دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸ صفحات ۱۸۹-۱۷۱

**وحید نصیری**[۱]
***علی اصغر درویش صفت**[۲]
**انوشیروان شیروانی**[۳]
**محمد عواطفی همت**[٤]

# آشکارسازی و مدلسازی تغییرات گستره جنگل‌های ارسباران با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک–زنجیره مارکوف و مدل ژئومد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۸/۰۳

## چکیده

آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی و شناسایی متغیرهای موثر بر تغییرات برای مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح استفاده از سرزمین امری ضروری است. هدف از انجام این مطالعه، آشکارسازی تغییرات سطح جنگل‌های ارسباران در طول دو دوره زمانی ۱۲ ساله و همچنین مدل‌سازی و پیش‌بینی چگونگی تخریب پوشش جنگلی می‌باشد. به این منظور تصاویر سنجنده‌های TM لندست ۵ سال (۱۳٦۹)، +ETM لندست ۷ سال (۱۳۸۱) و OLI لندست ۸ سال (۱۳۹۳) تهیه و با استفاده از روش تفسیر تلفیقی و داده‌های کار میدانی طبقه‌بندی شدند. پس از تهیه نقشه‌های پوشش جنگلی منطقه در دو کلاسه جنگل پرتراکم و جنگل کم‌تراکم، تغییرات سطح جنگل در دوره‌های زمانی (۱۳۸۱-۱۳٦۹، ۱۳۹۳-۱۳۸۱و ۱۳۹۳-۱۳٦۹) آشکارسازی و همچنین تغییرات پوشش جنگلی در طبقات مختلف متغیرهای موثر بر تغییرات برآورد شد. مدل‌سازی تغییرات سطح جنگل‌ها در طول مدت مطالعه با استفاده از رگرسیون لجستیک و مدل ژئومد انجام شد و به منظور مقایسه عملکرد این دو روش در پیش‌بینی تغییرات، نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. E-mail: vahid.nasiri@ut.ac.ir
*۲- گروه جنگلداری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی. (نویسنده مسئول). E-mail: adarvish@ut.ac.ir
۳- گروه جنگلداری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی.
٤- گروه جنگلداری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

برای سال (۱۳۹۳) تهیه و با نقشه واقعی همان سال مورد اعتبار سنجی قرار گرفت. نتایج آشکارسازی نشان داد که در طول ٢٤ سال، ۹۹۲ هکتار از جنگل‌های پرتراکم و ۱۵۹۲ هکتار از جنگل‌های کم‌تراکم کاهش یافته است. نتایج مدل‌سازی کاهش پوشش جنگلی نشان داد که متغیرهای فاصله از جاده، فاصله از مسکونی، ارتفاع و شیب رابطه مستقیمی با کاهش اراضی جنگلی دارند، در حالی‌که بین کاهش اراضی جنگلی با متغیرهای فاصله از جنگل و جهت رابطه معکوس وجود دارد. نتایج اعتبار سنجی نقشه پوشش جنگلی پیش‌بینی شده سال (۱۳۹۳) نشان دهنده صحت کلی و مقدار شاخص کاپا به‌ترتیب برابر با ۹٦/۸ درصد و ۰/۹۳٤۲ برای نقشه پیش‌بینی شده با مدل لجستیک-زنجیره مارکوف و همچنین ۹٦/٤ درصد و ۰/۹۲٦۹ برای نقشه پیش‌بینی شده با مدل ژئومد می‌باشد.

**کلید واژه‌ها**: آشکارسازی تغییرات جنگل، تصاویر ماهواره‌ای، مدل لجستیک-زنجیره مارکوف ، مدل ژئومد، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات.

**مقدمه**

در دهه اخیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی، به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل منفی تاثیرگذار بر محیط‌زیست مطرح بوده و با تاثیر بر روی توازن و تعادل ظرفیت‌های آن، توسعه پایدار را به چالش کشانده است (Aguilera et al., 2011: 236; Olmedo et al., 2015: 215) جنگل‌زدایی، توسعه شهرها و کشاورزی و دیگر فعالیت‌های انسانی، فرآیندها و خدمات بوم‌سازگان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد و می‌تواند پیامدهای گسترده و بلند مدتی را ایجاد کند (Mialhe et al., 2015: 70). گسترش شهرها و اراضی کشاورزی موجب کاهش تنوع زیستی، افزایش رواناب سطحی و فرسایش خاک، افزایش گازهای گلخانه‌ای، بالا رفتن دمای کره زمین و تغییر تعادل انرژی در سطح زمین می‌شود (Huang et al., 2015: 4; Mayes et al., 2013: 233; Moreno et al., 2014; 1223). شناخت و ارزیابی تغییراتی که در منابع طبیعی و محیط‌زیست صورت می‌گیرد، می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را از تهدیدات آینده مطلع سازد. آگاهی از روند تغییرات در کاربری و پوشش اراضی نه تنها برای جلوگیری از وقوع آن در آینده الزامی است، بلکه به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح امری ضروری محسوب می‌شود (Mishra et al., 2014: 113). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در طول زمان و اطلاع از الگوی مکانی این تغییرات یکی از پیش شرط‌های اصلی در مدیریت سرزمین به‌شمار می‌رود (Sang et al., 2011: 940). لازمه آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در اختیار داشتن اطلاعات چند زمانه‌ای است. داده‌های سنجش از دوری یک دید وسیع از سیمای سرزمین را ارائه می‌دهند و در نتیجه شناخت الگوها و روابط بین کاربری‌ها را که در روی زمین نمایان نیستند را ممکن می‌سازد. علاوه بر آن امکان تهیه این داده‌ها از زمان‌های مختلف نیز وجود دارد و به همین علت این داده‌ها در مطالعات مربوط به ارزیابی پویایی مکانی و زمانی سرزمین مورد استفاده قرار می‌گیرند (Taleshi et al., 2018: 297).

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

رویشگاه جنگلی ارسباران یکی از مناطق رویشی جنگلی در ایران است، بخشی از جنگل‌های این ناحیه در شمار ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره یا برنامه‌ی انسان و کره مسکون (MAB) قرار گرفته است (Taheri Abkenar & Peyelvar, 2008: 45). در این منطقه مناطقی وجود دارد، که دچار تخریب فراوان و آسیب جدی شده‌اند، از عمده‌ترین این آسیب‌ها می‌توان به چرای بی‌رویه دام و کشاورزی ساکنان روستاها و گسترش روستاهای منطقه اشاره کرد. با توجه به اهمیت حفظ جنگل های ارسباران، کسب اطلاعات در مورد روند و میزان تغییرات صورت گرفته در استفاده از زمین ضروری به نظر می‌رسد. در دهه‌های اخیر مدل‌های متعددی در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش توسعه یافته است که هر یک از این مدل‌ها با استفاده از روش‌ها و داده‌های خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از انجام این مطالعه آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی منطقه در دو دوره زمانی ۱۲ ساله و مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات در ۱۰ سال آینده می‌باشد. همچنین عملکرد مدل‌های رگرسیون لجستیک-زنجیره مارکوف و ژئومد در پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگلی منطقه نیز مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

**پیشینه پژوهش**

در دهه‌های اخیر، با استفاده از داده‌های سنجش از دوری مطالعات متعددی در زمینه آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات (Araya et al., 2010; Rasuly et al., 2010; Chenglin e Baynard et al., 2013; Basse et al., 2014; Hegazy and Kaloop, 2015; Mossivand et al., 2016)، اشاره نمود.

Amini et al (2008) با استفاده از داده‌های سنجش از دوری به بررسی تخریب جنگل‌های زاگرس در منطقه‌ای به مساحت ۱۹۹٦٤هکتار واقع در آرمرده بانه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نزدیکی به جاده مهم‌ترین عامل در تخریب این جنگل‌ها بوده است. همچنین مشخص شد بیش‌ترین تخریب اراضی جنگلی در جهت شرقی و کم‌ترین آن در جهت شمالی صورت گرفته است.

Vafaei et al (2013) با هدف بررسی و پیش‌بینی تغییرات مکانی کاربری اراضی منطقه‌ای واقع در بخش غربی شهرستان مریوان با مساحت ٤٦٨٦٢ از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) استفاده کردند. پس از آشکارسازی تغییرات، به منظور مدل‌سازی از متغیرهای فاصله از جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از حاشیه جنگل، شیب، جهت، ارتفاع و نقشه‌های کاربری استفاده و با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری برای سال (۱۳۹۰) پیش‌بینی شد. نتایج اعتبار سنجی نقشه پیش‌بینی شده نشان دهنده پیش‌بینی به نسبت ضعیف تغییرات رخ داده در منطقه است. انتظار می‌رود با دخالت دادن شرایط اقتصادی-اجتماعی منطقه دقت پیش‌بینی مکانی تغییرات آینده کاربری اراضی را بالا برد. Serra et al (2008) مبادرت به آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رگرسیون لجستیک در منطقه‌ای به مساحت ٤۳٥۱٦ هکتار واقع در شمال‌شرق اسپانیا نمودند. در این مطالعه از متغیرهای میانگین حداقل و حداکثر دما، مدل رقومی ارتفاع و شیب، قطعات تخریب شده جنگل، شاخص گسستگی جنگل، رودخانه‌ها

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

و شرایط اجتماعی منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد که وجود دو رودخانه اصلی در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین نقش را در تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی منطقه دارد.

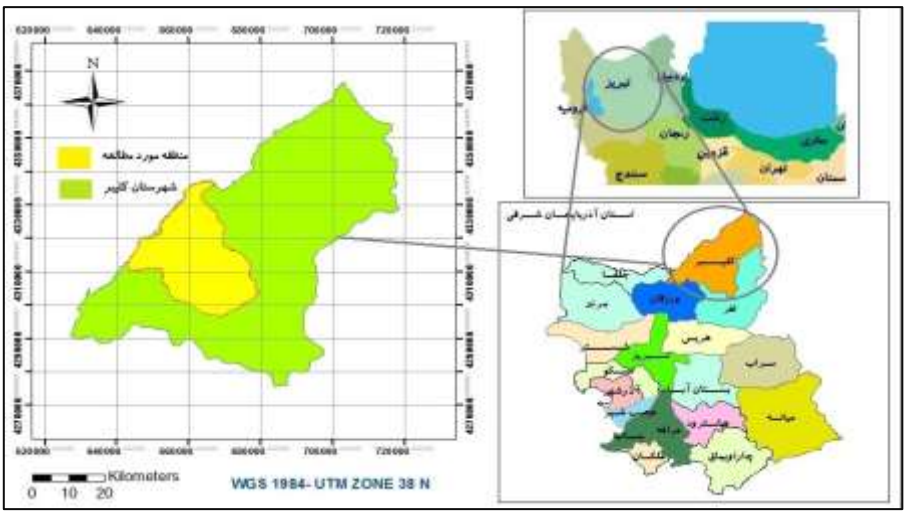
Echeveria et al (2008) در یک مطالعه به‌منظور مدل‌سازی مکانی تخریب جنگل‌های منطقه‌ای به مساحت ۵۰۰۰۰ هکتار در جنوب‌شرقی شیلی، از مدل ژئومد استفاده نمودند. نقشه تناسب با استفاده از متغیرهای موثر در تغییرات شامل؛ ارتفاع، شیب، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از مسکونی، تیپ خاک، فاصله از اراضی تخریب شده، اندازه لکه‌ها یا قطعات جنگلی و فاصله از مرز جنگل تهیه شد. نتایج نشان دهنده توانایی مدل ژئومد در مدل‌سازی و پیش‌بینی پوشش جنگلی منطقه بود. در نهایت بر اساس نقشه پوشش جنگلی سال (۲۰۱۰) و متغیرهای موثر بر تغییرات، تغییرات سطح جنگل‌ها تا سال (۲۰۳۵) شبیه‌سازی شد.

Olmedo et al (2015) مطالعه‌ای با عنوان مقایسه عملکرد مدل سلول‌های خودکار و مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) انجام دادند. هدف این مطالعه، شناسایی بهترین مدل در شبیه‌سازی کمیت و تخصیص تغییرات کاربری در منطقه موریکا واقع در جنوب اسپانیا می‌باشد. با استفاده از تغییرات صورت گرفته در بازه زمانی (۲۰۰۰-۱۹۹۰)، شبیه‌سازی تغییرات برای سال (۲۰۰۶) با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین و مدل سلول‌های خودکار صورت گرفت. به منظور مقایسه عملکرد مدل نقشه‌های پیش‌بینی شده با نقشه واقعیت زمینی سال (۲۰۰۶) مقایسه شدند. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل‌ساز تغییر سرزمین دارای خطای کلی ٪۱۰/۴ است در حالی که خطای کلی نقشه حاصل از سلول‌های خودکار ٪۱۰/۵ می‌باشد. این موضوع نشان دهنده عملکرد بهتر مدل‌سازی تغییر سرزمین در پیش‌بینی تغییرات کاربری منطقه می‌باشد. در اکثر مطالعات از روابط رگرسیونی، مانند رگرسیون لجستیک به منظور تعیین رابطه بین متغیرها و تغییرات صورت گرفته، استفاده شده است. در مطالعات بررسی و مدل‌سازی تغییرات سطح جنگل‌ها، استفاده از متغیرهایی مانند فاصله از اراضی تخریب شده، لکه‌های ایجاد شده، اندازه لکه‌ها، شاخص‌های گسستگی جنگل، فاصله از جنگل و مسکونی و همچنین شرایط توپوگرافی مورد استفاده قرار گرفته است (Valdivieso et al., 2010: 260). با توجه به نقش مهم مردم محلی در بروز تغییرات کاربری اراضی، در نظر گرفتن شرایط اقتصادی و اجتماعی می‌تواند به بهبود نتایج مدل‌سازی و پیش‌بینی این فرآیند منجر شود (Jun, 2008: 2010; Wyman and Stein, 2010: 330).

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی شهرستان کلیبر و در محدوده منطقه حفاظت شده ارسباران قرار دارد (شکل ۱). مساحت منطقه پژوهش ۷۴۰۰۰ هکتار بوده و در گستره جغرافیایی ″۵۰ ′۳۹ °۴۶ تا ″۴۱ ′۱ °۴۷ طول شرقی و ″۴۱ ′۴۳ °۳۸ تا ″۱۱ ′۸ °۳۹ عرض شمالی واقع شده است. پوشش گیاهی منطقه شامل اراضی جنگلی، درختچه‌زار، بوته‌زار و علفزار می‌باشد. اراضی جنگل اغلب در دامنه‌های شمالی پراکنش دارد و پوشش درختچه‌زار نیز در دامنه‌های جنوبی و غربی دیده می‌شود (Darvishsefat, 2006: 74). این منطقه با اختلاف ارتفاعی ۲۶۰۰ متری (۲۸۹۰-۳۰۰ متر)، یک منطقه کوهستانی به‌شمار می‌رود. جهت شیب غالب، شمالی و شمال‌غربی است. بارندگی سالانه در این منطقه بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در نوسان است.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]




**شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه**

**Figure 1: Geographical location of the study area**

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های سنجنده‌های TM، +ETM و OLI ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ استفاده شده است. این تصاویر به‌ترتیب برای سال‌های (۱۳۶۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۳) تهیه شدند. همچنین از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری در مراحل مختلف پژوهش از جمله شناسایی اولیه منطقه از نظر کاربری‌ها و وضعیت توپوگرافی، به عنوان داده جانبی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، استفاده در تصحیح هندسی تصاویر و تهیه مدل رقومی ارتفاع و نقشه‌های منتج شده از آن مورد استفاده قرار گرفتند. در بازدید میدانی به منظور تسهیل در تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی تعداد ٤۰۰ نقطه در کل منطقه مورد مطالعه و در کاربری‌های مختلف برداشت شد. علاوه بر ثبت مختصات نقاط مورد بازدید با دستگاه GPS با استفاده از دوربین دیجیتال تصاویری از منطقه برداشت شد. به علاوه کروکی برخی مناطق بر روی تصاویر ماهواره‌ای چاپ شده از منطقه ترسیم و در نهایت از این اطلاعات به عنوان کلید تفسیر در طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد.

**جدول ۱- تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای مورد استفاده برای طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی**

**Table 1- Satellite images used for temporal LULC classification**

| سنجنده | ردیف | گذر | مبنا | تاریخ | سطح تصحیحات |
|---|---|---|---|---|---|
| TM | ۲۳ | ۱۶۸ | WGS84 | ۱۳۶۹-۰۳-۲۰ | *L1T |
| | | | | ۱۳۶۹-۰۶-۲۷ | |
| ETM+ | ۲۳ | ۱۶۸ | WGS84 | ۱۳۸۱-۰۳-۲۸ | L1T |
| | | | | ۱۳۸۱-۰۷-۲۱ | |
| | | | | ۱۳۸۱-۰۶-۲۵ | |
| OLI | ۲۳ | ۱۶۸ | WGS84 | ۱۳۹۳-۰۳-۰۵ | L1T |
| | | | | ۱۳۹۳-۰۶-۰۶ | |

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

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

**بحث و یافته‌ها**

- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

اطلاعاتی که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شود، در درجه اول به کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده بستگی دارد. با وجود این‌که تصاویر در سطح تصحیحات (L1T) تهیه شده بودند، اما به منظور اطمینان از کیفیت تصاویر و استفاده مناسب‌تر، این داده‌ها از نظر وجود خطاهای رادیومتری و هندسی مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور بررسی کیفیت رادیومتری تصاویر، تک‌تک باندها به صورت منفرد در محیط نرم‌افزاری فتوشاپ به نمایش درآمد و با بزرگ‌نمایی و همچنین ایجاد ترکیبات رنگی مختلف، از نظر خطاهای رادیومتری مورد بررسی قرار گرفتند. تنها در تصاویر +ETM سال (۱۳۸۱)، لکه‌های ابری در منطقه وجود داشت که با تهیه تصویر دوم این مشکل برطرف شد. به منظور بررسی کیفیت هندسی تصاویر، لایه‌های جاده‌ها و آبراهه‌ها از روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰سازمان نقشه‌برداری استخراج و بر روی تک‌تک باندهای تصاویر ماهواره‌ای قرار داده شد. با توجه به اهداف مطالعه، در اختیار داشتن نقشه‌های دقیق از دوره‌های زمانی مختلف ضروری بود. لذا تصاویر ماهواره‌ای باید به روشی مورد طبقه‌بندی قرار می‌گرفتند که در نتیجه آن نقشه‌های دقیق تهیه شود. با توجه به این‌که طبقه‌بندی رقومی نظارت شده و خودکار نمی‌توانست نتایج مطلوبی ارائه دهد، از روش تفسیر تلفیقی استفاده شد. منظور از تفسیر تلفیقی، تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای بر روی صفحه نمایش رایانه می‌باشد، که متکی بر شناخت مفسر است. در این مطالعه به منظور افزایش صحت نقشه‌های حاصل از تفسیر تلفیقی، پیش پردازش‌هایی مانند بهبود کنتراست، ایجاد تصاویر رنگی مناسب و نسبت‌گیری‌های طیفی اعمال شد. همچنین از اطلاعات جنبی نظیر نمونه‌های برداشت شده در بازدید میدانی و اطلاعات غیر طیفی دیگر (نقشه‌های توپوگرافی، موقعیت جاده و روستاها) برای سهولت کار و افزایش صحت تفسیر استفاده شد. در نهایت نقشه‌های پوشش جنگلی قابل اطمینان منطقه با استفاده توام از ٤٠٠ نقطه مرجع حاصل از بازدید میدانی و سایر اطلاعات جانبی و بهره‌گیری از تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌های برای سال‌های (۱۳٦۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۳) با صرف زمان زیاد، تهیه شدند. یکی از موارد مهم در تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای واحد تفکیک نقشه می‌باشد. این واحد اندازه حداقل سطحی است که باید بر روی تصاویر به عنوان یک طبقه در نظر گرفت و تفکیک نمود. بزرگی این سطح بستگی به نوع داده‌ها، مقیاس تفسیر، هدف و کاربری‌های موجود در منطقه دارد. به منظور تهیه نقشه‌های پوشش جنگلی یکنواخت و در یک سطح دقت، تصاویر ماهواره‌ای با یک بزرگ‌نمایی و در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تفسیر شدند. در نتیجه حداقل واحد تفکیک نقشه حدودا ۱*۱ سانتی‌متر یعنی سطحی برابر با ۱ هکتار در نظر گرفته شد. درنهایت به منظور اطمینان یافتن از ترسیم صحیح پلی گون‌ها، در محیط توپولوژی نرم‌افزار Arc Gis قواعدی مثل، همپوشانی پلی‌گون‌ها و یا وجود شکاف بین آن‌ها تعریف و سپس خطاهای موجود اصلاح شد.

- آشکارسازی تغییرات سطح جنگل‌ها

در بخش تجزیه‌وتحلیل تغییرات کاربری اراضی مدل‌ساز تغییر سرزمین این امکان وجود دارد، که بتوان تغییرات رخ داده در کاربری و پوشش اراضی یک منطقه را در یک دوره زمانی خاص آشکار کرد. در این مطالعه، نقشه‌های پوشش

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

جنگلی تهیه شده با اندازه سلول ۳۰ متری به ساختار رستری تبدیل و تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های (۱۳۶۹-۱۳۸۱، ۱۳۹۳-۱۳۸۱ و ۱۳۹۳-۱۳۶۹) آشکارسازی شدند

- تهیه نقشه‌های متغیرها و عوامل موثر بر تغییرات سطح جنگل‌ها

با توجه به کوهستانی بودن منطقه این انتظار می‌رفت که وضعیت توپوگرافی منطقه نقش مهمی را در ایجاد تغییرات در سطح جنگل‌ها ایفا کند. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مدل رقومی ارتفاع نقشه‌های شیب و جهت نیز تهیه شدند. از جمله متغیرهایی که در تخریب پوشش جنگلی یک منطقه می‌تواند موثر باشد چگونگی دسترسی به آن و نزدیکی به مناطق مسکونی است. بر همین اساس نقشه شبکه جاده، مرز جنگل و مناطق مسکونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های پوشش جنگلی و نقشه‌های توپوگرافی تهیه و سپس نقشه‌های فاصله از جاده، فاصله از مرز جنگل و فاصله از مناطق مسکونی تهیه شدند. در نهایت نقشه‌های تهیه شده با توجه به دامنه ارزش‌های هر متغیر و شرایط عمومی منطقه مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند.

- بررسی میزان و موقعیت تغییرات سطح جنگل در ارتباط با متغیرهای تاثیرگذار

هدف از انجام این بخش تعیین میزان و موقعیت تغییر پوشش جنگل پرتراکم و جنگل کم‌تراکم در هر یک از طبقات نقشه های ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، فاصله از جاده و فاصله از مسکونی است. به این منظور پس از تهیه نقشه کاهش پوشش جنگلی پرتراکم و کم‌تراکم، این نقشه‌ها با نقشه طبقه‌بندی شده هر یک از متغیرها تقاطع داده شد. نقشه حاصل نشان‌دهنده میزان و موقعیت تغییر هر کلاسه جنگل در هر یک از طبقات نقشه‌های متغیرها است. در مرحله بعد، با توجه به این‌که مساحت هر یک از طبقات نقشه‌های متغیرها در هر یک از کلاسه‌های جنگل مساوی نیست و همچنین این طبقات در یک کلاسه خاص نیز سطوح متفاوتی دارند، اقدام به تعیین میزان تغییر هر یک از کلاسه‌های جنگل پرتراکم و کم‌تراکم در هر طبقه نسبت به سطح اولیه آن در سال (۱۳۶۹) شد. ابتدا سطح هر کلاسه در سال (۱۳۶۹) و در هر یک از طبقات نقشه‌های یاد شده محاسبه شد. پس از تعیین میزان سطح اولیه هر یک از کلاسه‌ها در سال (۱۳۶۹) در هر یک از طبقات نقشه‌های یاد شده، درصد تغییر جنگل پرتراکم و کم‌تراکم در هر طبقه و میزان تغییر در هر طبقه نسبت به سطح کل محاسبه شد.

- مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها با استفاده از رگرسیون لجستیک

تحلیل رگرسیون این امکان را فراهم می‌کند تا تغییرات متغیر وابسته را از طریق متغیرهای مستقل پیش‌بینی و سهم هر یک از متغیرهای مستقل را در تبیین متغیر وابسته تعیین نمود. در صورتی که متغیر وابسته از نوع اسمی دو وجهی (عضو بودن یا نبودن) باشد از رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود. در این روش، متغیر وابسته باید دارای ماهیت باینری باشد و فقط می‌تواند ارزش یک و یا صفر را به‌خود اختصاص دهد. در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی نقشه تغییرات به عنوان متغیر وابسته و عوامل موثر در تغییرات به عنوان متغیر مستقل وارد مدل می‌شوند. در این بخش دو کلاسه جنگل پرتراکم و کم‌تراکم با یکدیگر ادغام و نقشه جنگل-غیرجنگل تهیه شد. نقشه تخریب جنگل‌ها در طول

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

دوره (۱۳۹۳-۱۳۶۹) به عنوان متغیر وابسته و نقشه‌های ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده و فاصله از مرز جنگل به عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل رگرسیون لجستیک شدند. کارایی این مدل را می‌توان با آماره‌های ROC و $Pseudo\text{-}R^2$ مورد ارزیابی قرار داد. به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر متغیرها در تغییرات سطح جنگل‌ها، هر کدام از متغیرها از مدل رگرسیون لجستیک کنار گذاشته شدند و با مقایسه آماره‌های ROC و $Pseudo\text{-}R^2$ حاصل از حذف متغیر مورد نظر با آماره‌های مدل کامل، نقش متغیرها در کاهش سطح پوشش جنگلی ارزیابی شد. دامنه این دو آماره بین صفر و یک است و هر چه عدد مقدار ROC به یک نزدیک‌تر باشد، مدل ایجاد شده قابلیت بهتری خواهد داشت (Echeveria et al, 200: 5). آماره $Pseudo\text{-}R^2$ بیانگر صحت مدل می‌باشد و مقدار آن بین صفر و یک است (Landau and Everitt, 2003: 228). بر اساس تغییرات سطح جنگل در طول دوره (۱۳۸۱-۱۳۶۹) و تاثیر متغیرهای موثر بر تغییرات، نقشه پوشش جنگلی منطقه برای سال (۱۳۹۳) پیش‌بینی شد. در این رابطه ابتدا تاثیر هر یک از متغیرها در بروز تغییرات با استفاده از ضریب کرامر نمایان و متغیرهای مورد نظر انتخاب شدند. مقدار ضریب کرامر نیز در دامنه صفر و یک قرار دارد و مقادیر کم‌تر از ۰/۱۵ برای یک متغیر نشان‌دهنده توانایی کم آن در پیش‌بینی تغییرات می‌باشد (Eastman, 2009: 3). بر اساس متغیرهای انتخاب شده نقشه پتانسیل تغییرات سطح جنگل‌های منطقه ایجاد شد. میزان تغییرات احتمالی سطح جنگل‌ها برای سال (۱۳۹۳) با استفاده از زنجیره مارکوف محاسبه و در نهایت نقشه پیش‌بینی شده پوشش جنگلی منطقه با لحاظ کردن این تغییرات برای سال (۱۳۹۳) تهیه شد.

- مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها با استفاده از مدل ژئومد

فرآیند مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات با مدل ژئومد نیز انجام و نقشه پیش‌بینی پوشش جنگلی منطقه برای سال (۱۳۹۳) با این مدل نیز تهیه شد. در این مدل میزان و روند تغییرات کاربری اراضی آینده، از روی نقشه تغییرات کاربری بین دو مقطع زمانی قبلی و متغیرهای موثر بر تغییرات برآورد می‌گردد. تعیین محل تغییرات احتمالی آینده از طریق یک رویکرد آماری، استنباطی و تجزیه‌وتحلیل الگوهای زمانی تغییرات کاربری و نقشه‌های متغیرهای وارد شده به مدل و ویژگی‌های بیوفیزیکی منطقه صورت می‌گیرد (Hall, 2006: 12). این روش مدل‌سازی، از نقشه تناسب[5] به منظور پیش‌بینی تغییرات یک کاربری خاص استفاده می‌کند. این نقشه بر اساس وزن‌هایی که برای هر متغیر در نظر گرفته می‌شود، تهیه می‌شود. ارزش هر سلول در نقشه تناسب نشان دهنده میزان احتمال تغییر آن در آینده است.

- اعتبار سنجی نقشه‌های پیش‌بینی شده

به منظور اعتبارسنجی نقشه‌های پوشش جنگلی پیش‌بینی شده و همچنین مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیون لجستیک و ژئومد در شبیه‌سازی این اراضی، این نقشه‌ها به طور جداگانه با نقشه واقعی سال (۱۳۹۳) مقایسه و آماره‌های کاپا، کاپای طبقه، صحت کلی، صحت تولید کننده و صحت کاربر محاسبه شدند. همچنین اختلاف مکانی و کمیتی سلول‌های هر کلاسه، در دو نقشه پیش‌بینی شده به کمک شاخص‌های Kquantity و Klocation محاسبه شد. شاخص Klocation

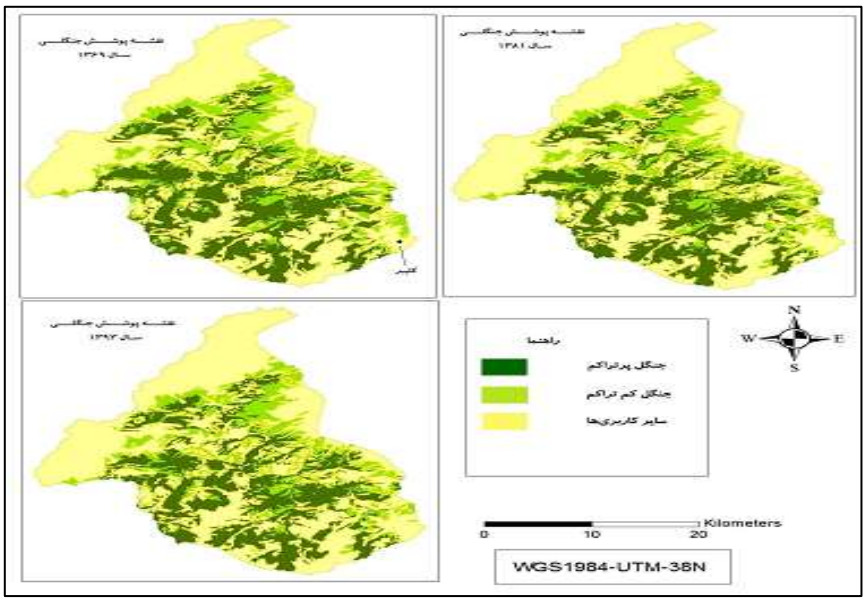
5- Suitability map

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

نشان می‌دهد که مدل تا چه حد توانایی داشته است که مکان سلول‌های یک کلاسه را مطابق با نقشه واقعی شبیه‌سازی کند. شاخص Kquantity با دامنه صفر و یک نیز بیان کننده میزان تطابق کمیت یا تعداد سلول‌های کلاسه‌های مختلف دو نقشه می‌باشد (Pontius and Chen, 2006: 7).

- پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها تا سال (۱٤۰٤)

بر اساس نتایج اعتبارسنجی نقشه‌های پیش‌بینی شده سال (۱۳۹۳) و اطمینان یافتن از عملکرد مناسب رگرسیون لجستیک-زنجیره مارکوف و مدل ژئومد، پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل تا سال (۱٤۰٤) با استفاده از هر دو روش انجام گرفت. نتایج بررسی کیفیت هندسی و رادیومتری تصاویر نشان داد که تصاویر مورد استفاده در هر سه مقطع زمانی و فصول مختلف از کیفیت مطلوبی برخوردار هستند و حتی نیاز به تصحیح هندسی ندارند. نقشه‌های پوشش جنگلی حاصل از تفسیر تلفیقی تصاویر ماهواره‌ای در شکل (۲) آمده است.




**شکل ۲: نقشه‌های چندزمانه‌ای پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه (۱۳٦۹-۱۳۸۱-۱۳۹۳)**

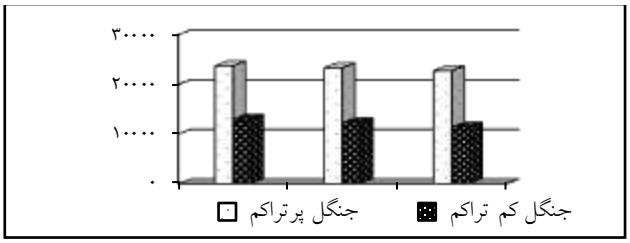
**Figure 2: Temporal forest cover maps of study area (1990-2002-2014)**

- آشکارسازی تغییرات سطح جنگل‌ها

مساحت هر یک از کلاسه‌های جنگل پرتراکم و کم‌تراکم و درصد آن‌ها در مقاطع زمانی (۱۳٦۹، ۱۳۸۱و ۱۳۹۳) در نمودار شکل (۳) آمده است. بر اساس نتایج در طول دوره مطالعه از سال (۱۳٦۹ تا ۱۳۹۳) سطح جنگل‌های پرتراکم و کم‌تراکم کاهش یافته، و این کاهش در جنگل‌های کم‌تراکم شدیدتر از جنگل‌های پرتراکم اتفاق افتاده است. جدول (۲) نشان دهنده مقادیر، درصد و نرخ سالیانه تغییرات هر یک از کلاسه‌های جنگل به تفکیک دوره‌های زمانی می‌باشد. در دوره اول جنگل پرتراکم ۳۹۰ هکتار با نرخ سالیانه ۳۲/۵ هکتار کاهش یافته است. این کاهش در دوره دوم بیش‌تر بوده است به‌طوری که ٦۰۱ هکتار از سطح این اراضی کاسته شده است. در مجموع از سال (۱۳٦۹ تا ۱۳۹۳)، ۹۹۱

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

هکتار از سطح جنگل‌های پرتراکم منطقه مورد تخریب قرار گرفته و به سایر کاربری‌ها تبدیل شده است. در مورد جنگل کم‌تراکم در دوره اول ۷۳۰ هکتار با نرخ سالیانه ۶۰/۹ هکتار و در دوره دوم ۸۶۰ هکتار با نرخ سالیانه ۷۱/۷ هکتار کاهش سطح صورت گرفته است. در مجموع دو کلاسه جنگل، در طول دوره مطالعه ۲۵۸۳ هکتار از سطح جنگل‌های منطقه، معادل با ۷ درصد این اراضی با نرخ سالیانه ۱۰۷/۶ هکتار کاهش یافته است.




**شکل ۳: مساحت کل هر یک از کلاسه‌های جنگل در سال‌های مختلف**

**Figure 3: The total area for each forest classes in different years**

**جدول ۲- تغییرات طبقات مختلف پوشش جنگلی در طول سه دوره زمانی مورد مطالعه**

**Table 2- Temporal changes for different forest classes during three time profiles**

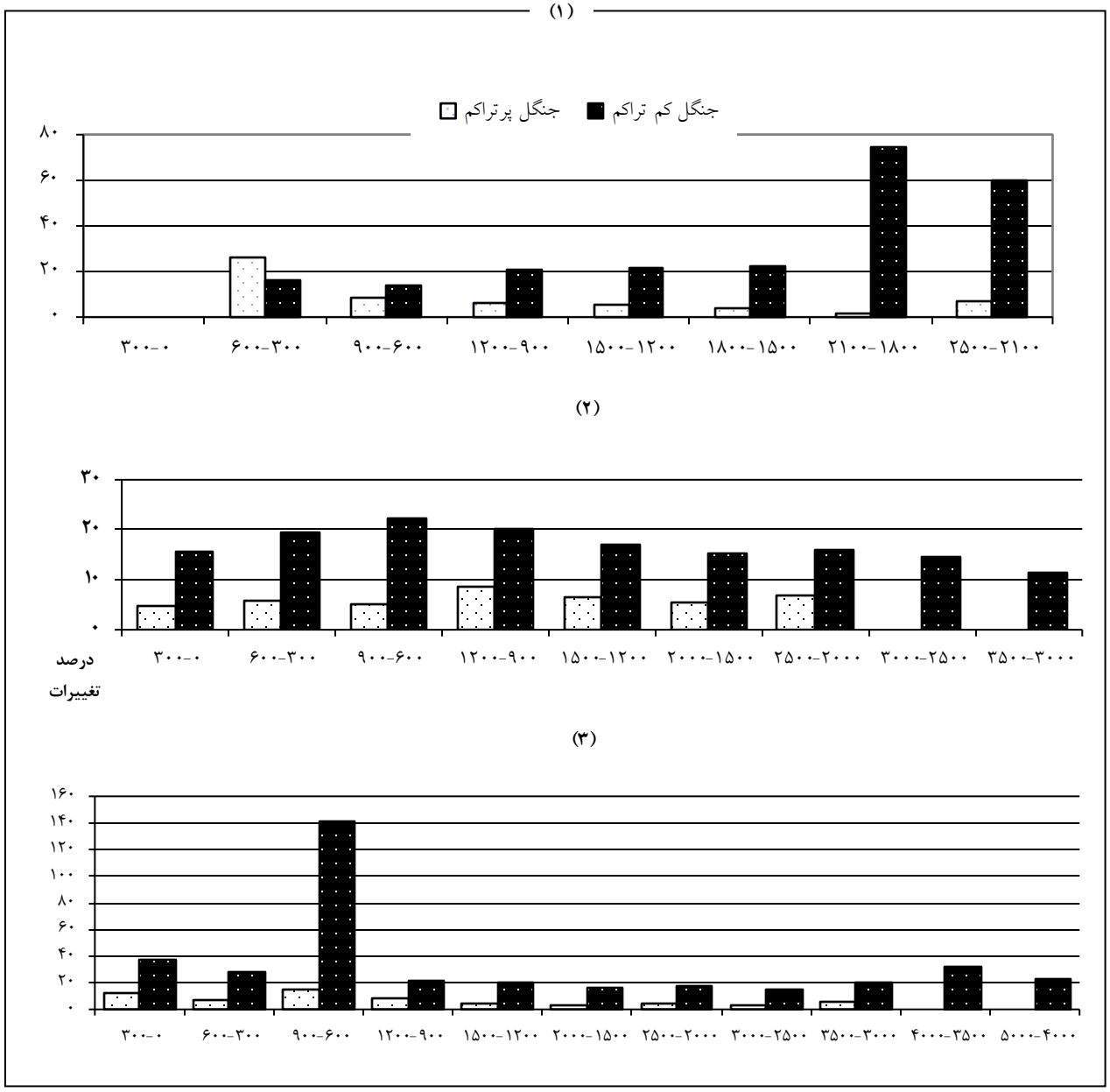
| زمان | دوره اول ۱۳۶۹-۱۳۸۱ | | | دوره دوم ۱۳۸۱-۱۳۹۳ | | | دوره سوم ۱۳۶۹-۱۳۹۳ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کاربری | تغییر هکتار | تغییر درصد | نرخ تغییر هکتار در سال | تغییر هکتار | تغییر درصد | نرخ تغییر هکتار در سال | تغییر هکتار | تغییر درصد | نرخ تغییر هکتار در سال |
| جنگل پرتراکم | -۳۹۰ | -۱/۶ | -۳۲/۵ | -۶۰۱ | -۲/۵ | -۵۰/۱ | -۹۹۱ | -۴/۱ | -۴۱/۳ |
| جنگل کم تراکم | -۷۳۰ | -۵/۶ | -۶۰/۹ | -۸۶۰ | -۷ | -۷۱/۷ | -۱۵۹۲ | -۱۲/۲ | -۶۶/۳ |
| مجموع | -۱۱۲۰ | -۲/۹۶ | ۹۳/۳۳ | ۱۴۶۱ | ۴/۱۰ | ۱۲۰/۸ | ۲۵۸۳ | ۷/۰۵ | ۱۰۷/۶ |

- بررسی میزان و موقعیت تغییرات سطح جنگل در هر یک از طبقات نقشه‌های فیزیوگرافی و متغیرها

در این بررسی مشخص شد که بیش‌ترین درصد کاهش سطح جنگل‌های پرتراکم و کم‌تراکم نسبت به سطح اولیه در سال (۱۳۶۹) به‌ترتیب در طبقات ارتفاعی دوم (۶۰۰-۳۰۰ متر) و هفتم (۲۱۰۰-۱۸۰۰متر) صورت گرفته است، به‌طوری که ۲۵/۹ درصد از جنگل‌های پرتراکم و ۷۴/۳ درصد از جنگل‌های کم‌تراکم این طبقات ارتفاعی تخریب شده‌اند. بیش‌ترین درصد کاهش اراضی جنگلی پرتراکم در جهات مختلف به میزان ۷/۷ درصد در جهت شرق و جنگل کم‌تراکم ۳۳/۳ درصد در جهت غرب اتفاق افتاده است. در مورد متغیر شیب سطح جنگل‌های پرتراکم و کم‌تراکم با افزایش شیب ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته‌اند. به‌طور کلی بیش‌ترین سطح جنگل‌های پرتراکم و کم‌تراکم در شیب ۸۰-۲۵ درصد قرار دارد. در دامنه شیب ۴۰-۲۵ درصد بیش‌ترین تخریب جنگل پرتراکم و جنگل کم‌تراکم صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که بین متغیر فاصله از جاده و کاهش اراضی جنگلی رابطه معکوس وجود دارد و با افزایش این متغیر از تخریب اراضی جنگلی کاسته می‌شود. به طوری که از فاصله ۲۵۰۰ متری کاهشی در پوشش

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

جنگلی پرتراکم صورت نگرفته است. به طور کلی با افزایش فاصله از مناطق مسکونی، تخریب جنگل‌های پرتراکم و کم‌تراکم کاهش می‌یابد و بیش‌ترین میزان آن تا فاصله ۱۲۰۰ متری مناطق مسکونی اتفاق افتاده است (شکل ٤).

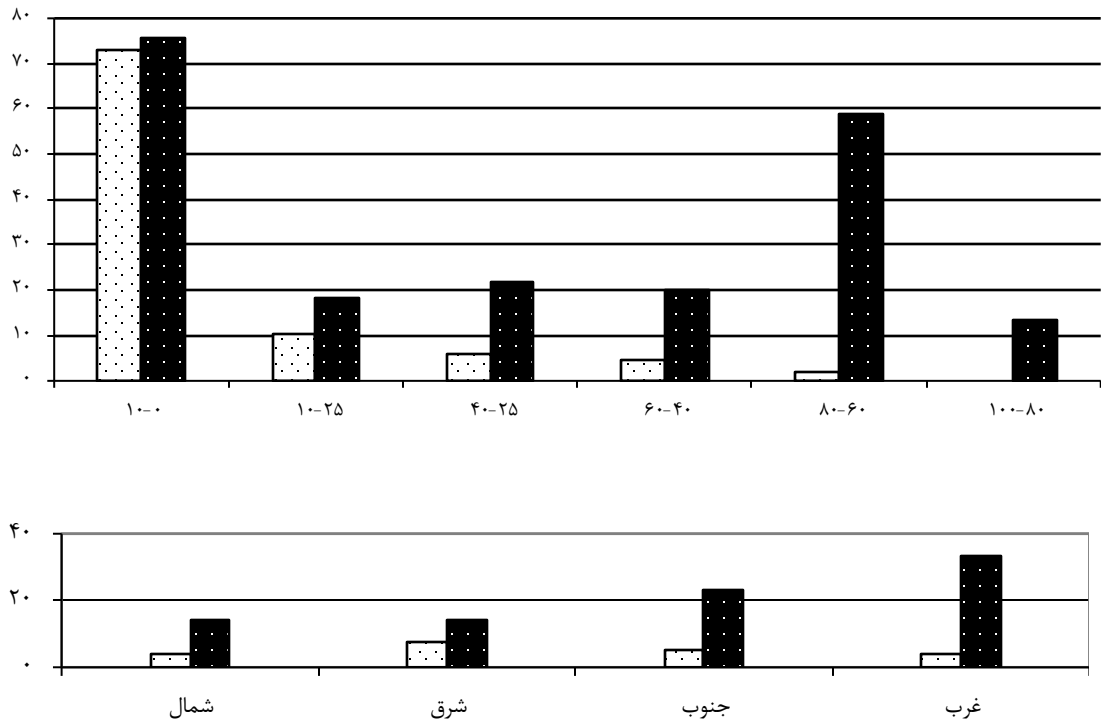



**شکل ٤: درصد تغییرات (محور عمودی) هر یک از کلاسه‌ها نسبت به سطح اولیه در سال (۱۳٦۹) در هر یک از طبقات متغیرهای ارتفاع به متر (۱)، فاصله از جاده به متر (۲)، فاصله از مسکونی به متر (۳)، طبقات جهت (٤)، طبقات شیب به درصد (۵)**

**Figure 4: Percentage change (vertical axis) of each forest classes relative to the initial level in 1990 and in each of the variables classes: altitude (m) (1), distance from road (m) (2), distance from residential (m) (3) aspect classes (4), slope (percent) (5)**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

(٤)




**ادامه شکل ٤: درصد تغییرات (محور عمودی) هر یک از کلاسه‌ها نسبت به سطح اولیه در سال (۱۳٦۹) در هر یک از طبقات متغیرهای ارتفاع به متر (۱)، فاصله از جاده به متر (۲)، فاصله از مسکونی به متر (۳)، طبقات جهت (٤)، طبقات شیب به درصد (۵)**

**Figure 4: Percentage change (vertical axis) of each forest classes relative to the initial level in 1990 and in each of the variables classes: altitude (m) (1), distance from road (m) (2), distance from residential (m) (3) aspect classes (4), slope (percent) (5)**

- مدل‌سازی رگرسیونی تغییرات سطح جنگل

نتایج مدل‌سازی رگرسیون لجستیک و رابطه بین تخریب پوشش جنگلی به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل موثر بر تخریب شامل؛ فاصله از جنگل، فاصله از مسکونی، فاصله از جاده، ارتفاع، شیب و جهت به‌عنوان متغیر مستقل در جدول (۳) آورده شده است.

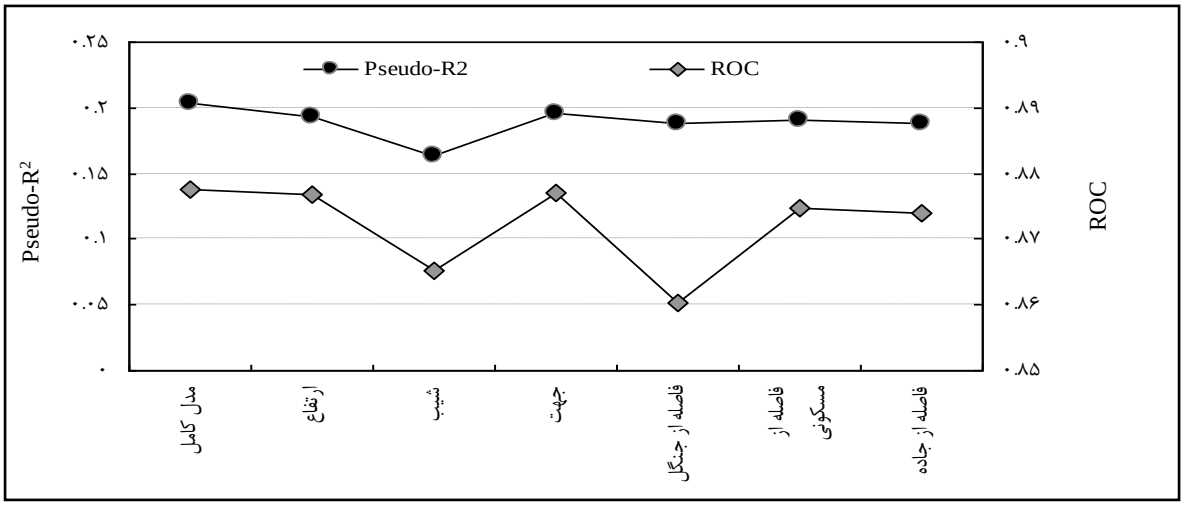
**جدول ۳- معادله رگرسیون لجستیک ایجاد شده برای تخریب جنگل‌ها و ضرایب هر یک از متغیرها**

**Table 3- Logistic regression equation for forest degradation and coefficients of each variable**

| Logit (y) = -۶/۰۳۰۰ -۰/۲۶۷۶ $X_1$ + ۰/۰۵۶۹ $X_2$ +۰/۱۲۸۴ $X_3$ + ۰/۵۰۰۵ $X_4$ +۰/۳۷۲۴ $X_5$ - ۰/۰۰۵۶ $X_6$ (۱-۱) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| متغیر مستقل | فاصله از جنگل | فاصله از جاده | فاصله از مسکونی | ارتفاع | شیب | جهت |
| | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ |
| ضریب متغیر | -۰/۲٦۷٦ | +۰/۰٥٦۹ | +۰/۱۲۸٤ | +۰/٥۰۰٥ | +۰/۳۷۲٤ | - ۰/۰۰٥٦ |

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

نتایج حاصل از رابطه رگرسیونی نشان می‌دهد که متغیرهای فاصله از جاده، فاصله از مسکونی، ارتفاع و شیب رابطه مستقیم و متغیرهای فاصله از جنگل و جهت رابطه معکوس با کاهش پوشش جنگلی دارند. مقادیر آماره‌های ROC و $Pseudo\text{-}R^2$ به‌ترتیب برابر با ۰/۸۷۷۵ و ۰/۲۰۳۳ به‌دست آمد که مقادیر مطلوبی به‌شمار می‌رود و نشان دهنده توانایی رگرسیون لجستیک در مدل‌سازی تخریب پوشش جنگلی منطقه ارسباران می‌باشد. جدول (٤) نتایج حاصل از محاسبه ضریب کرامر برای متغیرهای مختلف را نشان می‌دهد. در بین متغیرهای مورد استفاده، ارتفاع و جهت به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین همبستگی با تغییرات سطح جنگل منطقه هستند. بر اساس این ضرایب نقشه پتانسیل تغییر پوشش جنگلی به غیرجنگل ایجاد و با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف، نقشه پوشش جنگلی برای سال (۱۳۹۳) پیش‌بینی شد. این دو نقشه در شکل (٦) آمده است.




**شکل ٥: تاثیر حذف هر یک از متغیرهای مستقل مدل رگرسیون بر روی معیارهای ارزیابی مدل**

**Figure 5: Effect of removing any of the independent variables of regression model on model evaluation criteria**

**جدول ٤- میزان ضرایب کرامر بین متغیرهای موثر در تغییرات سطح جنگل**

**Table 4- Cramer coefficients between effective variables in forest area changes**

| متغیر | ارتفاع | شیب | جهت | فاصله از جاده | فاصله از جنگل | فاصله از مسکونی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ضریب کرامر | ۰/۵۰۳۸ | ۰/۱۱۳۵ | ۰/۰۸۸۵ | ۰/۳۸۰٦ | ۰/۲۱۹۸ | ۰/۲۷۹۹ |

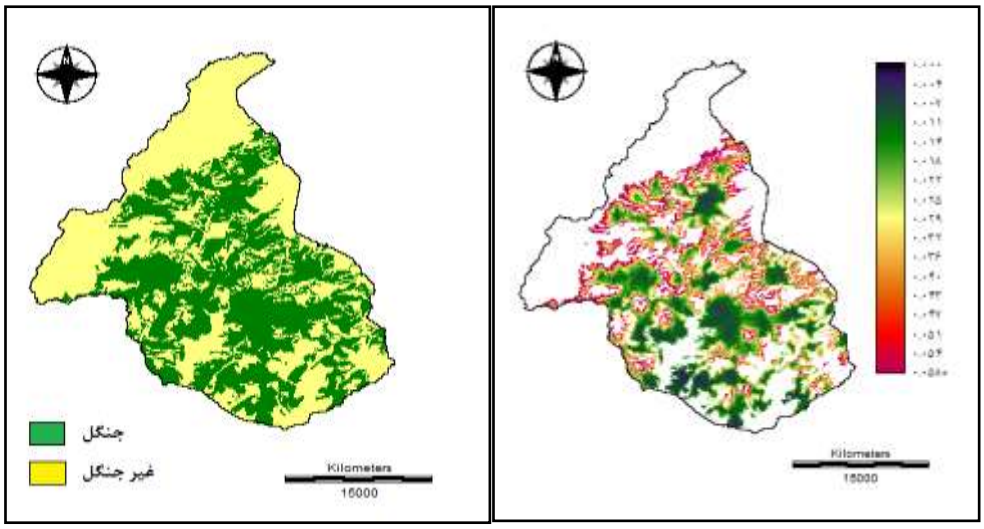
- مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها با استفاده از مدل ژئومد

نقشه تناسب ایجاد شده با استفاده از متغیرهای موثر بر تغییرات و همچنین نقشه پیش‌بینی شده پوشش جنگلی سال (۱۳۹۳) حاصل از اجرای مدل ژئومد در شکل (۷) آمده است.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

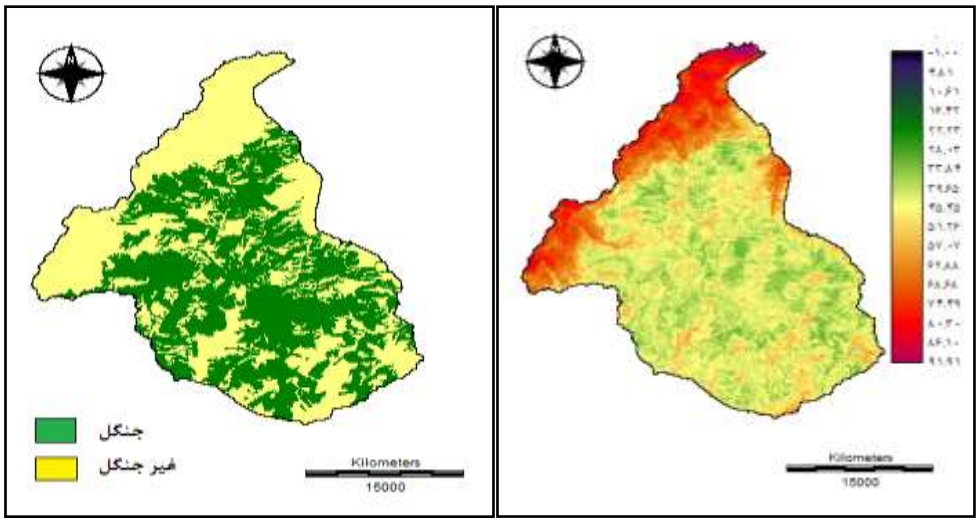
- اعتبار سنجی نقشه‌های پیش‌بینی شده

نتایج اعتبار سنجی نقشه‌های پوشش جنگلی پیش‌بینی شده سال (۱۳۹۳) نشان دهنده صحت کلی و مقدار شاخص کاپا به‌ترتیب برابر با ۹۶/۸ درصد و ۰/۹۳۴۲ به روش رگرسیون لجستیک و همچنین ۹۶/٤ درصد و ۰/۹۲٦۹ به روش مدل ژئومد می‌باشد. ماتریس‌های خطا نقشه پوشش جنگلی پیش‌بینی شده با دو مدل در جدول (۵) آمده است. مقادیر معیارهای Klocation و Kquntity برای نقشه پیش‌بینی شده رگرسیون لجستیک به‌ترتیب برابر با ۰/۹۸۱۵ و ۰/۹۸۸۳ و برای نقشه پیش‌بینی شده مدل ژئومد برابر با ۰/۹۸۹۱ و ۰/۹۹۱۷ به‌دست آمد.




**شکل ٦: نقشه پتانسیل تبدیل و پیش‌بینی شده پوشش جنگلی حاصل رگرسیون لجستیک-زنجیره مارکوف**

**Figure 6: Transition potential and predicted forest cover maps derived from Logistic regression-Markov chain**




**شکل ۷: نقشه‌های تناسب و پیش‌بینی شده پوشش جنگلی حاصل از مدل ژئومد**

**Figure 7: Suitability and predicted forest cover maps derived from Geomod model**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

- پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها تا سال (۱٤۰٤)

پس از تهیه نقشه پیش‌بینی شده پوشش جنگلی سال (۱٤۰٤) با استفاده از رگرسیون لجستیک-زنجیره مارکوف و مدل ژئومد، تغییرات سطح جنگل‌ها در دوره (۱٤۰٤-۱۳۹۳) برآورد شد. نتایج بررسی نشان داد که تا سال (۱٤۰٤) تخریب و کاهش پوشش جنگلی منطقه با روند کنونی ادامه خواهد داشت. همان‌طور که در جدول (٦) آمده است مدل رگرسیون لجستیک تغییرات پوشش جنگلی را ۱۵ هکتار بیش‌تر از مدل ژئومد پیش‌بینی نموده است، به هر حال تا سال (۱٤۰٤) به طور میانگین ۱۲۸۱ تا ۱۲۹٦ هکتار از سطح جنگل‌های منطقه کاسته خواهد یافت.

**جدول ۵- ماتریس خطا نقشه‌های پیش‌بینی شده پوشش جنگلی سال (۱۳۹۳)**

**Table 5- Confusion matrix for predicted forest class maps (2014)**

| نقشه پیش‌بینی شده با رگرسیون لجستیک | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نقشه واقعی | | جنگل | غیر جنگل | جمع در نقشه پیش‌بینی شده | صحت کاربر |
| | جنگل | ۳٦۷۸٦۰ | ۱۵۵۲۰ | ۳۸۳۸۸۰ | ۹٦ |
| | غیر جنگل | ۱۱۳٤۵ | ٤۲٦٤۱٦ | ٤۳۷۷۸٦ | ۹۸ |
| جمع در نقشه واقعی | | ۳۷۹۲۰۵ | ٤٤۱۹٦۱ | ۸۲۱۱٦٦ | |
| صحت تولید کننده | | ۹۸ | ۹۷ | - | **۹٦/۸** |
| **نقشه پیش‌بینی شده با مدل ژئومد** | | | | | |
| نقشه واقعی | | جنگل | غیرجنگل | جمع در نقشه پیش‌بینی شده | صحت کاربر |
| | جنگل | ۳۷۹۱۹۸ | ۲۹۹۹۵ | ٤۰۹۱۹۳ | ۹۳ |
| | غیر جنگل | ۷ | ٤۱۱۹٦٦ | ٤۱۱۹۷۳ | ۱۰۰ |
| جمع در نقشه واقعی | | ۳۷۹۲۰۵ | ٤٤۱۹٦۱ | ۸۲۱۱٦٦ | - |
| صحت تولید کننده | | ۱۰۰ | ۹٤ | - | **۹٦/٤** |

**جدول ٦- آشکارسازی تغییرات سطح جنگل‌ها در دوره (۱٤۰٤-۱۳۹۳) بر اساس نقشه‌های پیش‌بینی شده**

**Table 6- Forest cover change analyses in the period of (2014-2025) based on predicted maps**

| | نقشه پیش‌بینی شده با رگرسیون لجستیک-مارکوف | | نقشه پیش‌بینی شده با مدل ژئومد | |
|---|---|---|---|---|
| | مساحت سال ۱۳۹۳ (هکتار) | مساحت سال ۱٤۰٤ (هکتار) | تغییرات در دوره ۱٤۰٤-۱۳۹۳ | مساحت سال ۱٤۰٤ (هکتار) | تغییرات در دوره ۱٤۰٤-۱۳۹۳ |
| جنگل | ۳٤۱۵۹ | ۳۲۸٦۳ | -۱۲۹٦ | ۳۲۸۷۸ | -۱۲۸۱ |
| غیر جنگل | ۳۹۸۱۳ | ٤۱۱۰۹ | +۱۲۹٦ | ٤۱۰۹٤ | +۱۲۸۱ |

## نتیجه‌گیری

زمین در آسایش، امنیت، رفاه و کیفیت زندگی انسان نقش بسزایی دارد. تقریبا همه برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران بخش منابع طبیعی کشور بر این نکته اذعان دارند، که این منابع در حال تخریب و نابودی است و با شیوه‌های کنونی

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

بهره‌برداری این روند همچنان ادامه خواهد داشت. به منظور حفظ این منابع ارزشمند و مدیریت صحیح آن، اطلاع از تغییرات صورت گرفته در سرزمین و شناسایی و معرفی عوامل موثر در این تغییرات یک امر مهم تلقی می‌شود و اهمیت انجام مطالعات در این زمینه را بیش از پیش روشن می‌سازد. هدف از انجام این مطالعه آشکارسازی تغییرات سطح جنگل‌ها و بررسی نقش برخی عوامل محیطی موثر بر تغییرات در منطقه‌ای به وسعت ۷٤۰۰۰ هکتار در محدوده منطقه ارسباران و در دوره‌های زمانی (۱۳۸۱-۱۳٦۹، ۱۳۹۳-۱۳۸۱ و ۱۳۹۳-۱۳٦۹) می‌باشد. همچنین به منظور مدل‌سازی تغییرات صورت گرفته در منطقه از رگرسیون لجستیک و مدل ژئومد نیز استفاده شد. پس از مدل‌سازی تغییرات، با استفاده از زنجیره مارکوف و مدل ژئومد تغییرات پوشش جنگلی برای سال (۱۳۹۳) پیش‌بینی و به منظور اعتبارسنجی و مقایسه عملکرد این دو مدل، با نقشه واقعی سال (۱۳۹۳) مقایسه شد. بر اساس نتایج آشکارسازی تغییرات، جنگل‌های کم‌تراکم در هر دو دوره زمانی نسبت به جنگل‌های پرتراکم بیش‌تر مورد تخریب قرار گرفته‌اند، به طوری که در طول مدت مطالعه جنگل کم‌تراکم ۱۵۹۲ هکتار و جنگل پرتراکم ۹۹۱ هکتار کاهش یافته که نشان‌دهنده روند تخریب جنگل‌های منطقه می‌باشد. در دوره دوم جنگل‌های پرتراکم و کم‌تراکم نسبت به دوره اول بیش‌تر مورد تخریب قرار گرفته‌اند. از جمله دلایل تخریب بیش‌تر پوشش جنگلی در دوره دوم را می‌توان به پدیده مهاجرت معکوس در منطقه اشاره کرد. جمعیتی که در دوره اول از منطقه مهاجرت کرده بودند در سال‌های اخیر با توریستی شدن منطقه و قرار گرفتن در مجاورت منطقه آزاد ارس که توام با افزایش قیمت زمین و همچنین ایجاد امکانات زندگی بود به روستاها بازگشته‌اند. در دوره دوم با احداث جاده‌ها، امکان عبور و مرور در منطقه افزایش یافته است که این عامل نیز در تخریب بیش‌تر پوشش جنگلی نسبت به دوره اول نمی‌تواند بی‌تاثیر باشد. از دیگر عوامل تخریب پوشش جنگلی منطقه را می‌توان افزایش فعالیت‌های معدنی و اکتشاف، ویلا سازی‌های متعدد در برخی روستاها مانند گرمناب، عباس آباد، وایقان، کلاله و ... دانست. با توجه به نتایج بررسی میزان تغییرات پوشش جنگلی در طبقات مختلف شرایط فیزیوگرافی منطقه می‌توان عنوان نمود که بین فاصله از جاده و تخریب پوشش جنگلی رابطه معکوسی وجود دارد و با افزایش فاصله از جاده‌ها تخریب کاهش یافته است. با توجه به وابسته بودن مردم منطقه به جاده از لحاظ تامین سوخت، بازاریابی محصولات غیر چوبی، تامین علوفه دام و .. و همچنین واقع شدن منطقه در مسیر کوچ عشایر، جاده‌ها نقش اساسی در کاهش پوشش جنگلی منطقه داشته است. این روند تغییرات در مورد فاصله از مناطق مسکونی نیز وجود دارد به طوری که از فاصله ۹۰۰ متری از این مناطق تخریب پوشش جنگلی شدیدا کاهش می‌یابد.

استفاده از رگرسیون لجستیک به منظور مدل‌سازی تخریب پوشش جنگلی نتایج مطلوبی را در برداشت و می‌توان از این ابزار به‌منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده نمود. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل موثر در کاهش پوشش جنگلی، فاصله از حاشیه جنگل می‌باشد. همچنین تغییرات در این پوشش بیش‌تر در مکان‌هایی صورت گرفته که به دلیل نزدیکی به مراکز فعالیت انسانی قبلا تجربه تخریب داشته‌اند. به عبارت دیگر میزان تخریب پوشش جنگلی با افزایش فاصله از مرز جنگل کاهش می‌یابد. با توجه به شرایط کوهستانی منطقه، وضعیت توپوگرافی منطقه توانست نقش مهمی در بروز تغییرات در پوشش جنگلی منطقه داشته باشد. نتایج حاصل از محاسبه ضریب کرامر برای متغیر

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

ارتفاع نشان دهنده این موضوع بود. زیرا بیش‌ترین مقدار ضریب کرامر برای متغیر ارتفاع و به میزان ۰/۵۰۳۸ به‌دست آمد. که نشان دهنده این واقعیت است که تغییرات پوشش جنگلی در وضعیت توپوگرافی و ارتفاعی خاصی صورت می‌گیرد. نتایج بررسی تغییرات پوشش جنگلی در طبقات ارتفاعی تائید کننده این موضوع می‌باشد، زیرا با افزایش ارتفاع، میزان تخریب پوشش جنگلی افزایش می‌یابد.

در این مطالعه به منظور مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگلی از رگرسیون لجستیک و مدل ژئومد استفاده شد. به منظور مقایسه عملکرد این دو مدل، بر اساس تغییرات صورت گرفته در پوشش جنگلی در دوره (۱۳۸۱-۱۳۶۹) و متغیرهای موثر بر تغییرات، پوشش جنگلی سال (۱۳۹۳) پیش‌بینی و نقشه‌های حاصل مورد اعتبار سنجی قرار گرفتند. نتایج اعتبار سنجی نقشه‌های پیش‌بینی شده پوشش جنگلی سال (۱۳۹۳) نشان داد که هر دو مدل رگرسیون لجستیک و مدل ژئومد تقریبا عملکرد تقریبا یکسانی در پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگلی داشته‌اند و می‌توان از این دو مدل به منظور پیش‌بینی وضعیت آینده پوشش جنگلی منطقه استفاده نمود. با این حال با محاسبه شاخص‌های KLocation و Kquntity می‌توان عنوان نمود که مدل ژئومد توانایی به نسبت بهتری نسبت به رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی میزان و مکان تغییرات پوشش جنگلی منطقه دارد. نتایج پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگلی نشان داد با روند کنونی تا سال ۱٤۰٤ همچنان روند تخریب این اراضی ادامه خواهد یافت. در نتیجه به منظور جلوگیری از روند تخریب این اراضی و از بین رفتن یکی از با ارزشمندترین اکوسیستم‌های طبیعی، انتظار می‌رود با اتخاذ سیاست‌های حفاظتی و برنامه‌های احیا و بازسازی این سرمایه طبیعی برای آیندگان حفظ شود.

متغیرها و عوامل مختلفی در بروز تغییرات کاربری اراضی دخالت دارند که می‌تواند در مطالعات مشابه مورد استفاده قرار گیرد که از آن جمله می‌توان به متغیرهای اجتماعی و اقتصادی مانند جمعیت، نرخ رشد جمعیت، تراکم جمعیت، اشتغال، مهاجرت، وضعیت گردشگری، سوخت، مراکز فعالیت انسانی و ... اشاره نمود. همچنین استفاده از متغیرهای کیفی مانند تیپ خاک، تیپ جنگل، بارندگی و ... می‌تواند در بهبود فرآیند مدل‌سازی و شناسایی عوامل موثر در تغییرات کاربری اراضی موثر باشد.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

## References

- Aguilera, F., Valenzuela, L. M., Leitao, A. N., (2011), "Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns (A case study in a Spanish metropolitan area)", ***Journal of landscape and urban planning***, 99: 226-238.
- Amini, M. R., Shataee, Sh., Ghazanfari, H. O., Moaieri, M. H., (2008), "Changes in Zagros's forests extension using aerial photos and satellite imagery (Case study, Armerdeh forests of Baneh)", ***Journal of Agriculture Science and Natural Resources***, 15 (2): 1-12. [In Persian].
- Araya, Y. H., Cabral, P., (2010), "Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra from Portugal", ***Remote Sensing***, 2: 1549-1563.
- Basse, R. M., Omrani, H., Charif, O., Gerber, P., Bodis, C., (2014), "Land use changes modelling using advanced methods: cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land cover dynamics at the cross-border region scale", ***Applied Geography***, 53: 160-171.
- Baynard, C. W., (2013), "Remote sensing applications: Beyond land-use and land-cover change", ***Remote Sensing***, 2: 228-241.
- Chenglin, X., Huang, B., Claramunt, C., Chandramouli, M., (2009), "Spatial logistic regression and GIS to model rural-urban land conversion", ***Journal of Geographical Information Science***, 10: 1-27.
- Darvishsefat, A. A., (2006), "Atlas of protected areas of Iran", Tehran: ***University of Tehran press***.
- Easteman, J. R., (2009), "***IDRISI Taiga guide to GIS and image processing***", Clark University, Worcester.
- Echeveria, C., Coomesc, D. A., Halld, M., Newtone, C., (2008), "Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile", ***Ecological Modelling***, 212 (3): 439-449.
- Hall, M., (2006), "Modeling deforestation baselines using GEOMOD for the Calakmul and Meseta Purépecha regions in Mexico", ***Geographic Modeling Services***, 42: 1-66.
- Hegazy, I. R., Kaloop, M. R., (2015), "Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt", ***International Journal of Sustainable Built Environment***, 70 (4): 117-124.
- Huang, C., Yang, H., Yunmei, L., Zou, J., Zhan, Y., Chen, X., Yin, M., Zhang, M., (2015), "Investigating changes in land use cover and associated environmental parameters in Taihu lake in recent decades using remote sensing and geochemistry", ***Plos One***, 10: 1-16.
- Jun, J.W., (2008), "Land use changes: Economic, social, and environmental Impacts", ***A publication of the Agricultural & Applied Economics Association***, 23 (4): 6-12.
- Mayes, M., Spiota, E. M., Syzmanski, L., Erdogan, M. A., Ozdogan, M., Clayton, M., (2014), "Soil type mediates effects of land use on soil carbon and nitrogen in the Konya Basin, Turkey", ***Geoderma***, 25: 232-234.
- Landau, S., Everitt, B., (2003), "***A handbook of statistical analyses using SPSS***", A CRC Press Company.
- Mishra, V. N., Rai, P. K., Mohan, K., (2014), "Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing, a case study of MUZAFFARPUR (BIHAR), INDIA", ***Original Scientific Paper***, 64 (1): 111-127.
-Mialhe, F., Gunnel, Y., Ignacio, F. A., Delbart, N., Ogania, J., Henry, S., (2015), "Monitoring land-use change by combining participatory land-use maps with standard remote sensing

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

techniques*:* Showcase from a remote forest catchment on Mindanao, Philippines", ***International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation***, 36 (2015): 69-82.
- Moreno, J. L., Zabalza, J., Serrano, V. S. M., Revueltu, J., Gilabberte, M., Molina, C., Tejeda, E. M., Ruiz, J. M., Tague, C., (2014), "Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: Scenarios in the Upper Aragón River", ***Science of the Total Environment***, 493:1222-1231.
- Mossivand, A. M., Ghorbani, A., Behjou, F. K., (2018), "Land use/cover change detection using Landsat and IRS imagery: A case study, Khalkhal County", ***Journal of geography space***, 60 (17): 101-116. [In Persian].
- Olmedo, M. T. C., Pontius, R. G., Paegelow, M., Mas, J. F., (2015), "Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change", ***Environmental Modelling & Software***, 69: 214-221.
- Pontius, R. G., Chen, H., (2006), "***Geomod modeling***", Clark University press.
- Rasuly, A., Naghdifar, R., Rasoli, M., (2010), "Detecting of Arasbaran forest changes applying image processing procedures and GIS techniques", ***Procedia of Environmental Sciences,*** 2: 454-464.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., Yun, W., (2011), "Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model", ***Mathematical and Computer Modelling***, 54: 938–943.
- 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***, 28: 189-209.
- Taheri Abkenar, K., Peyelvar, B., (2008), "***Forestry***", Rasht: Rasht Haghshenas publication, 298p. [In Persian].
- Taleshi, M., Afrakhte, H., Sheikhaninejad, G., (2018), "Monitoring and simulation of land cover pattern in rural areas of East Guilan using Markov chain model & cellular automata", ***Journal of geography space***, 61 (18): 295-316. [In Persian].
- Vafaei, S., Darvishsefat, A. A., Pir Bavaghar, M., (2013), "Monitoring and predicting land use changes using LCM module (Case study: Marivan region)", ***Iranian Journal of Forest***, 5 (3): 323-336. [In Persian].
- Valdivieso, F. O., Sendra, J. B., (2010), "Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling", ***Journal of Hydrology***, 395: 256-263.
- Wyman, M. S., Stein, V. T., (2010), "Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize", ***Applied Geography***, 30: 329-342.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]