پوشش جنگلی است.

مرآتی فر (۱۳۹۳) به اعتبارسنجی مدل‌های Ca-Markov و GEOMOD برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ با استفاده از تصاویر لندست پرداختند که متغیرهای مستقل استخراج و نقشه تناسب تهیه شد. برای مدل‌سازی تغییرات هر دو مدل کارایی بالایی را نشان دادند.

اندریانی و همکاران (۱۳۹۶) به شبیه‌سازی زمانی مکانی تغییرات کاربری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق مدل مارکوف و GEOMOD با تأکید بر کاربری باغ در حوضه صوفی چای مراغه برای سال ۲۰۲۶ پرداختند.

جورابیان شوشتری (۱۳۹۶) به بررسی نقش سنجه‌های سیمای سرزمین و فرآیندهای مکانی تغییر در ارزیابی کارایی مدل GEOMOD پرداختند.

قربانیان خیبری و همکاران (۱۳۹۶) و ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶) به پیش‌بینی تغییرات کاربری با مدل GEOMOD پرداختند. همچنین نتایج ارزیابی با استفاده از تابع validate ارزیابی شد.

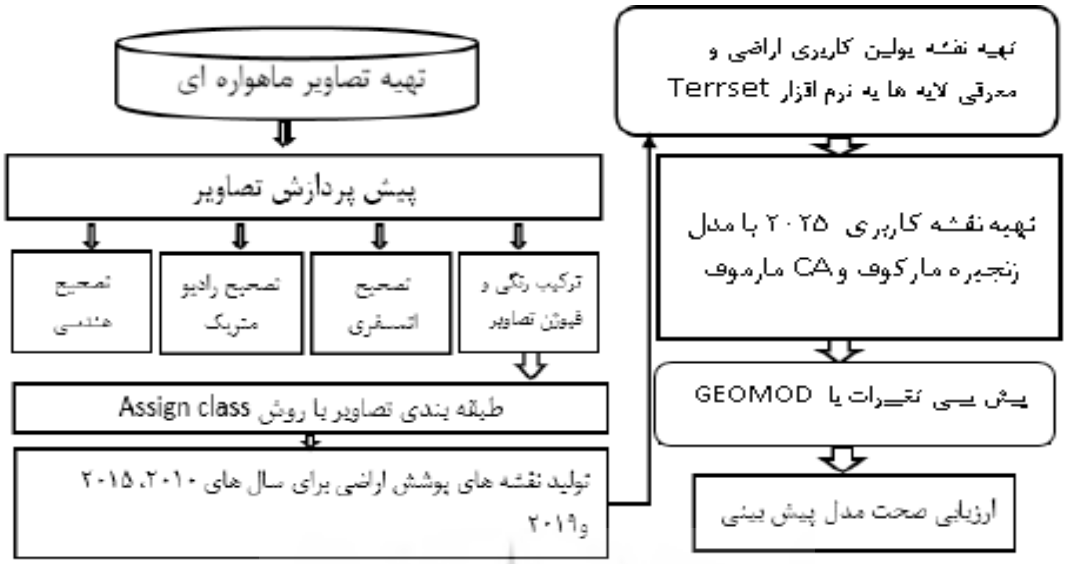
حیدری‌زادی و همکاران (۱۳۹۷) کارایی مدل‌های GEOMOD و LCM را در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در دشت ابوغویر دهلران، استان ایلام برای سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۵ موردبررسی قرار دادند. برای اجرای مدل GEOMOD از نقشه‌های بولین کاربری‌ها و نقشه تناسب استفاده کردند. فاطمه نوذری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تغییرات پوشش جنگلی منطقه بویراحمد با استفاده از مدل GEOMOD پرداختند.

Ghorbannia & Kheybari (۲۰۱۷) از مدل GEOMOD، برای بررسی روند تغییرات پوشش جنگل در حوضه آبخیز چالوس رود در یک دوره ۲۸ ساله استفاده کردند که نتایج بیانگر دقت بالای مدل است.

Selvalakshmi & Jayakumar (۲۰۱۸) به ارزیابی پویایی تغییرات پوشش زمین در محدوده حفاظت‌شده جنگلی بغداد با استفاده از مدل GEOMOD پرداختند که نتایج نشان می‌دهند که بیشترین تغییرات در بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۰ رخ‌داده است.

هدف از پژوهش حاضر به‌کارگیری فناوری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی در تهیه نقشه‌های پایه از منطقه جنگلی فندقلو در بازه زمانی ۹ ساله (۱۳۹۸-۱۳۸۹) با استفاده از ادغام تصاویر متفاوت باقدرت تفکیک‌های متفاوت و ترکیب آن با اطلاعات مکانی در طبقه‌بندی شیءگرا است که کمتر پژوهشی در این زمینه صورت گرفته است.

نگاره۱ روند اجرای پژوهش رانشان می‌دهد. محدوده جنگلی فندقلو دارای اکولوژی خاص طبیعی و مرکز و خاستگاه ژنتیکی فندق در استان اردبیل است و همچنین می‌تواند در ابعاد مختلف اقتصادی، گردشگری و مطالعاتی دارای پتانسیل بالایی باشد. این امر در صورتی محقق می‌شود که برنامه‌ریزی صحیح و کنترل‌شده در منطقه صورت گیرد. متأسفانه در این منطقه به دلیل دخالت عوامل انسانی، آتش‌سوزی و نبودن هماهنگی بین سازمان‌های ذی‌ربط،




**نگاره۱: روند اجرای پژوهش**

پایداری منطقه درخطر نابودی جدی قرار دارد. بنابراین یک برنامه‌ریزی جامع در کنار هماهنگی سازمان‌های دولتی و محلی و مردم تنها راه حفاظت از جنگل‌های این منطقه است.

## ۲ – منطقه موردمطالعه

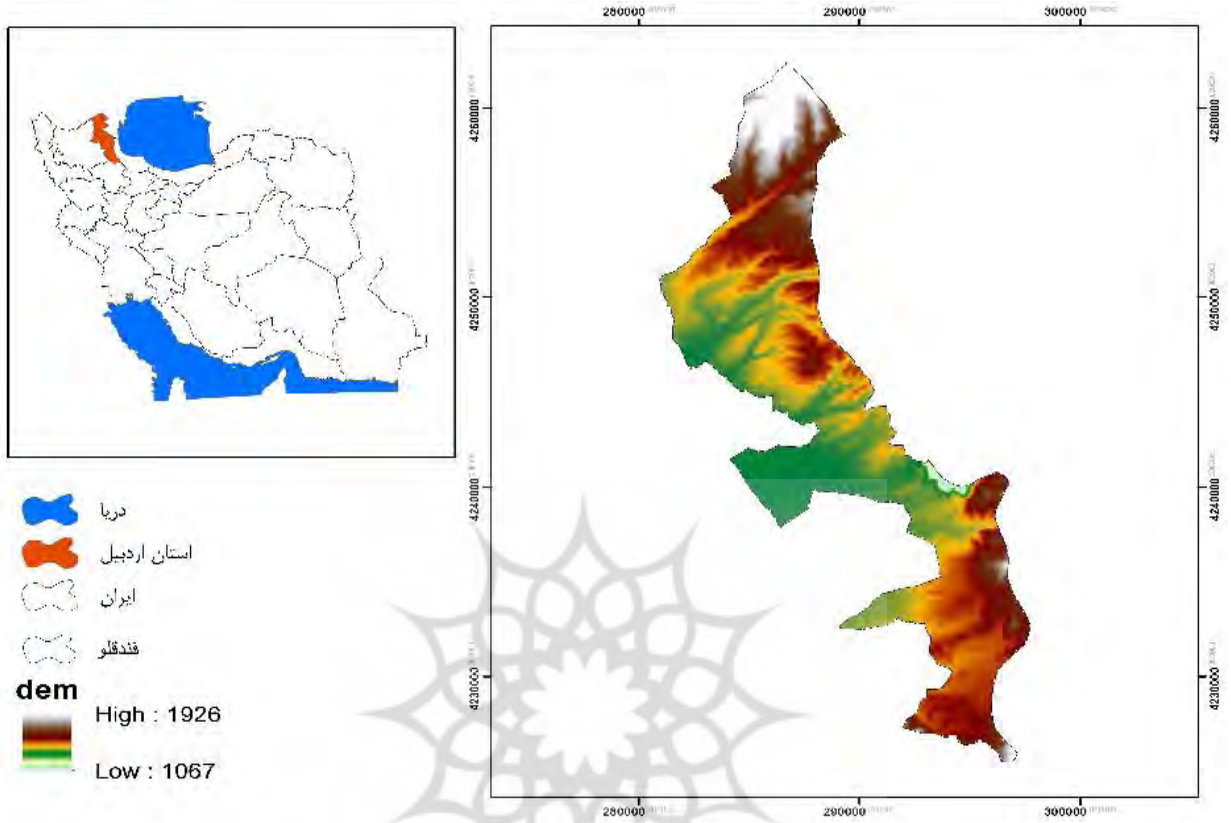
این پژوهش در منطقه جنگلی فندقلو در شهرستان نمین واقع در استان اردبیل انجام گرفت. در قسمت شمال محدوده جنگلی فندقلو راه قدیم اردبیل- آستارا قرار دارد و از شرق به گردنه زیبای حیران محدود است. گونه‌های اصلی تشکیل‌دهنده کاربری جنگلی این منطقه، درختچه فندقلو است که به همین دلیل این منطقه را فندقلو نامیده‌اند؛ اما همراه با فندق درختان بلوط، راش، زالزالک و ازگیل نیز در برخی موارد مشاهده می‌شود *(رستمی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۷: ۱)*.

براساس آخرین تقسیمات کشوری شهرستان نمین دارای ۱۱۱ کیلومترمربع است و حدود ۱/٦ درصد مساحت استان اردبیل را به خود اختصاص داده است. ارتفاع منطقه موردمطالعه از سطح دریا ۱۳۲۲ تا ۲۳٤٥ متر قرار دارد. مساحت محدوده موردمطالعه ۱۷۹/۳۲۸۸ کیلومترمربع است و ۳۲ کیلومتر از مساحت آن را جنگل می‌پوشاند. ازنظر جمعیتی شهرستان نمین حدود ۵ درصد از کل جمعیت استان اردبیل را تشکیل می‌دهد. براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ کل جمعیت شهرستان نمین ٦۰,٦۵۹ نفر است که ۲۵,۹۳۲ نفر ساکن در نواحی شهری و ۳۵,۷۲۷ نفر ساکن در نواحی روستایی می‌باشند *(ولیزاده و همکاران،۱٤۰۰: ۳)*.

## ۳- داده‌های مورداستفاده و روند اجرای پژوهش

پژوهش حاضر برحسب نوع روش توصیفی- تحلیلی و براساس هدف، کاربردی می‌باشد. روش توصیفی- تحلیلی مبتنی بر تعریف و توصیف مفاهیم اساسی و عوامل مؤثر بر موضوع موردمطالعه است.

در این پژوهش برای تهیه نقشه پایه از داده‌های سنجش‌ازدور همچون تصاویر ماهواره‌ای Landsat8,5، ASTER و Sentinel 2A استفاده شد (جدول ۱). استفاده از داده‌های مختلف به علت عدم همپوشانی زمانی تصاویر و همچنین بالا بردن دقت نتایج مدل‌سازی است. داده‌های اقلیمی کلیه پارامترها تا سال ۱۳۹٦ از ایستگاه سینوپتیک استان اردبیل دریافت شد، مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵ از




**نگاره۲: موقعیت منطقه مطالعاتی**

**جدول۱: تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده**

| ماهواره/سنجنده | محدوده طیفی | قدرت تفکیک مکانی | ردیف و گذر | تاریخ برداشت |
|---|---|---|---|---|
| Landsat 5/ TM | VISIBAL/ NIR | 30m | ۱۶۷-۳۳ | 2010/07/11 |
| Landsat 8 / OLI | Optic / PAN | 30.15m | ۱۶۷-۳۳ | 2015/06/23<br>2019/06/18 |
| ASTER | VISIBAL/ NIR | 15m | ۰۰۳۰۷۱۲ | 2010/07/12<br>2010/07/11 |
| Sentinel2 A / MSI | VISIBAL/ NIR | 10.20m | _ | 2019/06/18 |

وب‌سایت ناسا[1] برای تهیه نقشه‌های شیب، جهت شیب، لایه مرز منطقه موردمطالعه و لایه پوشش گیاهی از سازمان منابع طبیعی استان اردبیل تهیه گردید و همچنین لایه‌های آبراهه، جهت شیب، بارش فاصله از روستا و جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی، شیب، و لایه خاک برای تولید نقشه تناسب به‌کاربرده شد. در این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI 5.3، TerrSet، eCognition9، Google Earth pro و SUPER DECITION استفاده شده است.

1- 1NASA

### ۳-۱- پیش‌پردازش و طبقه‌بندی تصاویر

انجام عملیات پیش‌پردازش بر روی تصویر (شامل تصحیح هندسی، رادیومتریک و اتمسفری) آن را برای پردازش آماده می‌کند. در پژوهش پس از دریافت تصاویر برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹، عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر صورت گرفت و عملیات موزاییک تصاویر به دلیل عدم پوشش منطقه موردمطالعه بر روی تصویر استر با دو فریم تصویر انجام شد و با استفاده از ترکیب رنگی مناسب عمل ادغام بر روی تصاویر لندست ۵ با باند NIR تصویر استر و لندست ۸ با باند پانکروماتیک و برای تصویر ۲۰۱۹ لندست ۸ از باند پانکروماتیک و باندهای ۱۰ متری تصویر سنتینل-۲ انجام‌شده به تصاویری با پیکسل سایز ۱۵ متر ارتقاء یافتند. بر همین اساس از روش CN Spectral Sharpening برای ادغام تصاویر استفاده شد. این روش برای جداسازی مرز عوارض بهتر عمل می‌کند. اصول کار روش طبقه‌بندی پیکسل پایه براساس انعکاس طیفی حاصل از پدیده‌های زمینی است که سنجنده آن را دریافت می‌کند؛ درحالی‌که طبقه‌بندی شیءگرا علاوه بر ویژگی‌های طیفی از ویژگی‌های مکانی، شکل[1]، رنگ بافت[2] و ویژگی‌های دیگر نیز برای شناسایی پدیده‌ها استفاده می‌کند. درنهایت طبقه‌بندی شیءگرا با استفاده از روش اساین کلاس (Assign Calss) صورت گرفت. نقشه کاربری‌ها در پنج طبقه جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی ساخته‌شده و محدوده آبی برای سال‌های موردمطالعه تهیه و نقشه بولین (جنگل و غیر جنگل) منطقه تهیه شد.

لازمه به‌کارگیری هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صلاحیت و درستی آن است. برای ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، با مطابقت دادن نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با نقشه‌های واقعیت زمینی حاصل از مطالعات میدانی، ماتریس خطا تشکیل می‌شود و براساس آن دقت کلی، دقت کاربر، دقت تولیدکننده و ضریب کاپا مشخص می‌شود ***(Lillesand et al., 2014: 577)***.

برای تهیه نقشه تناسب از متغیرهایی همچون خصوصیات فیزیکی خاک، اندازه و ابعاد زمین ویژگی‌های توپوگرافی شیب، ناهمواری‌ها و میزان خطرپذیری محدوده به لحاظ گسل و خطر زمین‌لرزه استفاده می‌شود ***(رضویان،۲۰۰۲)***. برای نقشه تناسب از معیارها و زیرمعیارها شامل معیار انسانی (فاصله از جاده، فاصله از روستا، جمعیت)، توپوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) و زیست‌شناختی (کاربری اراضی، لیتولوژی، خاک) و معیار اقلیمی (میانگین بارش سالیانه، دما، ارتفاع، شیب، جهت شیب، آبراهه) استفاده شد. تهیه نقشه تناسب در سه مرحله: الف) آماده‌سازی لایه‌ها در محیط GIS، ب) وزن‌دهی لایه‌ها در نرم‌افزار Super decision؛ ج) استانداردسازی و ضرب لایه‌ها در وزن‌ها انجام شد و درنهایت پهنه‌بندی گردید. در وزن‌دهی، تعریف روابط بین معیارها و زیر معیارها در نرم‌افزار سوپر دسیژن براساس ارجحیت و اهمیت هر معیار و عنصر در تحقق هدف و تأثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر با مقایسه زوجی (دودویی) مشخص می‌شود. برای مقایسه زوجی از سیستم استاندارد نمره‌دهی جدول (۲) استفاده‌شده است.

**جدول۲: سیستم استاندارد نمره دهی برای ۹ اولویت**

| متغیر زبانی | اعداد قطعی |
|---|---|
| کاملاً مطلوب | ۹ |
| اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی | ۷ |
| اهمیت یا مطلوبیت قوی | ۵ |
| کمی مهم‌تر یا مطلوب‌تر | ۳ |
| اهمیت یا مطلوبیت یکسان | ۱ |
| ترجیحات بین فواصل فوق | ۲ و ٤ و ٦ و ۸ |

**(Abedi H G,Feizizadeh, 2017: 18؛Neaupane andPiantanakulchai, 2006).**

برای تشکیل سوپر ماتریس و استخراج اولویت‌های نهایی مؤلفه‌ها، تمامی بردارهای اولویت اولیه که از ماتریس‌های مقایسه دودویی به‌دست‌آمده، به ماتریس ستونی معرفی می‌شود ***(Yüksel and Dagdeviren, 2007:)***. در این

1- Shape
2- Texture

صورت اعداد واقع در سطرهای سوپر ماتریس را پس از نرمال‌سازی، می‌توان به‌عنوان وزن‌های نهایی معیارها معرفی کرد *(زبردست، ۱۳۸۸؛ عبادی و فیضی‌زاده، ۲۰۱۷)*.

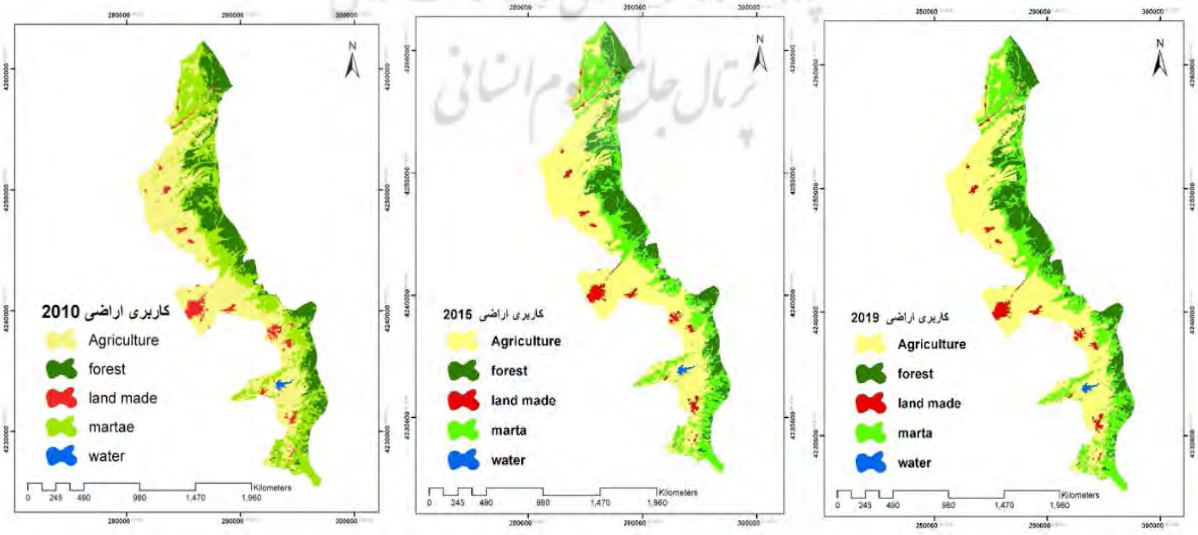
### ۳- ۲- مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل

در این مرحله با استفاده از مدل GEOMOD تغییرات کاربری جنگل و غیر جنگل پیش‌بینی می‌شود که در این روش نیاز به نقشه تناسب برای شبیه‌سازی تغییر از یک طبقه به طبقه دیگر است که برای تهیه نقشه تناسب از لایه‌هایی مانند نقشه شیب، میانگین بارش سالیانه، دما، ارتفاع، فاصله از جاده و ... استفاده می‌شود***(Ghorbani et al, 2014)*** . مدل GEOMOD برای شبیه‌سازی تغییر کاربری از دو نقشه پایه و پیش‌بینی استفاده می‌کند؛ که با استفاده از مدل زنجیره مارکوف ماتریس احتمال تولید و با معرفی آن به مدل CA مارکوف نقشه پیش‌بینی تولید می‌شود. نقشه میزان احتمال تغییر در هر پیکسل، با توجه به متغیرهای مستقل صورت می‌گیرد که مقادیر بالا در این نقشه نشان‌دهنده مکان‌هایی با احتمال بالاتر تغییر است. متغیر وابسته در مدل GEOMOD نقشه طبقه کاربری زمین موردنظر در سال شروع مدل‌سازی است که این نقشه از نقشه کاربری زمین منطقه مطالعاتی استخراج می‌شود. درنهایت شبیه‌سازی برای سال ۲۰۲۵ با مدل GEOMOD انجام گرفت.

### ٤- یافته‌های تحقیق و بحث

نتایج مدل‌سازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، افزایش و یا کاهش مساحت کلاس پوشش جنگلی طی دورهٔ ۹ ساله، نشان‌دهنده این واقعیت است که تغییرات پوشش جنگلی روند کاهشی دارد (نگاره ۵). در سال ۲۰۱۰ از ۳۲۰٤/۱۸ به ۳۰۸۳/۷۵ در سال ۲۰۱۵ از ۳۱۵۹/۹٦۷ به ۳۱۵۹/۱ کاهش‌یافته است؛ که میزان نرخ تغییرات برای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ با نرخ کاهش سالیانه ۱۰/٤٤ هکتار است.

نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی در پنج طبقه جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی ساخته‌شده و سطوح آبی تهیه شد (جدول ۳) برای این کار از روش طبقه‌بندی شیءگرا و الگوریتم اساین کلاس برای تهیه نقشه کاربری‌ها برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ استفاده شد. دقت کاپا برای نقشه‌های تولیدشده به ترتیب از راست به چپ ۸۷٪، ۹۰٪ و ۹۱٪ می‌باشد که در نگاره (۳) ارائه شده است.




**نگاره۳: نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های موردمطالعه**

برای وزن‌دهی متغیرهای به‌کاررفته در نقشه تناسب اراضی در اینجا از روش‌های فازی‌ای ان پی استفاده شد. بعد از ایجاد ساختار شبکه و مقایسه زوجی وزن نهایی هر یک از معیارها و زیر معیارها با ضریب ناسازگاری ۰/۰٦ به دست آمد که قالب عمومی سوپر ماتریس حد در جدول (۵) ارائه‌شده است. همچنین وزن نهایی حاصل از مدل فازی‌ای ان پی در جدول (٤) نشان داده می‌شود.

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه زوجی معیارها و زیر معیارها در زیر معیارها کاربری اراضی، فاصله از جاده تأثیرگذاری بالایی داشته‌اند معیار انسانی با تأثیرگذاری ۰/۱۲ و معیار توپوگرافی ۰/۱۰ به ترتیب بالاترین تأثیرگذاری را بر روند تغییرات پوشش جنگلی دارند.

درواقع می‌توان گفت که ارتفاع خود می‌تواند از عوامل تأثیرگذار در رخداد آتش‌سوزی، عامل افزایش دما پیامد کاهش بارش در این منطقه باشد که امکان دارد به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم تأثیرگذار باشند اما اصلی‌ترین عامل

**جدول۳: مساحت کاربری برای سال‌های موردمطالعه**

| | مساحت کاربری‌های تولیدشده واقعیت زمینی (هکتار) | | |
|---|---|---|---|
| | سال ۲۰۱۰ | سال ۲۰۱۵ | سال ۲۰۱۹ |
| جنگل | ۳۲۰٤/۱۸ | ۳۱۵۱/۹٦۷ | ۳۰۷۰/۵۵۲ |
| اراضی کشاورزی | ۸۵۱۵/۸ | ۹۰٦۰/۰٤ | ۹۰۳۰/۹۸۲ |
| مرتع | ۵۵۷۵/۲۹۷ | ۵۱۰۳/۰٦ | ۵۱۲۹/۰۵۵ |
| سطوح آبی | ٦٦/٤۲ | ٤۹/۲۹۷ | ٤۸/۵۷۷ |
| اراضی ساخته‌شده | ۵٦۱/٦۹۷ | ۵۵/۸۸۵ | ٦۵۲/۳۲ |

**جدول٤: وزن نهایی حاصل از مدل فازی ANP در نرم‌افزار Super Decision**

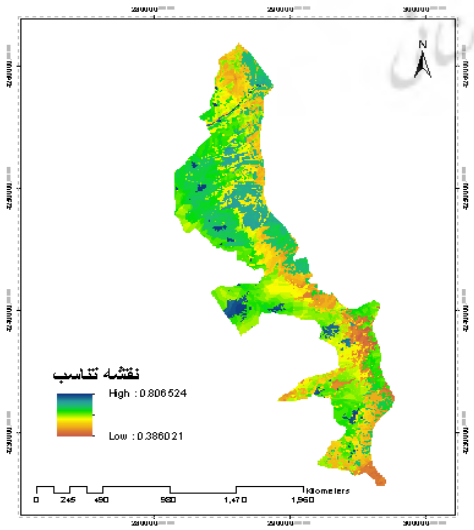
| نام | حد نهایی | حد نرمالیزه | نام | حد نهایی | حد نرمالیزه |
|---|---|---|---|---|---|
| آبراهه | ۰/۰۲۳۷٤۵ | ۰,۰٤۷۱۵ | لیتولوژی | ۰/۰٦۱۲۰٦ | ۰/۱۲۱۵٤ |
| جهت شیب | ۰/۰۲٤۵۹۹ | ۰/۰٤۸۸۵ | شیب | ۰/۰٤۱۲۱۵ | ۰/۰۸۱۸٤ |
| بارش | ۰/۰۲۹۸۷۵ | ۰/۰۵۹۳۲ | خاک | ۰/۰۳۳۲٦۲ | ۰/۰٦٦۰۵ |
| فاصله از جاده | ۰/۰۳۳٦۵۲ | ۰/۰۹٦۹۷ | تراکم جمعیت | ۰/۰۳۷۰۷٤ | ۰/۰۷۳٦۲ |
| فاصله از روستا | ۰/۰٤۸۸۳۳ | ۰/۰۹۹۱۲ | اقلیم | ۰/۰۸۲۲۳۹ | ۰/۱٦۵٦۷ |
| دما | ۰/۰٤۲۸۱٤ | ۰/۰۸۵۰۲ | انسانی | ۰/۱۳۵۳۳٦ | ۰/۲۵۸۵۹ |
| مدل رقومی ارتفاع | ۰/۰۵۲۳۷۹ | ۰/۱۰٤۰۱ | توپوگرافی | ۰/۱۷۷۷۸٦ | ۰/۳۵۸۱۵ |
| کاربری اراضی | ۰/۰۷٤۹٤۵ | ۰/۱٤۸۸٤ | زیست شناختی | ۰/۱۰۱۰٤ | ۰/۲۰۳۵۵ |
| هدف | ۰ | ۰ | هدف | ۰ | ۰ |

جدول۵: قالب عمومی سوپر ماتریس[1] حد

| خوشه | آبراهه | جهت شیب | بارش | فاصله از جاده | فاصله از روستا | دما | DEM | کاربری اراضی | لیتولوژی | شیب | خاک | اقلیم | انسانی | توپوگرافی | زیست شناختی | هدف |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| زیر معیارها | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۲۳ |
| | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۴ |
| | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۰۲۹ |
| | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ |
| | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۴۸ |
| | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ |
| | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۵۲ |
| | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۷۴ |
| | /۰۶۱۶ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۱ |
| | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۱ |
| | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ |
| | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۳۷ |
| معیار | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ |
| | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ | ۰/۱۳۵ |
| | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ |
| | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۲ |
| هدف | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰۰۰۰ | ۰/۰۰۰ |

انسانی است که به‌طور مستقیم با تغییرات پوشش جنگلی در ارتباط است.

در نقشه تناسب لایه‌های به‌کار رفته در مدل فازی‌ای ان پی بعد از طبقه‌بندی براساس ارزش، فازی‌سازی‌شده و در وزن‌های خود ضرب شدند و درنهایت توسط Fuzzy Overlay هم‌پوشانی انجام گرفت. نتیجه نقشه تناسب به‌دست‌آمده، حاصل خروجی تابع OR است که نسبت به توابع دیگر نتیجه بهتری داشت که در نگاره٤ نمایش داده شده است.

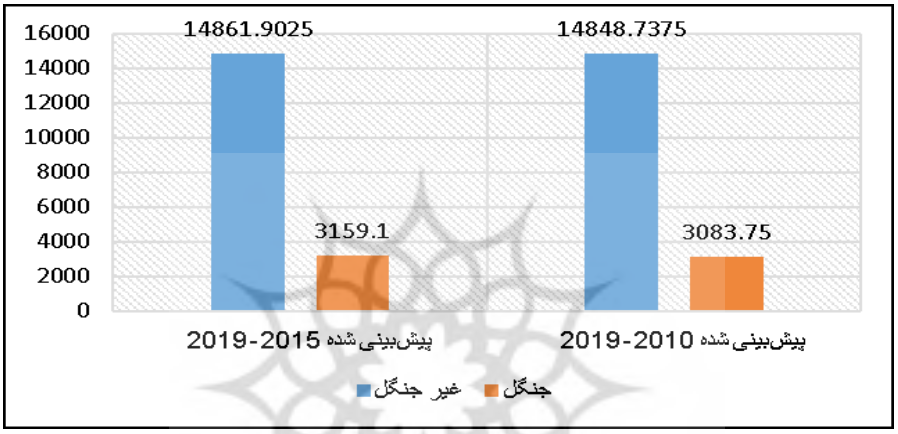



نگاره٤: نقشه تناسب مناطق حساس به تغییر کاربری جنگل

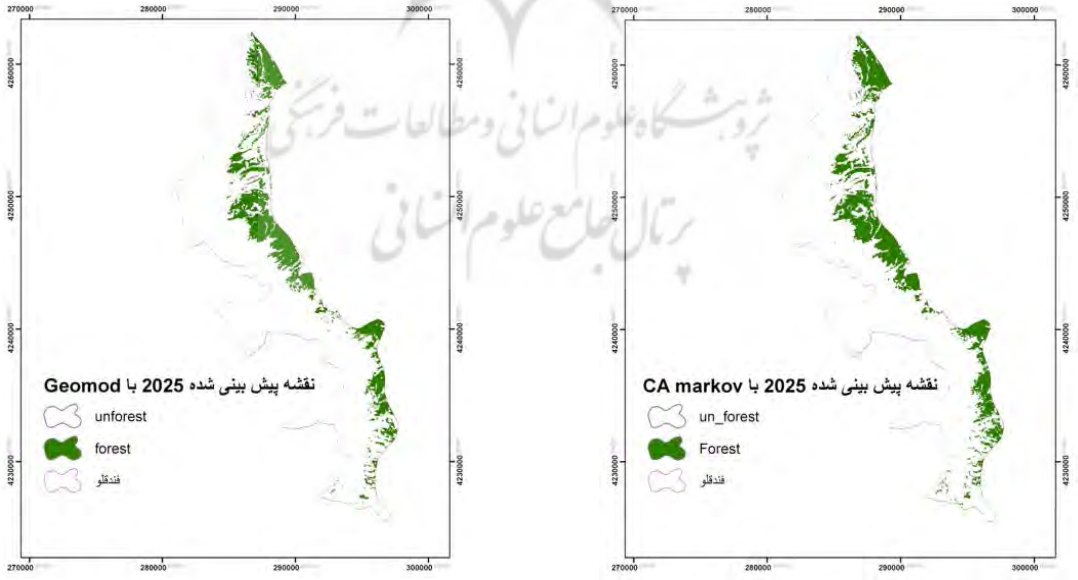
1- Limit Sper Matrix

نتایج حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار Terra Set برای مدل‌سازی نقشه پوشش جنگل برای سال ۲۰۱۹– ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹–۲۰۱۵ در نگاره‌های (۵ و ٦) نمایش داده شده است.

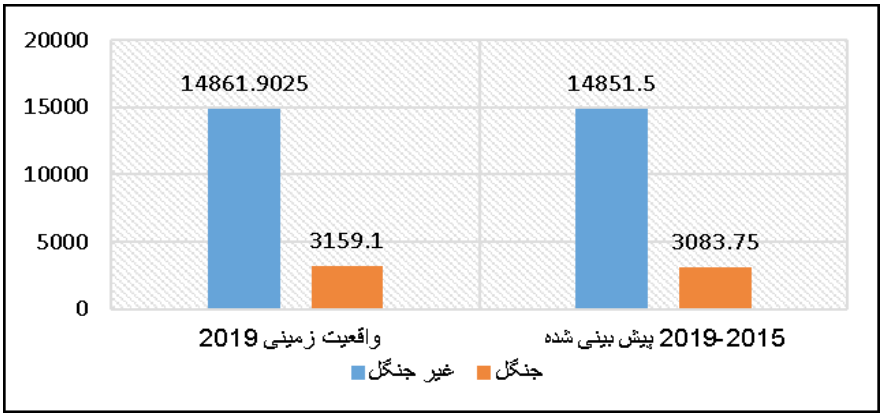
ازآنجایی که برای پیش‌بینی تغییرات کاربری جنگل برای سال ۲۰۲۵ با مدل GEOMOD به نقشه کاربری ۲۰۲۵ نیاز است بنابراین با استفاده از کاربری ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ با مدل CA مارکوف برای سال ۲۰۲۵ مدل‌سازی شد که مدل‌سازی تغییر کاربری ۲۰۱۰ –۲۰۱۹ برای ارزیابی مدل از نظر تأثیر روند تغییرات و فاصله زمانی بیشتر برای ارزیابی مدل GEOMOD است که با یک درصد کاهش دقت همراه بود. نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات مکانی جنگل برای سال ۲۰۲۵ از نقشه کاربری بولین نقشه با استفاده از CA Markov و GEOMOD در نگاره٦ نمایش داده‌شده است.




**نگاره۵: نتایج حاصل از مدل‌سازی و پیش‌بینی کار بری جنگل در سال ۲۰۱۹**




**نگاره٦: نقشه‌های بولین پیش‌بینی‌شده با مدل CA Markov و GEOMOD**




**نگاره۷: نتایج حاصل از مدل‌سازی و پیش‌بینی کاربری جنگل با مدل GEOMOD برای سال ۲۰۲۵**

### ٤- ١ ارزیابی دقت مدل GEOMOD

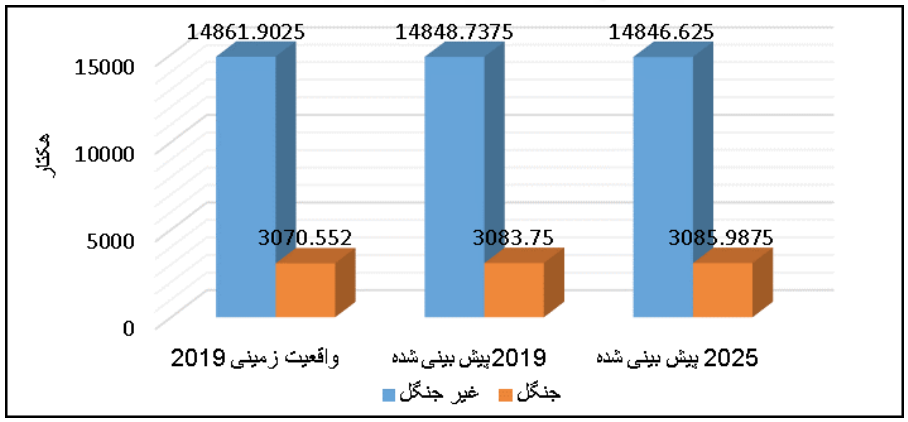
برای ارزیابی دقت مدل‌سازی، نقشه حاصل از آن در یک‌زمان خاص معمولاً با نقشه واقعی مربوط به همان زمان مقایسه می‌شود *(Rashmi, Mahajan & Lele, 2017: 6)*. همچنین طبق نتایج مطالعات Zhou (۲۰۰۸) و Pierce (۲۰۱۵)، بهره‌گیری از تکنیک‌های طبقه‌بندی شئ‌گرا در کنار اطلاعات طیفی و پارامترهای دیگر تصویری (شاخص‌های پوشش گیاهی) به‌طور هم‌زمان منجر به افزایش دقت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. برای ارزیابی دقت مدل از میزان توافق و عدم توافق مکانی پیکسل‌ها استفاده شد. در این روش نقشه پیش‌بینی‌شده و نقشه واقعی ازنظر تعداد سلول‌ها برای هر کلاس و همچنین موقعیت مکانی سلول‌ها در دو تصویر مقایسه می‌شوند و شاخص کاپا برای مقایسه بین صفر و یک برای تفسیر نتایج استفاده می‌شود *(پنتیوس و همکاران،۲۰۰۰)*.

مقادیر دقت نقشه‌های تولیدشده در جدول (٦) ارائه شده است.

**جدول٦: توافق و عدم توافق بین نقشه پیش‌بینی‌شده با واقعیت زمینی**

| سال‌های‌مورد ارزیابی | Kstandard | Kno | Klokation | Klocation Strata |
|---|---|---|---|---|
| ۲۰۱۰-۲۰۱۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ |
| ۲۰۱۵-۲۰۱۹ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ |
| ۲۰۱۹-۲۰۲۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ |

همانگونه که در نگاره (۷) مشاهده می‌شود مساحت پوشش جنگلی در نقشه واقعیت زمینی حدود ۳۱۵۹ هکتار است که روند تغییرات آن در نقشه پیش‌بینی‌شده برای ۲۰۱۹ به ۳۰۸۳ کاهش‌یافته و برای سال ۲۰۲۵ نیز به‌صورت کاهشی می‌باشد. این بیانگر آن است که مقدار کاهش مساحت برای سال ۲۰۲۵ نسبت به ۲۰۱۹ کمتر شده است.




**نگاره۸: نمودار تغییرات مساحت کاربری جنگل فندقلو با مدل GEOMOD**

## ۵- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر باهدف پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگلی منطقه فندقلو برای سال ۲۰۲۵ با دوره ۹ساله (۲۰۱۹-۲۰۱۰)، با استفاده از مدل GEOMOD صورت گرفت. از آنجایی‌که برای اجرای مدل GEOMOD نیاز به نقشه تناسب منطقه است، نقشه تناسب با چهار معیار و زیر معیارها، زیر معیار توپوگرافی، انسانی، اقلیم و زیست‌شناختی به ترتیب وزن ۰/۳۵۸، ۰/۲۵۸، ۰/۲۰۳ و ۰/۱۶۵ رادارند که توپوگرافی بالاترین وزن را در نرم‌افزار Super Decision به دست آورد. از میان زیر معیارها نوع کاربری اراضی تأثیر بالایی در تغییرات منطقه دارد. خروجی نهایی نقشه تناسب بعد از اعمال وزن‌ها به‌دست‌آمده توسط توابع بولین تهیه شد. سپس بر پایهٔ مدل تلفیقی CA مارکوف تغییرات پوشش جنگلی احتمالی تخمین زده شد *(راحلی نمین و مرتضوی، ۱۳۹۵)*؛ و نقشه پوشش جنگلی برای سال ۲۰۲۵ با استفاده از نقشه کاربری ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ برای پیش‌بینی تغییرات مکانی جنگل تهیه شد؛ که برای ارزیابی دقت مدل از میزان توافق و عدم توافق مکانی پیکسل‌ها با شاخص‌های Klocation و kstandard برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ و ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ به ترتیب، ۹۵، ۹۶ و ۹۸ درصد به‌دست آمد؛ که دقت بالای مدل است. نتایج GEOMOD برای سال ۲۰۲۵ از ۳۲۰۴/۱۸ هکتار به ۳۰۸۵ هزار هکتار خواهد رسید و همچنین مدل‌سازی تغییرات کاربری جنگل از ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ از ۳۱۵۹ به ۳۰۸۳ و برای سال ۲۰۱۰ -۲۰۱۹ از ۳۰۷۸ به دست آمد؛ که بیانگر این است که در دوره دوم روند کاهشی کمتر بوده است. پژوهش‌های انجام‌شده در نقاط مختلف کشور بر کاهش سطح مناطق جنگلی در دهه‌های آتی دلالت دارند *(قربانیان و خیبری،۲۰۱۷، نوزری و همکاران، ۱۳۹۹)*. رمضانی 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. همچنین نتایج استفاده از تصاویر مختلف و روش طبقه‌بندی شیءگرا باعث افزایش دقت و بهبود طبقه‌بندی در این پژوهش شد و نیز نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که فرآیندهای مکانی تغییر نیز ارزیابی مفیدی برای مقایسه کارایی مدل هستند. لذا پیشنهاد می‌شود نتایج مدل با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در این منطقه نیز مقایسه شود. همچنین قابل‌ذکر است که در مدیریت جنگل باید به سرمایه اجتماعی موجود و انسجام در جوامع محلی و یافتن راه‌حل‌هایی برای همکاری متقابل توجه شود و سیاست‌های متناسب با شرایط محلی برای حل مشکلات زیست‌محیطی و ترویج اعتمادسازی اتخاذ شود.

## ٦- منابع و مآخذ

۱- ابراهیمی، رسولی؛ حمید، علی‌اکبر (۱۳۹٦). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از پردازش شی‌گراء تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA-Markov (مطالعه موردی: شهر شیراز). فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۸).۱۰۸، صفحات ۱۳۸-۱٤۹.

۲- اندریانی، رضایی مقدم، ولیزاده کامران، الماس‌پور؛ صغرا، محمدحسین، خلیل، فرهاد (۱۳۹٦). شبیه‌سازی زمانی مکانی تغییرات کاربری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق روش‌های تحلیل زنجیره مارکوف و GEOMOD با تأکید بر کاربری باغ (مطالعه موردی: حوضه صوفی چای مراغه)، مجله مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۰(٤)، صفحات ۸۳۵- ۸۲۲.

۳- پارسا مهر، غلامعلی فرد؛ کوشا، مهدی (۱۳۹٤)، مقایسه رویه‌های مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری اراضی و استلزام آن‌ها به‌عنوان خط مبنای پروژه‌های REDD در استان مازندران، اولین اجلاس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، تهران،https://civilica.com/doc/461617

٤- جویباریان شوشتری، شایسته، غلامعلی فرد، آذری، لوپز مورنو؛ شریف، کامران، مهدی، محمود، خوان ایگناسیو (۱۳۹٦). قشر سنجه‌های سیمای سرزمین و فرآیندهای

مکانی تغییر در ارزیابی کارایی مدل GEOMOD (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا رود)، جغرافیا و پایداری محیط، ۲٤، صفحات ٦۳- ۷۳.

۵- حیدری‌زادی، محمدی؛ زاهده، عبدالرضا(۱۳۹۵). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دشت مهران با استفاده از مدل سلول‌های خودکار - مارکوف، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال ۵، شماره ۱۰، صفحات ۵۷- ٦۸.

٦- راحلی نمین، بهناز؛ مرتضوی، ثمر، (۱۳۹۹). پیش بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف و روش ژئومد، مطالعهٔ موردی: حوضه آبخیز قره‌سو، استان گلستان، فصلنامه ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه واحد اهر، سال هجدهم (٦۲)، صفحات ۱٦۹

۷- رستمی‌کیا، شریفی؛ یونس، جابر (۱۳۹۷). فندقلو بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه جنگلی صندوق ایران را دریابید. طبیعت ایران، اردبیل، جلد ۳، ٦(۱۳).

۸- رمضانی، جعفری؛ نفیسه، رضا (۱۳۹۳). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱٤۰٤ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین) فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(٤)، پیاپی ۱۱۵، ۸٤- ۹۵.

۹- زبردست، جعفری، باده‌یان، عاشق معلا؛ لعبت، حمید رشا، ضیاالدین، مریم (۱۳۸۹). ارزیابی روند تغییرات پوشش اراضی منطقه حفاظت‌شده ارسباران در فاصله زمانی ۲۰۰۲، ۲۰۰٦ و ۲۰۰۸ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش‌های محیط‌زیست، شماره ۱، صفحات ۲۳- ۳۳.

۱۰- عزیزی قلایی، رنگزن، تقی‌زاده، احمدی؛ سارا، کاظم، ایوب، شهرام (۱۳۹۱). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه کو همره سرخی استان فارس. تحقیقات علمی- پژوهشی جنگل و صنوبر ایران. ۳(۲۲)، صفحات ۵۸۵- ۵۹۵.

۱۱- فرجی سبکبار، حسنعلی(۱۳۸۹) مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه‌ای تحلیل (ANP)، فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی دورهٔ ۱٤، شمارهٔ ۱٤، بهار، صفحات ۱۲۷ -۱٤۹.

۱۲- فلاحتکار، ساره (۱۳۸۷). بررسی توانایی مدل GEOMOD در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به بررسی تغییرات رخ‌داده در اکوسیستم دیلمان استان گیلان با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره لندست، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی.

۱۳- فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۹٦). ارزیابی تطبیقی تکنیک پردازش پیکسل پایه و شی‌گراء در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای Aster برای استخراج نقشه‌های اراضی کشاورزی باغی در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه، فصلنامه علمی پژوهشی سپهر اطلاعات جغرافیایی، ۲۸، (۱۰۹)، ۱٦۰-۱٦۹.

۱٤- قربانیان خیبری، میر سنجری، آرمین؛ وجیهه، میر مهرداد، محسن (۱۳۹٦). پیش‌بینی تغییرات کاربری جنگل در حوضه آبخیز چالوس رود، سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۲).

۱۵- کامکار، علیزاده دهکردی، اعلایی باز کیانی، عبدی؛ بهنام، پریسا، پویا، امید (۱٤۰۰). تعیین میزان انطباق اراضی زیر کشت محصول سویا با نقشه‌های تناسب اراضی (مطالعه موردی: استان گلستان)، مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ٤٤، شماره،۱، صفحات ۱۲۲- ۱۳۹.

۱٦- کیانی، نظری سامانی، فقیهی، علیزاده شعبانی؛ واحد، جهانگیر، علی اکبر، افشین (۱۳۸۷)، آشکارسازی تغییرات پوشش/کاربری منطقه طالقان با استفاده از سنجش از دور، مجله علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۲(۸۷)، ص ۲۸-۳۵.

۱۷- محمدی لرد، عبدالمحمود(۱۳۸۸) فرآیندهای تحلیل شبکه‌ای، انتشارات البرز فردانش، تهران.

۱۸- مخدوم، مجید(۱۳۷۰) ارزیابی توان اکولوژیکی منطقهٔ گیلان و مازندران برای توسعهٔ شهری، صنعتی، روستایی و توریسم، محیط‌شناسی، صص. ۱۰۰ -۸

۱۹- مولوی گنابادی، طالعی، جوادی؛ معین، محمد، قاسم، (۱۳۹۸). ارزیابی تناسب اراضی مبتنی بر روش‌های تصمیم- گیری چندمعیاره مکانی جهت استقرار نیروگاه‌های بادی در

استان خراسان رضوی، سنجش از دور و GIS ایران سال ۱۱، شماره ۳، صفحات ۶۰- ۷۸.

۲۰- نوذری، صالحی، آرمین، فرزین؛ فاطمه، علیرضا، محسن، محسن (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگلی منطقه بویراحمد با استفاده از مدل GEOMOD، فصلنامه علمی پژوهشی جنگل، جلد ٦، شماره (۳)، صفحات ٤٦٣- ٤٧٦.

21- Abedi, H G; Feizizadeh, B. (2017). An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decisio making systemsn applied to landslide risk mappin, Journal of African Earth Sciences. 133,PP 15-24.

22- Azareh, A; Rafiei Sardooi, E, Gholami, H; Mosavi, A; Shahdadi, A; Barkhori, S. (2021). Detection and prediction of lake degradation using landscape metrics and remote sensing dataset, Environmental Science and Pollution Research. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12522-8. 2012, 1, 3-31.

23- Blaschke,T. (2010). Object based image analysis for remote sensing", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65, pp 2-3.

24- Clark Labs. (2009).The Land Change Modeler for ecological Sustainability", IDRISI Focus Paper, Worcester.

25- Duro, D.C & et al.)2012). A comparison of pixelbased and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery, Remote Sensing of Environment 118, 259-272.

26- Fan, F; Wang, Y; Wang, Z. (2008). Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images, Environmental Monitoring and Assessment, 137 (1), 127-147.

27- Gilmore, C.H. (2006). GEOMOD Modeling, USA: Clark University, P. 44.

28- Lillesand, T; Kiefer, R. W; Chipman, J. (2014). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York, PP. 763.

29- Lopez, E; Gerardo, B; Manuel, M; Emilio, D. (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe - A case in Morelia city, Mexico, Landscape and Urban Planning, 55 (4), 271-285.

30- Myint Soe, W; Wang, L. (2006). Multicriteria decision approach for land use land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach, Canadian Journal of Remote Sensing, 32 (6), pp390-404.

31- Neaupane, K.M; Piantanakulchai, M; (2006). Analytic network process model for landslide hazard zonation. Eng. Geol. 85, 281e294. http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.02.003

32- 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), pp 243–265.

33- Pontius Jr; Robert G (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps, Engineering and Remote Sensing, 66 (8), 1011-1016. 20- Pontius, Robert.

34- Rostami Kia, Y; Little Tabari, M; Ahmadzadeh, A; Rahmani, A. (2017). The effect of growth-promoting bacteria on vegetative traits and nutrients of hazelnut seedlings in Ardabil hazelnut nursery. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25 (1):116-126.

35-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.Vol. 9 No. 1pp. 35-44.

36- Walter, V. (2004). Object-based classification of remote sensing data for change detection. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing 58(3), PP 225-23.

**COPYRIGHTS**

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-ND 3.0)