

آشکارسازی و مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی جنگلی حوزه آبخیز قره‌سو با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین

محمدحسین مختاری^{۱*}، سحر عابدیان^۲ و مصطفی قلی‌پور^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۷)

چکیده

آشکارسازی، پیش‌بینی و کمی‌سازی روند تغییرات الگوی سیمای سرزمین اراضی جنگلی حوزه آبخیز قره‌سو یکی از نیازهای اطلاعاتی به‌منظور ارزیابی و پیش‌گیری از بحران است. لذا، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۷ از روش حداکثر احتمال طبقه‌بندی و میزان تغییرات پهنه‌های جنگلی برآورد شد. سپس با استفاده از مدل ژئومد و با بهره‌گیری از نقشه پتانسیل احتمال تغییر مناطق جنگلی به غیرجنگلی حاصل از روش ارزیابی چندمعیاره، نقشه کاربری جنگلی برای سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی و با استفاده از ده سنجه سیمای سرزمین مشخصات کمی و توزیع مکانی آنها تحلیل شد. نتایج نشان داد در بازه زمانی ۳۱ سال، ۲۶۳۲ هکتار جنگل‌زدایی شده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۲۰، ۲۰۸۴/۷ هکتار دیگر از مساحت جنگل‌های منطقه کاسته شود. تحلیل سنج‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد که سیمای پهنه‌های جنگلی در بازه زمانی مورد مطالعه، کوچک‌تر، تکه‌تکه‌تر، نامنظم‌تر و ناپیوسته‌تر شده است. نتایج تحلیل نقشه‌ها با رویکرد تحلیل سنج‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد از سنج‌های مورد استفاده، تغییرات مقدار شش سنجه مساحت کلاس، تعداد لکه‌ها، تراکم لکه، میانگین سطح لکه، دایره محدودکننده و اندازه سوراخ‌شدگی روند منظمی دارند که این روند حاکی از آن است که مدل ژئومد در پیش‌بینی پهنه‌های جنگلی سال ۱۴۲۰ کاملاً موفق عمل کرده است.

واژه‌های کلیدی: سنج‌های سیمای سرزمین، ژئومد، پهنه‌های جنگلی، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

۱. گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور کرمان

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

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mh.mokhtari@yazd.ac.ir

مقدمه

تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین به‌عنوان یکی از عوامل مهم و مؤثر بر تغییرات محیط زیست جهانی مطرح می‌شود که بر طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های محیط زیست و منابع طبیعی تأثیر می‌گذارد و با اثرگذاری روی توازن و تعادل ظرفیت‌های آن، توسعه پایدار را به چالش می‌کشد (۱۹). تغییرات کاربری اراضی که ناشی از فعالیت‌های انسانی همچون جنگل‌زدایی، کشاورزی، رشد شهری و فعالیت‌های دیگر است می‌تواند پیامدهای گسترده و بلندمدتی را همچون کاهش تنوع زیستی، افزایش رواناب سطحی و فرسایش خاک، افزایش گازهای گلخانه‌ای، بالا رفتن دمای کره زمین و تغییر تعادل انرژی در سطح زمین را موجب شود (۲۰، ۲۳ و ۲۴). از این‌رو به‌منظور جلوگیری از وقوع این بحران‌ها در آینده و استفاده پایدار از زمین، برنامه‌ریزان در حوزه مدیریت محیط زیست و منابع طبیعی، بیش از پیش به اطلاعات دقیق در رابطه با تغییرات کاربری نیاز دارند. علاوه بر اهمیت داشتن اطلاعات به‌روز از پوشش اراضی، آگاهی از تغییرات آن در طول دوره زمانی نیز برای برنامه‌ریزان بسیار حائز اهمیت است؛ به‌همین دلیل استفاده از روش‌های آشکارسازی تغییرات برای تعیین روند تغییرات با گذشت زمان ضروری به‌نظر می‌رسد (۱۵).

از آنجا که تغییرات در کاربری اراضی در سطوح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد، لذا، فناوری سنجنش از دور یک ابزار ضروری و با ارزش در ارزیابی این تغییرات به‌دلیل پوشش مکرر و تکراری سطح زمین است (۱۹). برای ارائه کارایی بیشتر در تشخیص تغییرات کاربری اراضی، اغلب سنجنش از دور با سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب می‌شود (۱۸). همچنین، در کنار آشکارسازی تغییرات گذشته یک منطقه، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات آینده و کمی کردن روند تغییرات الگوی سیمای سرزمین نیز یکی از نیازهای اطلاعاتی برای برنامه‌ریزان و مدیران محسوب می‌شود تا به جبران خسارت‌ها مبادرت ورزند و از تکرار اشتباهات گذشته جلوگیری به عمل آورند. با توجه به توسعه علم سنجنش از دور در سال‌های گذشته، روش‌ها و الگوریتم‌های متنوعی برای

بررسی روند تغییرات کاربری‌ها به‌وجود آمده است. یکی از این روش‌ها که زمینه کمی‌سازی ساختار فضایی سیمای سرزمین را فراهم می‌کند، سنجه‌های سیمای سرزمین است (۳). سنجه‌های سیمای سرزمین می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های کمی که ساختار و الگوی سیمای سرزمین را توصیف می‌کنند، تعریف شوند (۱۳) و شاخص‌هایی هستند که خصوصیت شکل و ماهیت پراکنش و توزیع اجزای ساختاری سیمای سرزمین را قابل تعریف و به‌صورت کمی قابل مقایسه می‌سازد (۳۲).

در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و کمی‌سازی سیمای سرزمین پژوهش‌های مختلفی در جهان صورت گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های رام‌چاندرا و همکاران (۲۹)، تیان و همکاران (۳۳)، دل کاستیلو و همکاران (۸)، فتحی‌زاد و همکاران (۱۰)، افراخته و جباریان (۱) و قربان‌نیا خیبری و همکاران (۱۲) اشاره کرد. بررسی سابقه پژوهش نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، نگرانی‌های گسترده‌ای در ارتباط با تخریب و تبدیل اراضی و نحوه پراکنش و الگوهای فضایی کاربری‌ها در مقیاس جهانی وجود دارد و پژوهشگران سعی کردند با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی روند تغییرات کاربری‌ها و کمی‌سازی ساختار فضایی سیمای سرزمین در کاربری‌های مختلف را مورد بررسی قرار دهند تا از میزان اثرات آن بر خدمات و کارکردهای اکوسیستم‌ها آگاهی یابند. با توجه به اینکه جنگل‌های شمال کشور با تنوع خاص ژنتیکی یکی از بزرگ‌ترین ذخایر ملی کشور محسوب می‌شوند، کاهش سطح و تغییرات آنها بسیار نگران‌کننده و حائز اهمیت است (۱۱). لذا برنامه‌های پایش کاربری اراضی و تعیین روند تغییرات الگوی پراکنش کاربری اراضی از گذشته تا آینده با توجه به شرایط موجود در این منطقه ضرورت دارد. در همین راستا در این پژوهش از علوم سنجنش از دور و سنجه‌های سیمای سرزمین برای تعیین و پیش‌بینی تغییرات الگوی پراکنش کاربری اراضی و کمی‌سازی ساختار فضایی سیمای سرزمین کاربری جنگلی در حوزه آبخیز قره‌سو استفاده شد. پژوهش حاضر در پی یافتن پاسخ به این سؤالات است، که آیا تغییر در کاربری اراضی جنگلی و ساختار

ماهواره‌ای لندست ۵ (سنجنده TM: Thematic Mapper)، لندست ۷ (سنجنده +ETM: Enhanced Thematic Mapper Plus) مربوط به سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۱ و لندست ۸ (سنجنده OLI: Operational Land Imager) مربوط به سال ۱۳۹۷ بوده است (جدول ۱). همچنین در انتخاب تصاویر سعی شده که فصل برداشت تصاویر در همه دوره‌ها از نظر زمان برداشت به هم نزدیک بوده و درصد ابرناکی منطقه نیز صفر باشد.

در مرحله بعد نیاز است پیش پردازش‌هایی همچون تصحیح هندسی و رادیومتریک (مانند تصحیح اتمسفری) به منظور بررسی خطاهای احتمالی روی تصاویر ماهواره‌ای صورت بگیرد. تصاویر به کار رفته در این پژوهش مربوط به تصاویر سطح یک ماهواره لندست است که این تصاویر زمین مرجع شده‌اند. با این حال، به منظور کنترل تصاویر ماهواره‌ای از نظر ثبت دقت زمینی، تصحیح هندسی انجام شد. در این پژوهش، از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری برای تصحیح هندسی استفاده شد. تصحیح هندسی روی تصویر سنجنده TM سال ۱۳۶۶ به روش نزدیک‌ترین همسایه با ۱۰ نقطه کنترل از طریق ابزار Geo-referencing به صورت تصویر- وکتور صورت گرفت. در ضمن، تصحیح هندسی تصویر سنجنده +ETM و OLI سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۹۷ به روش تصویر به تصویر بر اساس تصویر سال ۱۳۶۶ انجام شد و با انتخاب ۱۰ نقطه کنترل زمینی تصحیح هندسی شدند که RMSE (Root Mean Square Error) حاصل از تصحیح هندسی همه تصاویر کمتر از نصف پیکسل به دست آمد.

همچنین تصحیح اتمسفری و رادیومتریک توسط نرم‌افزار MODTRAN صورت گرفت. در روش فلش از پارامترهای نام سنجنده، اندازه پیکسل، ارتفاع، تاریخ تصویربرداری، مدل هواویز، مدل جوی، فاکتور مقیاس و قابلیت دید به ترتیب برای تصاویر مورد مطالعه استفاده شد.

در این پژوهش، برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شده است. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش الگوریتم حداکثر احتمال تاکنون به عنوان یکی از دقیق‌ترین

سیمای سرزمین حوزه آبخیز در دوره مورد پژوهش اتفاق افتاده است و میزان این تغییرات در آینده به چه میزان است؟ علاوه بر این، آیا مشخصات کمی و چگونگی توزیع مکانی تغییرات در الگوی پهنه‌های جنگلی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین قابل محاسبه کمی است؟

مواد و روش‌ها

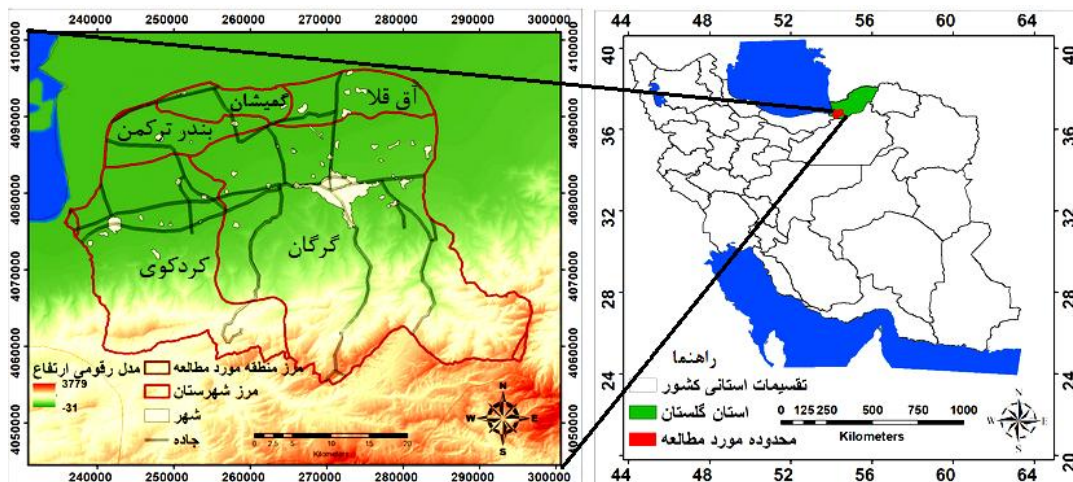
محدوده مورد مطالعه

حوزه مورد مطالعه با وسعت ۱۶۵۱۹۰ هکتار در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه ۴ دقیقه ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه ۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۶۱ دقیقه تا ۳۶ درجه ۹۸ دقیقه شمالی قرار گرفته است. ارتفاع این حوزه از ۳۰۵۷ متر در مناطق کوهستانی تا ۳۱- متر (۱۷). در مناطق دشتی متغیر است. پوشش گیاهی منطقه شامل اراضی جنگلی، درختچه‌زار، بوته‌زار و علف‌زار است. اراضی جنگلی اغلب در دامنه‌های شمالی و در بخش میانی حوزه پراکنش دارد و پوشش درختچه‌زار نیز در دامنه‌های جنوبی و غربی در اراضی مرتعی دیده می‌شود (شکل ۱).

روش تحقیق

تهیه نقشه کاربری اراضی و آشکارسازی تغییرات

آشکارسازی روند تغییرات پوشش اراضی اهمیت فراوانی در برنامه‌ریزی‌های محیطی توسعه پایدار دارد. به منظور بررسی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. مراحل کلی طبقه‌بندی تصویر شامل تعیین سال و نوع تصویر ماهواره‌ای، پردازش، ترکیب رنگی، انتخاب نمونه آموزشی، انتخاب روش طبقه‌بندی، پردازش پس از طبقه‌بندی و ارزیابی صحت است. تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه طبق سامانه مرجع جهانی مربوط به صفحات با مشخصات قطعه و ردیف به ترتیب ۱۶۳ و ۳۴ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر (به جز باندهای حرارتی و پانکروماتیک) از وبگاه زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا، (<https://earthexplorer.usgs.gov>) برای سه زمان ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ از آرشیو این وبگاه دانلود شد. تصویر



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

جدول ۱. اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

تعداد باندها	قدرت تفکیک زمینی (متر)	ستون‌ردیف	زمان جمع‌آوری		سنجنده	ماهواره
			شمسی	میلادی		
۷	۳۰	۱۶۳/۳۴	۱۳۶۶/۰۴/۰۹	۱۹۸۷-۰۶-۳۰	TM	لندست ۵
۷	۳۰	۱۶۳/۳۴	۱۳۸۱/۰۴/۲۶	۲۰۰۲-۰۷-۱۷	ETM ⁺	لندست ۷
۱۱	۳۰	۱۶۳/۳۴	۱۳۹۷/۰۴/۱۴	۲۰۱۸-۰۷-۰۵	OLI	لندست ۸

نمونه‌های آموزشی ثبت شده برای هر کاربری به دو بخش تقسیم شدند. دو سوم از نمونه‌های آموزشی (۱۸۸ نقطه) برای طبقه‌بندی تصاویر و یک سوم باقی‌مانده (۹۴ نقطه) برای ارزیابی صحت نقشه‌ها استفاده شد. در نهایت، با توجه به هدف تحقیق و نوع پوشش‌های موجود در منطقه، چهار طبقه شامل اراضی کشاورزی، اراضی مرتع، مناطق مسکونی و اراضی جنگلی مورد شناسایی و طبقه‌بندی قرار گرفت.

هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که صحت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است، تکمیل نیست. لذا برای کسب اطمینان از نسبت صحت نقشه استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد (۱۶). نتایج ارزیابی دقت به صورت ماتریس خطا ارائه می‌شود که در آن انواع پارامترهایی مانند صحت کلی و آماره کاپا استخراج می‌شوند. دقت کل از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها به دست می‌آید. از نظر تئوری احتمالات، دقت کلی نمی‌تواند

و پرکاربردترین، روش مناسب‌تری به‌شمار می‌آید (۳۵). این روش طبقه‌بندی بر اساس واریانس و کواریانس صورت می‌گیرد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، احتمال تعلق یک پیکسل را به کلاسی می‌دهد که در آن مقدار احتمال، حداکثر باشد. در روش گفته شده فرض بر این است که همه مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند. بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد (۱۴).

در همین راستا، نمونه‌های آموزشی برای استفاده در طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از تصاویر رنگی کاذب، نرم‌افزار Google Earth، اطلاعات نگارندگان از کاربری‌های منطقه به صورت نقطه به منظور کاهش خطا در الگوی طیفی پدیده‌ها و به روش تصادفی از هر گروه از کاربری‌های اراضی ثبت شد. سپس به منظور مستقل کردن فرایند طبقه‌بندی و ارزیابی صحت،

پتانسیل احتمال تغییر تهیه شد. برای این منظور از مدل تحلیل چندمعیاری و روش ترکیب خطی وزن‌دار شده استفاده شد. هدف از این کار تعیین پیکسل‌هایی است که پتانسیل احتمال تغییر از وضعیت جنگل به کاربری‌های دیگر دارند. در روش ترکیب خطی وزن‌دار شده چهار گام اصلی وجود دارد: تعیین معیارها، استانداردسازی، تعیین میزان اهمیت معیارها و درنهایت ترکیب معیارها.

به‌همین منظور، ابتدا با مرور منابع معیارهای تأثیرگذار بر انتقال مناطق جنگلی به غیرجنگلی تعیین شد. معیارهای مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: ارتفاع، شیب، فاصله از اراضی مرتعی، فاصله از اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و جاده. پس از تهیه نقشه‌های معیار باید به این نکته توجه داشت که تمامی نقشه‌های معیار به‌دلیل واحدهای اندازه‌گیری متفاوت با یکدیگر قابل مقایسه نیستند. بنابراین برای استانداردسازی نقشه‌های معیار از روش فازی استفاده می‌شود. به‌منظور فازی کردن، پیکسل‌ها در دامنه فازی صفر تا ۲۵۵ ارزش‌گذاری شدند که درجات بالای عضویت نشانگر احتمال بیشتر پیکسل برای تبدیل به مناطق غیرجنگلی است. هنگامی که معیارهای ارزیابی استاندارد شدند، باید اهمیت نسبی هر یک از آنها به‌منظور لحاظ کردن نقش و اهمیت هر یک از معیارها در رابطه با هدف تعیین شود. به‌همین منظور ماتریس مربعی مقایسه زوجی عوامل تهیه و شد. مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی در این روش بین یک تا ۹ است. در این روش هر معیار نسبت به معیار دیگر می‌تواند ارزش کمی اهمیت یکسان (۱)، نسبتاً ارجح (۳)، ترجیح زیاد (۵)، ترجیح خیلی زیاد (۷) و ترجیح فوق‌العاده (۹) داشته باشد. همچنین می‌تواند ارزش بین این مقادیر (۲، ۴، ۶ و ۸) را نیز دارا باشند (۳۰).

مدل ژئومد

ژئومد یک مدل تغییرات کاربری زمین است که تغییرات یکسو از یک طبقه کاربری زمین را به طبقه کاربری دیگر مدل‌سازی می‌کند (۲۷). در این مدل دو مؤلفه وجود دارد: مقدار

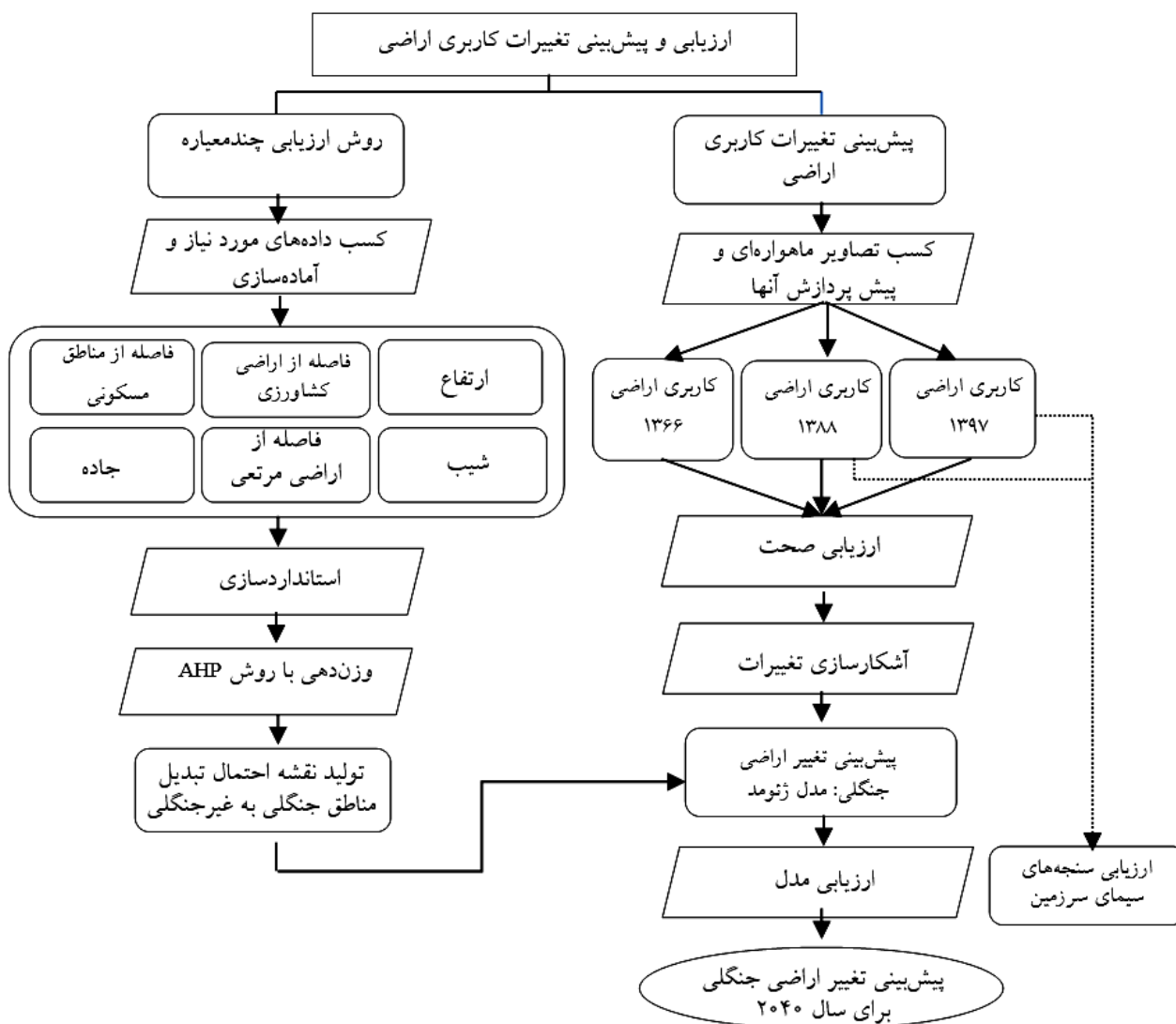
معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی باشد. چرا که در این شاخص نقش شانس قابل توجه است (۲). به‌دلیل ایرادهای وارد شده بر دقت کل، اغلب در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود. زیرا شاخص کاپا، پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد (۵). این ماتریس حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم از یک نقشه مرجع با پیکسل‌های متناظر حاصل از روش‌های مختلف طبقه‌بندی است. به‌همین منظور، در پژوهش حاضر ۳۰ درصد از نمونه‌های آموزشی به‌عنوان نقاط کنترل برای ارزیابی دقت کنار گذاشته شد و مشخصه‌های صحت کلی و آماره کاپا از ماتریس‌های خطا استخراج شدند. پس از تهیه نقشه‌های نهایی کاربری اراضی و ارزیابی صحت، در پایان کار با استفاده از روش Cross tabulation که در واقع یکی از بهترین روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی است، لایه‌های کاربری اراضی تهیه شده، به‌صورت ماتریسی مورد مقایسه قرار گرفت و جدول‌ها و نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی استخراج شد.

بسته‌های نرم‌افزاری مورد استفاده

نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل نرم‌افزارهای ArcGIS 10.3، IDRISI Selva 17.0 و FRAGSTATS است. از نرم‌افزار ArcGIS برای آماده‌سازی اولیه معیارهای تأثیرگذار و عملیات پیش‌پردازش، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل تغییرات پوشش زمین، از نرم‌افزارهای سنجش از دوری پردازش تصویر برای تصحیح رادیومتریک، تصحیح اتمسفری، تهیه نقشه احتمال، مدل‌سازی، پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین و اعتبارسنجی مدل و از نرم‌افزار FRAGSTATS به‌منظور بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شده است. مراحل انجام کار در شکل (۲) ارائه شده است.

تهیه نقشه پتانسیل احتمال تغییرات

در این پژوهش، پس از طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی نقشه



شکل ۲. طرحواره مراحل انجام کار

تغییر کاربری و محلی که تغییر کاربری رخ می‌دهد. برای تعیین مقدار تغییر کاربری زمین، به‌طور کلی از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه استفاده می‌شود. برای مدل‌سازی محل‌هایی که تغییر کاربری زمین در گذشته رخ داده است، تعدادی از داده‌های مکانی مربوط به عوامل اقتصادی-اجتماعی و بیوفیزیکی را مورد استفاده قرار می‌دهد. این عوامل در اغلب موارد شامل وضعیت توپوگرافی، فاصله از رودخانه، جاده و مناطق مسکونی و غیره است (۷). مدل ژنومد با استفاده از سه دستورالعمل تصمیم‌گیری، محل‌هایی که احتمال تغییر در کاربری آنها وجود دارد، تعیین می‌کند. این دستورالعمل‌ها شامل: (۱) عواملی که بر تغییرات

کاربری زمین اثر می‌گذارند؛ (۲) تصویر اشکوب‌بندی شده که از تقسیمات ناحیه‌ای مانند تقسیمات کشوری (به‌طور فرضی مرز شهرستان‌ها) برای انجام فرایند مدل‌سازی در هر یک از مرزها استفاده می‌کند و در این محدوده‌ها وضعیت تغییر کاربری زمین را به‌طور جداگانه تعیین می‌کند؛ (۳) نزدیک‌ترین همسایه که در هر یک از مراحل زمانی، تبدیل کاربری زمین را برای مناطقی که روی مرز است، تعیین می‌کند (۹ و ۲۸). مدل برای شبیه‌سازی به این ورودی‌ها نیاز دارد: (۱) زمان شروع؛ (۲) زمان پایان؛ (۳) مراحل زمانی برای شبیه‌سازی؛ (۴) نقشه‌ای که موقعیت پوشش سرزمین را در وضعیت ۱ (مناطق جنگلی) به وضعیت ۲ (مناطق

کنترل زمینی و تصاویر طبقه‌بندی شده تهیه شود. صحت کل در نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۸۷/۲، ۸۷/۷ و ۹۰/۷ درصد و ضریب کاپای کلی به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۴ و ۰/۸۸ به دست آمد (جدول ۳) که نشان‌دهنده صحت قابل قبول برای نقشه‌های تهیه شده است.

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی نیاز به آشکارسازی تغییرات اتفاق افتاده طی دوره زمانی مورد مطالعه است. این تغییرات شامل کاهش، افزایش و تغییرات خالص برای هر طبقه و انتقال از یک طبقه به طبقه‌های دیگر بود که در جدول‌های (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، بیشترین تغییرات شامل تخریب اراضی جنگلی و تبدیل آن به سایر کاربری‌ها بوده است. بنابر نتایج آشکارسازی تغییرات، در این منطقه در بازه زمانی مورد نظر تغییرات در اراضی جنگلی در جهت کاهش این کاربری بوده است. نتایج نشان داد که در دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۶۶ حدود ۱۱۱۳ هکتار و در دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۱ حدود ۱۵۱۹ هکتار از وسعت این اراضی کاسته شده است. کاهش مساحت اراضی جنگلی و تبدیل آن به کاربری‌های دیگر برای دوره اول به ترتیب از بیشترین به کمترین شامل ۸۹۰ هکتار از تغییرات جنگل به اراضی کشاورزی، ۲۱۰ هکتار از تغییرات جنگل به مرتع و ۱۳ هکتار از تغییرات جنگل به مناطق مسکونی و برای دوره دوم شامل ۱۳۱۲ هکتار از تغییرات جنگل به مرتع، ۱۷۵ هکتار از تغییرات جنگل به اراضی کشاورزی و ۳۲ هکتار از تغییرات جنگل به مناطق مسکونی بوده است. همان‌طور که در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است بیشترین میزان تغییرات به ترتیب در بخش‌های شرقی، جنوب شرقی و مرکزی حاشیه اراضی جنگلی رخ داده است.

بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات سطح جنگل

همان‌طور که اشاره شد برای اجرای روش ژئومد نیاز به نقشه احتمال تغییر به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری جنگل است. لذا عوامل مؤثر در تغییرات اراضی جنگلی همچون نقشه‌های شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از اراضی

غیرجنگلی) در زمان شروع نشان می‌دهد؛ و (۵) نقشه پتانسیل احتمال تغییر (۲۶). در نهایت مدل ژئومد محل تغییر کاربری زمین را بر مبنای پیکسل‌هایی که پتانسیل احتمال تغییر از وضعیت جنگل به کاربری‌های دیگر دارند و همچنین وضعیت کلاس‌های کاربری نقشه‌های مبنای برای دوره زمانی معرفی شده مدل‌سازی می‌کند.

سنجه‌های سیمای سرزمین

بسیاری از فعالیت‌های انسانی به دلیل عدم توجه به محدودیت‌های محیط زیستی بر سیمای سرزمین، تأثیرگذار بوده و آثار محیط زیستی شدیدی بر اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌سازد. سیمای سرزمین، چیدمانی است که در آن ترکیبی از اکوسیستم‌های محلی یا کاربری‌های سرزمین در یک منطقه و در فرم مشابهی تکرار شده‌اند (۷). سنجه‌های سیمای سرزمین الگوریتم‌هایی به منظور کمی کردن ویژگی‌های مکانی سیمای سرزمین هستند (۲۲). این سنجه‌ها می‌توانند به عنوان اساس مقایسه سناریوهای متفاوت سیمای سرزمین، یا شناخت تغییرات وضعیت سیمای سرزمین در طی زمان باشند (۶). (جدول ۲) سنجه‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج

ابتدا با انتخاب سه زمان شامل: ۱۹۸۷ میلادی (۱۳۶۶ ه. ش)، ۲۰۰۲ میلادی (۱۳۸۱ ه. ش) و ۲۰۱۸ میلادی (۱۳۹۷ ه. ش)، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به منطقه مورد مطالعه تهیه شد. پس از اعمال تصحیحات هندسی و اتمسفری روی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های گفته شده در چهار طبقه اراضی جنگلی، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی و اراضی مرتعی با استفاده از روش حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزارهای سنجه‌ها از دور تهیه شد (شکل ۳).

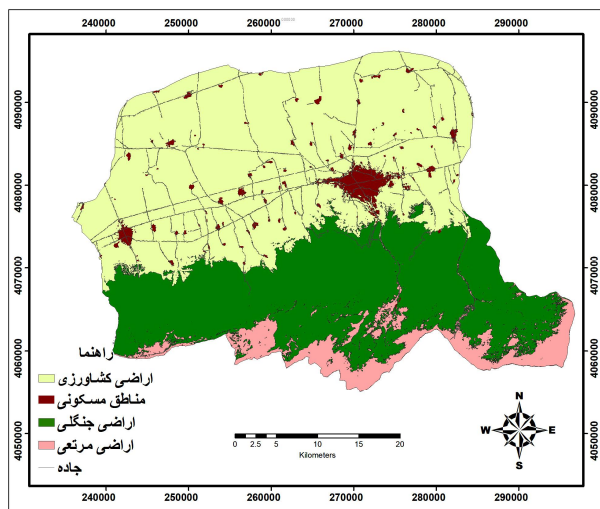
به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی از روش نقاط کنترل زمینی استفاده شد. در این روش به منظور بررسی درستی طبقه‌بندی نیاز است که ماتریس خطایی با استفاده از نقاط

جدول ۲. سنجه‌های مورد استفاده در پژوهش (۴ و ۲۱)

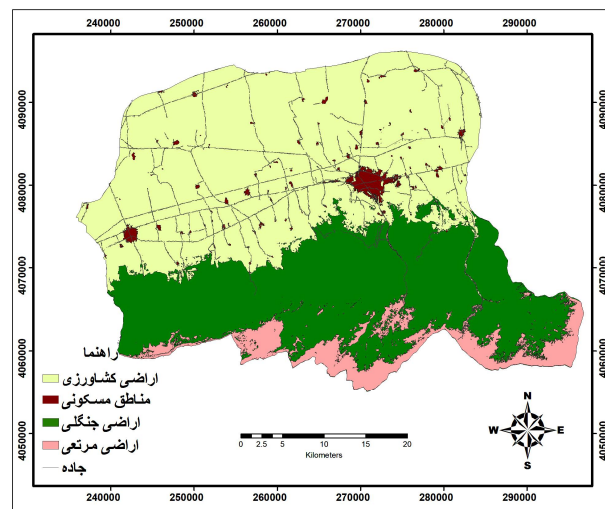
سنجه	توضیحات	واحد	فرمول
مساحت کلاس	نسبت مساحت طبقه در سیمای سرزمین	هکتار	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$
تعداد لکه‌ها	تعداد لکه‌ها در سیمای سرزمین و یا کل تعداد لکه‌ها برای طبقه‌ای خاص	ندارد	$NP = N$
تراکم لکه	تعداد لکه‌ها در واحد سطح	تعداد در صد هکتار	$PD = \left(\frac{n_i}{A} \right) (100)$
تراکم حاشیه	محیط هر کلاس تقسیم بر سطح آن	متر در هکتار	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10000)$
میانگین سطح لکه	میانگین اندازه لکه یک طبقه از لکه‌ها	هکتار	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)}{n_i}$
شاخص چین‌خوردگی ابعاد	پیچیدگی اشکال و تکه‌تکه شدن لکه‌ها در سیمای سرزمین	ندارد	$FRAC = \frac{2 \ln(0.75 p_{ij})}{\ln a_{ij}}$
دایره محدودکننده	بیانگر شکل دایره‌ای و یا کشیدگی ابعاد	ندارد	$CIRCLE = 1 - \left[\frac{a_{ij}}{a_{ij}^s} \right]$
شاخص میانگین شکل	مجموع محیط لکه تقسیم ریشه مربع مساحت لکه برای هر لکه از نوع لکه مربوطه، تقسیم بر تعداد تکه از همان نوع	ندارد	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{0.75 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{n_i}$
اندازه سوراخ‌شدگی	احتمال ارتباط بین دو نقطه تصادفی در یک کلاس	هکتار	$MESHI = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2 \left(\frac{1}{10000} \right)}{A}$
شاخص چولیدگی لکه	دو برابر شیب خط رگرسیونی لگاریتم لکه در برابر لگاریتم محیط لکه	ندارد	$PAFEAC = \frac{2 \left[n_i \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} - \ln a_{ij}) \right] - \left[\left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right) \right]}{\left(n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) - \left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right)^2}$

زوجی در جدول (۷) نشان می‌دهد که معیارهای فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از جاده بیشترین اهمیت را در تأثیرگذاری بر اراضی جنگلی از دیدگاه کارشناسان داشته است. همچنین نرخ ناسازگاری برابر ۰/۰۷ به دست آمد که

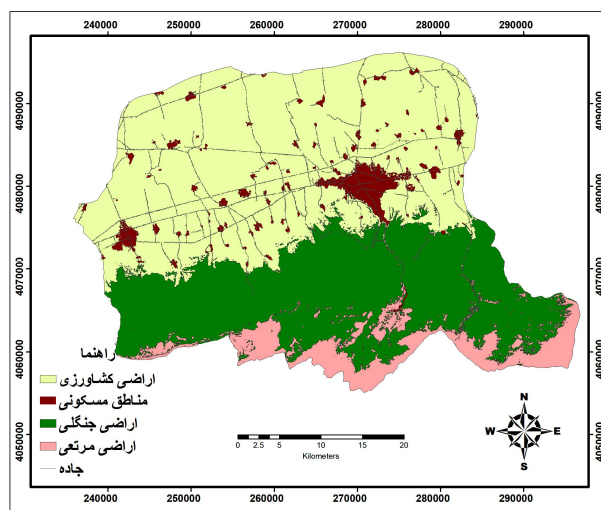
کشاورزی و مرتعی و مناطق مسکونی توسط منطق فازی استاندارد شدند و بر اساس ماتریس مربعی مقایسه زوجی وزن دهی شدند و در نهایت با استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار شده ترکیب شدند. نتایج ماتریس مربعی مقایسه



کاربری اراضی سال ۱۳۸۱



کاربری اراضی سال ۱۳۶۶



کاربری اراضی سال ۱۳۹۷

شکل ۳. نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصویر لندست سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۷ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. ارزیابی دقت نقشه کاربری اراضی تهیه شده (برحسب درصد)

سال ۱۳۹۷		سال ۱۳۸۱		سال ۱۳۶۶		کاربری
دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت تولید کننده	دقت کاربر	
۸۷/۲	۸۹/۵	۸۰/۹	۹۰/۵	۸۸/۱	۷۷/۱	اراضی کشاورزی
۸۷/۵	۹۲/۱	۹۰/۳	۷۳/۷	۷۱/۴	۸۹/۳	مناطق مسکونی
۹۵/۲	۸۸/۹	۸۸/۹	۹۵/۲	۹۳/۲	۹۱/۱	اراضی جنگلی
۹۲/۷	۹۲/۷	۹۲/۵	۹۰/۲	۹۲/۹	۹۳/۱	اراضی مرتعی
۹۰/۷		۸۷/۷		۸۷/۲		صحت کلی
۰/۸۸		۰/۸۴		۰/۸۳		ضریب کاپا کلی

جدول ۴. مساحت و روند تغییرات کاربری اراضی در سال‌های مورد مطالعه

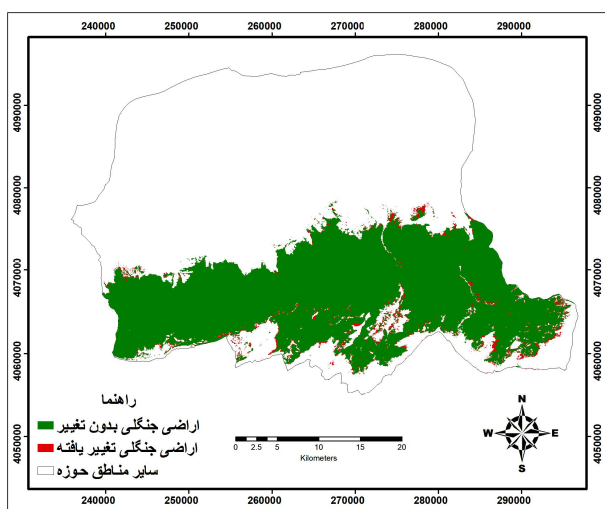
نوع کاربری	مساحت در سال ۱۳۶۶		مساحت در سال ۱۳۸۱		مساحت در سال ۱۳۹۷	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
اراضی جنگلی	۵۹۳۲۱/۷	۳۵/۹	۵۸۲۰۸/۴	۳۵/۵	۵۶۶۸۹/۶	۳۴/۳
اراضی کشاورزی	۹۰۵۹۳/۸	۵۴/۸	۹۰۳۴۷/۹	۵۵/۱	۸۸۳۲۴/۳	۵۳/۵
اراضی مرتعی	۱۲۹۸۲/۲	۷/۹	۱۳۲۰۹/۴	۸/۲	۱۴۵۰۲/۵	۸/۸
مناطق مسکونی	۲۲۹۲/۴	۱/۴	۳۴۲۴/۴	۱/۳	۵۶۷۳/۷	۳/۴
جمع	۱۶۵۱۹۰/۱	۱۰۰	۱۶۵۱۹۰/۱	۱۰۰	۱۶۵۱۹۰/۱	۱۰۰

جدول ۵. جدول‌بندی افقی بین نقشه‌های ۱۳۶۶ (افقی) و ۱۳۸۱ (عمودی) بر مبنای هکتار

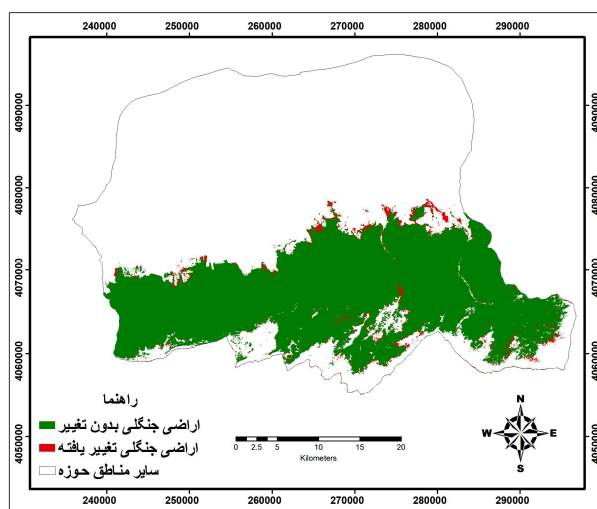
نوع کاربری	اراضی کشاورزی	مناطق مسکونی	اراضی جنگلی	اراضی مرتعی	مجموع
اراضی کشاورزی	۸۹۱۷۹/۶	۱۱۴۳/۵	۲۲۸/۲	۴۲/۶	۹۰۵۹۳/۸
مناطق مسکونی	۲۸/۸	۲۲۶۳/۵	۰	۰	۲۲۹۲/۳
اراضی جنگلی	۱۱۱۷/۹	۱۳/۲	۵۷۱۵۱/۳	۱۰۳۹/۳	۵۹۳۲۱/۷
اراضی مرتعی	۲۱/۶	۴/۱	۸۲۹/۰	۱۲۱۲۷/۵	۱۲۹۸۲/۲
مجموع	۹۰۳۴۷/۹	۳۴۲۴/۴	۵۸۲۰۸/۴	۱۳۲۰۹/۴	۱۶۵۱۹۰/۱

جدول ۶. جدول‌بندی افقی بین نقشه‌های ۱۳۸۱ (افقی) و ۱۳۹۷ (عمودی) بر مبنای هکتار

کاربری	اراضی کشاورزی	مناطق مسکونی	اراضی جنگلی	اراضی مرتعی	مجموع
اراضی کشاورزی	۸۷۷۵۴	۲۲۶۹/۲	۳۲۴/۷	۰	۹۰۳۷۴/۹
مناطق مسکونی	۷۰/۲	۳۳۵۴/۲	۰	۰	۳۴۲۴/۴
اراضی جنگلی	۵۰۰/۱	۳۱/۹	۵۵۹۷۰/۷	۱۷۰۵/۷	۵۸۲۰۸/۴
اراضی مرتعی	۰	۱۸/۵	۳۹۴/۱	۱۲۷۹۶/۸	۱۳۲۰۹/۴
مجموع	۸۸۳۲۴/۳	۵۶۷۳/۷	۵۶۶۸۹/۶	۱۴۵۰۲/۵	۱۶۵۱۹۰/۱



شکل ۵. نقشه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی جنگلی در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۷ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۴. نقشه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی جنگلی در دوره ۱۳۶۶-۱۳۸۱ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۷. وزن‌های حاصل از روش مقایسه زوجی

معیار	شیب	ارتفاع	جاده	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از اراضی کشاورزی	فاصله از اراضی مرتعی
وزن نسبی	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۲۳	۰/۰۷

تحلیل سیمای سرزمین

در این مطالعه برای بررسی تغییرات پهنه‌های جنگلی از ده سنجه سیمای سرزمین در سطح کلاس استفاده شد. این سنجه‌ها شامل مساحت کلاس (CA)، تعداد لکه‌ها (NP)، تراکم لکه (PD)، تراکم حاشیه (ED)، میانگین سطح لکه (AREA_MN)، دایره محدودکننده (CIRCLE_MN)، اندازه سوراخ‌شدگی (MESH) شاخص میانگین شکل (SHAPE_MN)، شاخص چین‌خوردگی ابعاد (FRAC_MN) و شاخص چولیدگی لبه (PAFRAC) است که نتایج حاصل از بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین در جدول (۹) ارائه شده است.

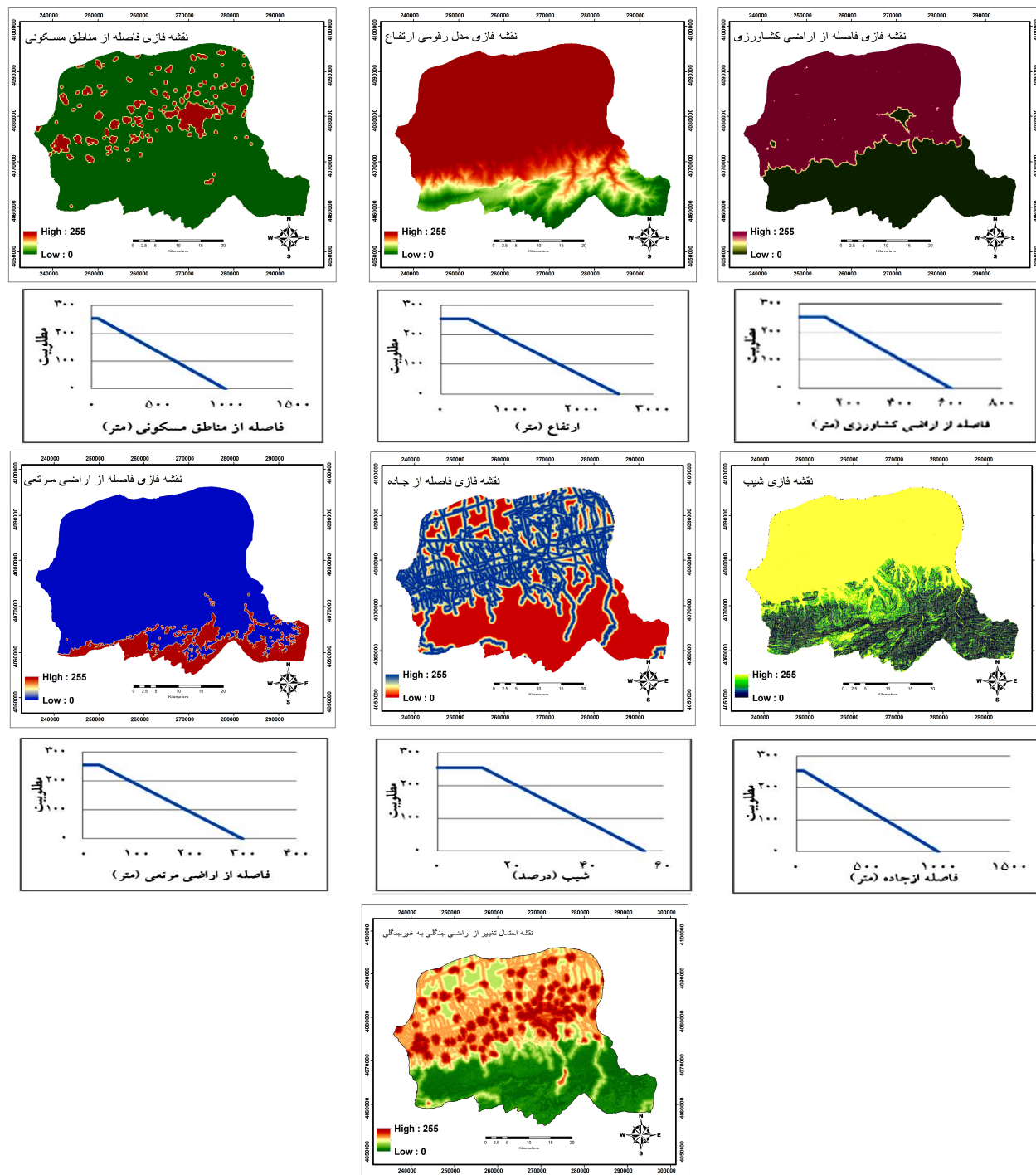
نتایج سنجه‌های مساحت کلاس و تعداد لکه‌های جنگلی نشان می‌دهد که روند تغییرات سطح و تعداد پهنه‌های جنگلی (هکتار) در طول بازه زمانی کاهشی بوده و در طی دوره مطالعه تخریب پهنه‌های جنگلی شدت گرفته است. روند تغییرات سنجه تراکم لکه در سطح هم به‌طور واضحی کاهشی بوده و نشان می‌دهد که تغییرات کاربری سبب کاهش تراکم لکه‌های جنگلی شده و کاربری جنگل در طول زمان دچار تکه‌تکه‌شدگی بیشتری شده است. همچنین سنجه تراکم حاشیه با مساحت سیمای سرزمین مرتبط است و معادل طول تمامی حاشیه‌ها تقسیم بر مساحت است. نتایج این سنجه نشان می‌دهد که بیشترین تراکم حاشیه برای سال ۲۰۰۲ است و در سال‌های مورد بررسی دیگر تغییرات تراکم حاشیه روند منظمی ندارد.

سنجه دیگر مورد بررسی، میانگین سطح لکه است که بیان‌کننده میانگین اندازه لکه یک طبقه از لکه‌ها است. میانگین سطح لکه‌های جنگلی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۸ افزایش یافته است و مقدار این سنجه برای پهنه‌های جنگلی سال ۱۴۲۰ که توسط ژنومد پیش‌بینی شده به میانگین سطح لکه‌های جنگلی سال

قابل قبول است.

پس از اجرای مدل ارزیابی چندمعیاره، نقشه احتمال تغییر به‌دست آمد. خروجی مدل، ارزشی بین صفر تا ۲۵۵ دارد و ارزش هر سلول در نقشه تناسب نشان‌دهنده میزان احتمال تغییر آن در آینده است. به عبارتی، مقادیر بالا نشان‌دهنده محل‌هایی با احتمال بالا برای تغییر کاربری است. شکل (۶) نقشه پتانسیل احتمال تغییر از مناطق جنگلی به غیرجنگلی با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره به‌همراه نوع و شکل تابع عضویت فازی معیارها را نشان می‌دهد.

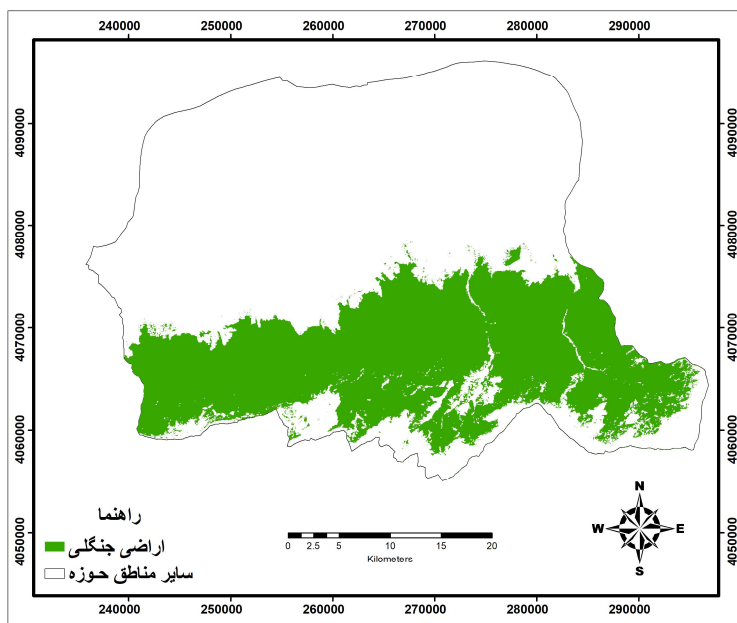
در مرحله بعد، برای پیش‌بینی الگوی تغییرات کاربری اراضی جنگلی در منطقه، با استفاده از مدل ژنومد و با بهره‌گیری از نقشه احتمال تغییر کاربری جنگل و همچنین وضعیت کلاس‌های کاربری، نقشه کاربری جنگلی برای سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی شد که در شکل (۷) و (۸) به‌ترتیب نقشه کاربری اراضی جنگلی در سال ۱۴۲۰ و میزان تغییرات آن نسبت به سال ۱۳۹۴ نشان داده شده است. نتایج مقایسه مساحت‌ها در جدول (۸) نشان می‌دهد که تا سال ۱۴۲۰ تخریب و کاهش پوشش اراضی جنگلی منطقه با روند کنونی ادامه خواهد داشت به‌گونه‌ای که در فاصله ۳۱ سال (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۷) به‌میزان ۲۶۳۲ هکتار جنگل‌زدایی در منطقه رخ داده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۲۰، ۲۰۸۴/۷ هکتار دیگر نیز از مساحت جنگل‌های منطقه کاسته شود. به بیان دیگر، در یک دوره ۵۴ ساله درصد پهنه‌های جنگلی از ۳۵/۹ درصد در سال ۱۳۶۶ به ۳۳ درصد در سال ۱۴۲۰ خواهد رسید. به عبارتی اراضی جنگلی کاهش ۲/۹ درصدی دارند که بیانگر روند کلی تخریب در این اراضی از طریق جایگزین شدن آن با سایر کاربری‌های ضعیف‌تر همچون زمین‌های کشاورزی، اراضی مسکونی و مراتع است.



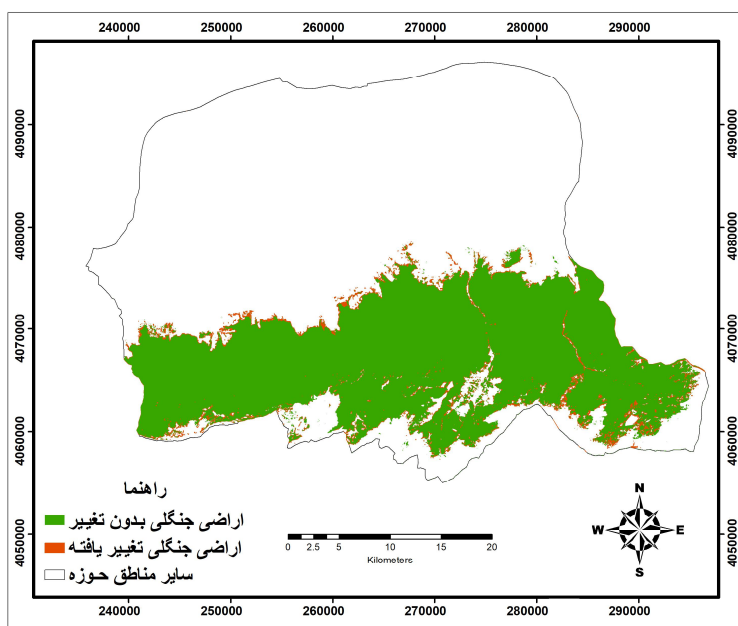
شکل ۶. نقشه احتمال تغییر از مناطق جنگلی به غیر جنگلی با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره به همراه نوع و شکل تابع عضویت فازی معیارها (رنگی در نسخه الکترونیکی)

لکه‌های جنگلی می‌توان چنین استنباط کرد که با گذر زمان لکه‌های جنگلی ریزتر بیشتر از لکه‌های جنگلی درشت‌تر دستخوش تخریب شده‌اند. سنجه چین‌خوردگی ابعاد شاخص

۲۰۱۸ بسیار نزدیک است به طوری که کل روند تغییرات میانگین سطح لکه‌های جنگلی را می‌توان یک روند صعودی در نظر گرفت. از کاهش تعداد لکه‌های جنگلی و افزایش میانگین سطح



شکل ۷. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی جنگلی با استفاده از مدل ژئومد برای سال ۱۴۲۰ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۸. نقشه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی جنگلی در دوره ۱۳۹۷-۱۴۲۰ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۸. نتایج آشکارسازی تغییرات در دوره مورد مطالعه برحسب هکتار

نام کاربری	مساحت در سال ۱۳۶۶		مساحت در سال ۱۳۸۱		مساحت در سال ۱۳۹۷		مساحت در سال ۱۴۲۰		
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش	
اراضی جنگلی	۵۹۳۲۱/۷	۵۸۲۰۸/۴	-	۱۱۱۳/۳	۵۶۶۸۹/۶	-	۱۵۱۸/۸	۵۴۶۰۴/۹	۲۰۸۴/۷

جدول ۹. سنجه‌های سیمای سرزمین برای پهنه‌های جنگلی منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۱۴۲۰

ردیف	سنجه	۱۹۸۷	۲۰۰۲	۲۰۱۸	۱۴۲۰
۱	مساحت کلاس (هکتار)	۵۹۳۳۰	۵۸۲۱۸	۵۶۶۹۰	۵۴۴۴۲
۲	تعداد لکه‌ها	۱۱۷۵	۱۰۷۴	۷۳۴	۷۲۱
۳	تراکم لکه (تعداد در صد هکتار)	۰/۴۶۹	۰/۴۲۸	۰/۲۹۲	۰/۲۸۷
۴	تراکم حاشیه (متر در هکتار)	۵/۳۶۴	۵/۳۹۸	۴/۷۴۲	۵/۰۷۱
۵	میانگین سطح لکه (هکتار)	۵۰/۴۹۳	۵۴/۲۰۷	۷۷/۲۳۴	۷۵/۵۰۹
۶	شاخص چین خوردگی ابعاد	۱/۰۳۷	۱/۰۳۴	۱/۰۳۷	۱/۰۳۴
۷	دایره محدود کننده	۰/۳۳۶	۰/۳۰۴	۰/۳۲۷	۰/۲۷۶
۸	شاخص میانگین شکل	۱/۱۹۰	۱/۱۶۵	۱/۱۸۵	۱/۱۷۴
۹	اندازه سوراخ‌شدگی (هکتار)	۱۳۶۲۵	۱۳۱۰۰	۱۲۴۸۶	۱۱۶۱۶
۱۰	شاخص چولیدگی لبه	۱/۴۰۰	۱/۳۹۱	۱/۳۲۸	۱/۳۹۰

واضحی کاهشی است و بیانگر این احتمال است که دو سلول منتخب به صورت تصادفی در سیمای سرزمین در لکه یکسانی نیستند. سنجه چولیدگی لبه بیان‌کننده پیچیدگی مجموعه‌ای از لکه‌ها در سطح کلاس یا سیمای سرزمین با استفاده از رابطه محیط و مساحت است. در یک سیمای سرزمین دارای لکه‌های کوچک و بزرگ با اشکال هندسی ساده مقدار این سنجه به نسبت پایین است که نشان می‌دهد محیط لکه به صورت نسبتاً آرام با افزایش مساحت لکه افزایش می‌یابد. مقدار چولیدگی لبه از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۸ کاهش یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

جنگل‌زدایی و گسستگی پهنه‌های جنگلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل منفی تأثیرگذار در کارکردها و خدمات اکوسیستم‌های جنگلی محسوب می‌شود که می‌تواند توازن و تعادل ظرفیت زیستگاه، تنوع زیستی و غنای گونه‌ای در این اکوسیستم‌ها را دچار بحران کند. با توجه به اینکه جنگل‌های هیرکانی با تنوع خاص ژنتیکی یکی از بزرگ‌ترین ذخایر ملی کشور محسوب می‌شود، کاهش سطح و تغییرات آنها بسیار نگران‌کننده و حائز اهمیت است، لذا ضرورت دارد که اطلاعات جامعی از روند و پیش‌بینی تغییرات آنها در آینده به‌دست آید.

نرمال شده شکلی مبتنی بر روابط محیط و مساحت است که در آن محیط و مساحت هر دو در مقیاس لگاریتمی هستند. این سنجه نشان‌دهنده پیچیدگی اشکال و تکه‌تکه شدن لکه‌ها در سیمای سرزمین است. بیشترین چین‌خوردگی ابعاد برای سال ۱۹۸۷ است و تغییرات سنجه چین‌خوردگی ابعاد روند مشخصی ندارد. سنجه دایره محدودکننده بیانگر نسبت مساحت لکه به مساحت کوچک‌ترین دایره محدودکننده است و معیاری از کشیدگی کلی لکه است. مقدار سنجه دایره محدودکننده برای یک لکه باریک و کشیده نسبتاً بالاست. بیشترین مقدار سنجه دایره محدودکننده برای سال ۱۹۸۷ و کمترین آن برای سال ۱۴۲۰ است و به‌طور کلی با توجه به مقدار این سنجه برای چهار دوره تغییرات آن طی زمان را می‌توان یک روند نزولی در نظر گرفت. شاخص شکل، پیچیدگی شکل لکه را در مقایسه با یک شکل استاندارد (مربع) با همان اندازه اندازه‌گیری می‌کند و شاخص میانگین شکل متوسط شاخص شکل همه لکه‌های یک کلاس خاص است. این شاخص برای لکه‌های مربع با هر اندازه برابر یک است و هرچه شکل لکه‌ها غیرمربعی‌تر می‌شود بدون محدودیت افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار شاخص میانگین شکل برای سال ۱۹۸۷ است و تغییرات آن طی زمان روند منظمی ندارد. روند تغییرات سنجه اندازه سوراخ‌شدگی هم به‌طور

جاده‌ها به منظور عبور و مرور بهتر در منطقه دانست. همچنین نتایج پیش‌بینی تغییرات بر اساس مدل ژئومد نشان می‌دهد که در صورت ثابت ماندن فرایندهای تغییرات پوشش اراضی در ۲۳ سال آینده نیز مساحت جنگل‌ها ۲۰۸۴/۷ هکتار کاهش پیدا می‌کند که این مسئله زنگ خطری برای مدیران و برنامه‌ریزان منطقه است که با اقدامات مناسب از روند تخریب و جایگزین شدن این جنگل‌های با ارزش با سایر کاربری‌های ضعیف‌تر همچون زمین‌های کشاورزی، اراضی مسکونی و مراتع پیشگیری کنند. بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین در بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که سنجه‌های تعداد لکه، مساحت و تراکم لکه روند کاهشی، میانگین سطح لکه‌های جنگلی روند افزایشی، سنجه دایره محدودکننده روند کاهشی، سنجه اندازه سوراخ‌شدگی و مقدار چولیدگی لبه روند کاهشی داشته است. تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد که سیمای پهنه‌های جنگلی در بازه زمانی مورد مطالعه کوچک‌تر، تکه‌تکه‌تر، نامنظم‌تر و ناپیوسته‌تر شده است. همچنین نتایج تحلیل نقشه‌ها با رویکرد تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد که از ده سنجه مورد استفاده، تغییرات مقدار شش سنجه مساحت کلاس، تعداد لکه‌ها، تراکم لکه، میانگین سطح لکه، دایره محدودکننده و اندازه سوراخ‌شدگی روند منظمی را نشان می‌دهد که این روند منظم حاکی از آن است که مدل ژئومد در پیش‌بینی پهنه‌های جنگلی سال ۱۴۲۰ حداقل از نظر شش سنجه یاد شده کاملاً موفق عمل کرده است. بررسی مقدار چهار سنجه دیگر شامل تراکم حاشیه، چین‌خوردگی ابعاد، میانگین شکل و سنجه چولیدگی لبه برای پهنه‌های جنگلی سال ۱۴۲۰ نیز نشان می‌دهد که هر چند تغییرات این سنجه‌ها از روند منظمی تبعیت نمی‌کنند اما مقدار این سنجه‌ها برای پهنه‌های جنگلی سال ۱۴۲۰ نزدیک به میانگین آنها در سه دوره اخیر است و تأییدی بر موفقیت نسبی مدل ژئومد در پیش‌بینی پهنه‌های جنگلی سال ۱۴۲۰ است. نتایج شایسته و همکاران (۳۱) و قربان‌نیا خیبری و همکاران (۱۲) نیز مؤید مطلوبیت این مدل در پیش‌بینی مناسب میزان تغییرات در آینده است. با توجه به تأثیرات منفی و مخرب گسستگی و

هدف از انجام این مطالعه آشکارسازی تغییرات پهنه‌های جنگلی در محدوده جنگل‌های هیرکانی و در دوره‌های زمانی (۱۳۸۱-۱۳۹۷ و ۱۳۶۶-۱۳۸۱) است. لذا به منظور مدل‌سازی تغییرات در منطقه از نقشه پتانسیل احتمال تغییر از مناطق جنگلی به غیرجنگلی حاصل شده از روش ارزیابی چندمعیاره بهره‌گیری شد و پس از مدل‌سازی تغییرات، با استفاده از مدل ژئومد تغییرات پوشش جنگلی برای سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی شد. در نهایت با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین، مشخصات کمی و چگونگی توزیع مکانی تغییرات در الگوی پهنه‌های جنگلی تحلیل شد. بر اساس نتایج آشکارسازی تغییرات، بیشترین تغییرات شامل تخریب اراضی جنگلی و تبدیل آن به سایر کاربری‌ها بوده است به گونه‌ای که در دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۶۶ حدود ۱۱۱۳ هکتار و در دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۱ حدود ۱۵۱۹ هکتار از وسعت این اراضی کاسته شده است که نشان‌دهنده روند تخریب جنگل‌های منطقه است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره اول بیشترین تبدیل پهنه‌های جنگلی به اراضی کشاورزی و در دوره دوم بیشترین تبدیل به اراضی مرتعی بوده است و سپس اراضی کشاورزی بوده است که مطالعات ایی و بای (۳۴) و نصیری و همکاران (۲۵) نیز مؤید این مطلب است که اراضی جنگلی در حاشیه این کاربری‌ها دارای بیشترین تخریب هستند. مطالعه نشان داد توزیع مکانی تغییرات در حاشیه جنگل به ترتیب در بخش‌های شرقی، جنوب شرقی و مرکزی و در حاشیه اراضی کشاورزی، مرتعی و جاده رخ داده است. از جمله دلایل تخریب انسانی پوشش جنگلی در این منطقه را می‌توان به دست‌اندازی‌های انسانی برای رفع نیازهای هر چند منطقی و گاهی غیرمنطقی و سودجویانه به این اراضی حاصلخیز، نزدیکی اراضی کشاورزی به حاشیه جنگل و نبود حریم مناسب بین آنها، وجود جاذبه‌های گردشگری منطقه مورد مطالعه و ایجاد گردشگاه‌های مختلف (از جمله منطقه توریستی ناهارخوران، الگدره، دهکده درازنو و منطقه جنگلی پلنگ‌پا در جنوب شهرستان کردکوی)، ویلاسازی‌های متعدد در برخی روستاها مانند زیارت، توشن، درازنو، جهان‌نما و ... و احداث و گسترش

در مقیاس وسیع در آینده پیشگیری کنند. انجام پژوهش‌هایی از این نوع می‌تواند گامی مهم به منظور حفاظت و جلوگیری از روند تخریب و سیر فقه‌قراایی اراضی جنگلی باشد.

کاهش اراضی جنگلی در کارکرد و خدمات اکوسیستم‌ها، ضرورت دارد برنامه‌ریزان و مدیران به پایش منظم و دوره‌ای اراضی جنگلی و بررسی سیمای سرزمین و تغییرات آن در سطوح مختلف پردازند تا از تشدید آشفته‌گی و بحران و بروز آن

منابع مورد استفاده

1. Afarakht, R. and B. Jabarian Amiri. 2014. Land use investigation using landscape criteria to measure changes in landscape structure (Case study: Port of Anzali). Development Strategies Recognition Conference, University of Gilan, Rasht.
2. Alavi Panah, S. K. 2005. Application of Remote Sensing in the Earth Sciences. University of Tehran Press. Tehran, Iran, 478 p.
3. Apan, A. A., S. R. Raine and M. S. Paterson. 2002. Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley catchment Queensland, Australia. *Journal of Landscape and Urban Planning* 59 (1): 43-57.
4. Arkhi, S. 2015. Application of landscape metrics in assessing land use changes trend by using remote sensing and GIS case study: Dehloran desert area. *Journal of Geography and Development* 13(40): 59-68 (In Farsi).
5. Bonyad, A. and T. Hajyghaderi. 2008. Inventorying and mapping of natural forest stands of Zanjan province using landsat ETM+ image data. *Journal of Water and Soil Science* 11(42): 627-638. (In Farsi).
6. Botequila Leitao, A., M. Jozeph and J. Ahern. 2006. Measuring Landscapes: A planner's handbook. Island Press, Washington DC, 272 p.
7. Brown, S., M. Hall, K. Andrasko, F. Ruiz, W. Marzoli, G. Guerrero, O. Masera, A. Dushku and B. DeJong. 2007. Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Journal of Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12(6): 1001-1022.
8. Del Castillo, E. M., A. García-Martin, L. A. L. Aladrén and M. de Luis. 2015. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain). *Journal of Applied Geography* 62: 247-255.
9. Echeverria, C., D. A. Coomes, M. Hall and A. C. Newton. 2008. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1312 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modeling* 212(3-4): 439-449.
10. Fathizad, H., A. Nohegar, M. Faramarzi and M. Taze. 2013. An investigation of changes in land-use according to the analysis of landscape ecology metrics by using remote sensing and GIS in arid and semi-arid region of Dehloran. *Journal of Town and Country Planning* 5(1): 79-99.
11. Ghorbani, M., A. A. Darvishsefat, B. Jabbarian Amiri and M. Bagheri. 2018. Spatial forest disturbance modeling using landscape metrics in Golestan national park of Iran. *Journal of Forest Research and Development* 4(3): 303-317. (In Farsi).
12. Ghorbannia Kheybari, V., M. M. Mirsanjari and M. Armin. 2018. Forecasting of forest land changes in the Chaloosrood watershed. *RS and GIS Journal for Natural Resources* 8(2): 79-91. (In Farsi).
13. Herold, M., J. Scepan and K. Clarke. 2002. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Journal of Environment and Planning* 34 (8): 1443-1458.
14. Karam, A., P. Ziaieian, M. Yamani, and M. Enayati. 2018. Detection of the effect of land use change on the spatial distribution of dust in northwestern central Iran. *Journal of Quantitative Geomorphological Research* 6(3): 90-104 (In Farsi).
15. Kazem, A. H., F. Hosseinali and A. A. Ale-sheikh. 2015. Urban expansion modeling using medium resolution satellite imagery based on cellular automata. *Scientific-SEPEHR Journal* 24(94): 45-58. (In Farsi).
16. Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 2001. Remote Sensing and Image Interpretation. 4th Ed, John Wiley and Sons, Inc. USA, 210 p.
17. Liu, X. H., A. K. Skidmore and H. V. Oosten. 2002. Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 56(4): 257-268.
18. Longley, P. A., F. Michael and J. David. 2005. Geographic Information Systems and Science. London: John Wiley and Sons, Ltd, 496 p.
19. Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio and E. Moran. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* 25(12): 2365-2407.

20. Mayes, M., E. M. Spiota, L. Syzmanski, M. A. Erdogan, M. Ozdogan and M. Clayton. 2014. Soil type mediates effects of land use on soil carbon and nitrogen in the Konya Basin, Turkey. *International Journal of Geoderma* 25: 232-234.
21. McGarigal, K. and B. J. Marks. 1995. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1-122.
22. McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel and E. Ene. 2002. FRAGSTATSv3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer Software Program Produced in the University of Massachusetts.
23. Mialhe, F., Y. Gunnel, F. A. Ignacio, N. Delbart, J. Oganian and S. Henry. 2015. Monitoring land-use change by combining participatory land-use maps with standard remote sensing techniques: Show case from a remote forest catchment on Mindanao, Philippine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-Information* 36: 69-82.
24. Moreno, J. L., J. Zabalza, V. S. M. Serrano, J. Revuelto, M. Gilaberte, C. Molina, E. M. Tejada, J. M. Ruiz and C. Tague. 2014. Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: Scenarios in Upper Aragón River. *Science of the Total Environment* 493: 1222-1231.
25. Nasiri, V., A. A. Darvishsefat, A. Shirvani and M. Avatefi hemat. 2019. Monitoring and modeling changes of forest area using logistic regression-markov and geomod. *Journal of Geographic Space* 19(65): 171-189. (In Farsi).
26. Paudel, S. and F. Yuan. 2012. Assessing landscape changes and dynamics using patch analysis and GIS modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 16: 66-76.
27. Pontius Jr, R. G. and H. Chen. 2006. GEOMOD modeling, Idrisi Andes help contents, Clark University, Massachusetts.
28. Pontius Jr, R. G., J. D. Cornell and C. A. S. Hall. 2001. Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: Application and validation for Costa Rica. *Journal of Agriculture Ecosystems & Environment* 85(1-3): 191-203.
29. Ramachandra, T. V., H. A. Bharath, S. Vinay, N. V. Joshi, U. Kumar and K. V. Rao. 2013. Modelling urban revolution in greater bangalore, India. In 30th Annual In-House Symposium on Space Science and Technology, ISRO-IISc Space Technology Cell, Indian Institute of Science, Bangalore, November 2013.
30. Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Mathematical Psychology* 15(3): 234-281.
31. Shayesteh, K., S. Abedian and S. Galdavi. 2018. Urban expansion modeling using logistic regression method based on Geomod model (Case study: Kordkuy city). *Journal of Geography and Development* 16(51): 43-64. (In Farsi).
32. Simova, P. and K. Gdulova. 2012. Landscape indices behavior: A review of scale effects. *Journal of Applied Geography* 34: 385-394.
33. Tian, Y., C. Jim, Y. Tao and T. Shi. 2011. Landscape ecological assessment of green space fragmentation in Hong Kong. *Journal of Urban Forestry & Urban Greening* 10(2): 79-86.
34. Ye, B. and Z. Bai. 2007. Simulating land use/cover changes of Nenjiang Country based on CA-Markov model. In: first IFIP TC 12 International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA 2007), Wuyishan, China, August 18-20.
35. Zare Garizi, A., A. Talebi and M. Faramarzi. 2017. Identification and prioritization of critical areas of soil erosion and sediment using SWAT model. *Journal of Watershed Engineering and Management* 8(4): 350-361. (In Farsi).

Detecting and Modelling the Trend of Change in the Forest Land Use in Garasu Watershed Area Using Landscape Metrics

M. H. Mokhtari^{1*}, S. Abedian² and M. Gholipoor³

(Received: October 22-2019; Accepted: December 18-2019)

Abstract

Detecting, predicting and quantifying the trends of landscape pattern change in the forests of Gharasu watershed area are necessary so as to assess the crises or prevent them. To this aim, the land use maps belonging to the years 1987, 2002 and 2018 were classified through the maximum likelihood method, and the forest area changes were estimated. Then, through the Geomod model and the forest change probability map derived from the multi-criteria evaluation method, a forestland map was generated for the year 2041. Moreover, the quantitative characteristics and the spatial distribution of the forested area were evaluated using ten landscape metrics. The results revealed that 2632 hectares had been deforested over the last 31 years; also, it is predicted that 2084.7 more hectares of the forests will be reduced until 2041. The analysis of the landscape metrics also showed that the forest landscape had become more limited and fragmented, as well as becoming less regular and integrated. Through the landscape analysis approach, six of the ten metrics used in this study proved to have a regular trend of change. They include class area, number of patches, patch density, patch area mean, limiting circle and pore size. Thus, it can be concluded that Geomod is a quite successful model in predicting the forest areas for the year 2041.

Keywords: Landscape metrics, Geomod, forested area, Land use change detection

1. Dept. of Desert Manage., Faculty of Natur. Resour., Yazd Univ., Yazd, Iran.

2. Dept. of Environ., Faculty of Natur. Resour., Payam-e-nour Unive. of Kerman, Iran.

3. Dept. of Environ., Faculty of Fisheries and Natur. Resour., Gorgan Univ. of Agric. Sci. & Natur. Resour, Gorgan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: mh.mokhtari@yazd.ac.ir