

بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان لاهیجان و پیش‌بینی تغییرات آبی آن با مدل LCM

رحمت اله نیاکان لاهیجی^۱، نغمه مبرقعی دینان^{۲*}، هومان لیاقتی^۳،
حمیدرضا غفارزاده^۴، علیرضا وفایی نژاد^۵

۱ دانشجوی دکترای محیط زیست، گروه تخصصی علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست،

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲ دانشیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳ دانشیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۴ عضو هیات علمی-دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

۵ عضو هیات علمی دانشکده عمران آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹)

چکیده

یکی از ملزومات مدیریت منابع طبیعی، آمار به هنگام از تغییرات کاربری اراضی است که انسان از طریق آن، محیط‌زیست خود را تحت تاثیر قرار داده است. پژوهش حاضر با استفاده از مدل LCM به آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهرستان لاهیجان در استان گیلان در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۰ پرداخته است. ابتدا تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ در پنج کلاس جنگل، مرتع، کشاورزی، مناطق انسان‌ساخت و منابع آبی طبقه‌بندی شدند. سپس پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ با نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰ انجام شد. از متغیرهای ارتفاع، شیب، بارش، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از مراتع، فاصله از حاشیه جنگل و فاصله از جاده به‌عنوان عوامل موثر بر تغییرات استفاده شد. ارزیابی صحت پیش‌بینی براساس نقشه‌های کاربری اراضی ۲۰۱۶ واقعیت زمینی و ۲۰۱۶ پیش‌بینی انجام شد که مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، هشدار خطا و خطا به ترتیب ۸۸/۰۴ درصد، ۲/۶۵ درصد، ۸/۴۵ درصد و ۴/۲۸ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده انطباق قابل قبول تصویر پیش‌بینی شده با تصویر واقعیت زمینی است. در ضمن در تحقیق حاضر مقدار خطای حاصل از پیش‌بینی مدل حدود ۱۲/۶ درصد بود که کارایی و توانایی مدل را تایید می‌کند. طبق نتایج طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ سطح چشمگیری از پوشش جنگلی کاسته شده که با ادامه روند کنونی تغییر کاربری در آینده شاهد ادامه جنگل‌زدایی خواهیم بود. با توجه به روند جنگل‌زدایی منطقه مورد مطالعه، اجرای مطالعات آمایش سرزمین به منظور کاهش آثار منفی تغییر کاربری اراضی پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه‌ها: استان گیلان، جنگل‌زدایی، مدل تغییر زمین، شبکه عصبی مصنوعی، زنجیره مارکوف

سرآغاز

پرداختند. برای این منظور نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست استخراج شد. در مرحله بعد صحت‌سنجی نقشه‌ها و آشکارسازی تغییرات صورت گرفت. نتایج آشکارسازی تغییرات با ضریب کاپای ۹۱/۸۵٪ نشان داد که بیشترین افزایش مساحت در مناطق ساخته شده و بیشترین کاهش مساحت در زمین باز رخ داده است. بر مبنای این تغییرات، ۱۱ متغیر مستقل به عنوان ورودی مدل انتخاب شده و سپس، پتانسیل تبدیل کاربری و پیش‌بینی برای سال ۱۳۹۶ با استفاده از روش MLP و زنجیره مارکوف مدل‌سازی شدند. از مطالعات خارجی انجام شده با هدف بررسی تغییرات کاربری اراضی با مدل LCM می‌توان به Bax و همکاران (۲۰۱۶) اشاره نمود که به مدل‌سازی مکانی فرایند جنگل‌زدایی در پرو پرداختند. در این پژوهش ارتباط میان از دست‌دهی جنگل و پارامترهای سیمای سرزمین بررسی شد. همچنین متغیرهای رودخانه، ارتفاع، بارش سالانه، مطلوبیت خاک برای کشاورزی، جاده‌ها و تراکم جمعیت، به عنوان پارامترهای تاثیرگذار در جنگل‌زدایی انتخاب شدند. Singh و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود به مدل‌سازی دینامیک فضایی جنگل‌زدایی و تکه تکه شدن جنگل‌ها در آسام^(۲)، هند پرداخته و تغییرات پوشش جنگل و میزان جنگل‌زدایی را با استفاده از مدل LCM مورد بررسی قرار دادند. تجزیه و تحلیل تغییرات جنگل نشان داد که بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۵، پوشش منطقه جنگل از ۲۳۷۴۹ کیلومتر مربع به ۲۱۱۴۵ کیلومتر مربع کاهش یافته است. کل منطقه پیش‌بینی شده جنگل آسام در سال ۲۰۳۰، ۲۰۱۸۹ کیلومتر مربع است. تاثیر پنج عامل فاصله از جاده‌ها و مناطق مسکونی، ارتفاع، شیب و فاصله از آب‌های موجود در جنگل‌زدایی بررسی شد. با توجه به ضرایب کرامر، ارتفاع به شدت با جنگل‌زدایی در آسام همراه بود و به دنبال آن شیب، فاصله تا آب و فاصله تا جاده‌ها قرار داشتند. Silva و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود در منطقه Paraiba در برزیل از مدل LCM استفاده کردند تا اثر عوامل انسانی و محیطی در فرایند تغییر کاربری و پوشش اراضی و افزایش مساحت جنگل‌ها را در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۱ بررسی نمایند. همچنین میرحسینی و همکاران از مدل LCM برای برآورد تغییر کاربری در شمال غرب استان یزد استفاده کردند (Mirhosseini et al., 2016).

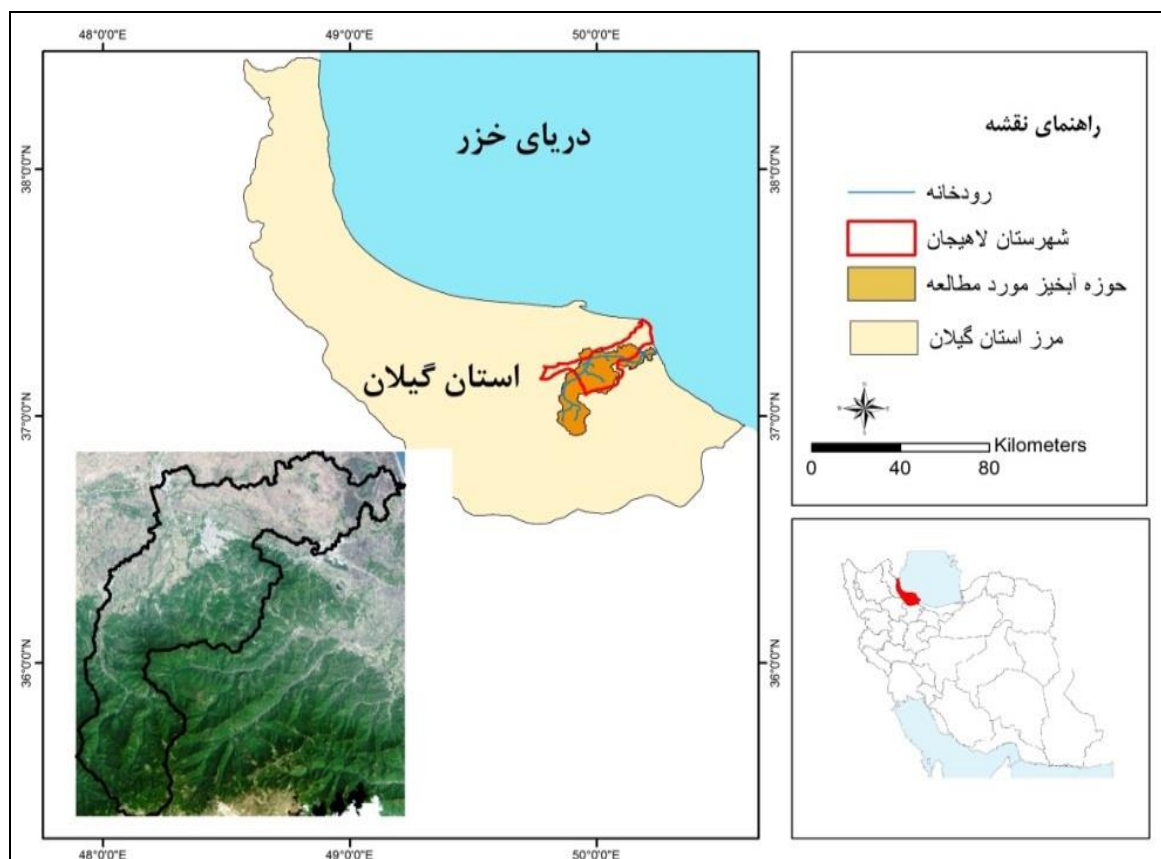
تغییرات کاربری اراضی یکی از آشکارترین آثار مداخله انسان روی کره زمین است و می‌تواند بر سلامت انسان و سیستم‌های بوم‌شناختی تاثیرگذار باشد (Foley et al., 2005). انسان با پاک تراشی جنگل‌ها، پرداختن به کشاورزی اقتصادی، افزایش تولیدات کشتزارها و توسعه مراکز شهری، سیمای سرزمین جهانی را تغییر داده است. پوشش سطح زمین دایما توسط فعالیت‌های انسانی در حال تغییر است. این تغییرات روی اجزای محیط‌زیست مانند خاک، آب و اتمسفر تأثیر مستقیم می‌گذارد. بنابراین، به طور مستقیم با بسیاری از مسایل محیط‌زیستی که اهمیت جهانی دارند در ارتباط است. کاربری اراضی همواره یکی از مهم‌ترین عواملی بوده که انسان از طریق آن محیط‌زیست خود را تحت تاثیر قرار داده است. از نظر تاریخی مهم‌ترین تغییر کاربری اراضی که انسان انجام داده است، از میان بردن جنگل‌ها و تبدیل آنها به اراضی کشاورزی و سکونتگاه‌ها است (Lausch & Herzog, 2002). پژوهش حاضر با هدف بررسی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان لاهیجان در استان گیلان طی دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۴) با مدل‌سازی تغییر اراضی LCM^(۱) انجام شد. در این راستا از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.3، ENVI 4.8 و IDRISI استفاده شده است. LCM ابزاری را در اختیار می‌گذارد که به کمک آن می‌توان به ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و تاثیرات آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع‌زیستی پرداخت (غلامعلی فرد و همکاران، ۱۳۹۳). از مطالعات داخلی انجام شده در این زمینه می‌توان به غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۳) اشاره نمود که به پایش و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل میانی استان بوشهر در یک دوره ۲۳ ساله (۱۳۶۷-۱۳۹۰) با استفاده از مدل LCM پرداختند. بدین‌منظور هفت متغیر، سه زیر مدل و دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۴ برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۳۹۰ استفاده شد. پس از ارزیابی صحت مدل‌سازی با آماره کاپا، نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۵ با استفاده از دوره واسنجی ۱۳۸۴-۱۳۹۰ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه، تغییرات شدید از اراضی باز به اراضی کشاورزی و رهاسازی زمین‌های کشاورزی در منطقه مشاهده شد. همچنین حیدریان و همکاران (۱۳۹۳) به مدل‌سازی توسعه کلان‌شهر تهران با استفاده از مدل LCM در دوره ۱۱ ساله ۱۳۷۴-۱۳۸۵

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان لاهیجان با مساحت ۴۰۷ کیلومترمربع واقع در طول جغرافیایی شرقی ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه (حداقل) و ۵۰ درجه و ۱۳ دقیقه (حداکثر) و عرض شمالی ۳۷ درجه و ۰۵ دقیقه (حداقل) و ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه (حداکثر)، واقع در استان گیلان در شرق سفیدرود و در ارتفاع ۴ متری از سطح دریا قرار دارد. این

شهرستان دارای دو ناحیه عمده جغرافیایی جلگه‌ای و کوهستانی است در ناحیه جلگه‌ای نوار باریک ساحلی و در ناحیه کوهستانی محدوده‌های کوهپایه‌ای، جنگلی و مرتعی در ارتفاعات مختلف به چشم می‌خورد (سالنامه آماری استان گیلان، ۱۳۸۹). به منظور تعیین مرز محدوده مورد مطالعه از برنامه SWAT 2009^(۳) استفاده شد. حوزه آبخیز در برگیرنده رودخانه اصلی شهرستان لاهیجان با مساحت ۵۴۲/۵ کیلومترمربع استخراج شد (شکل ۱).



شکل (۱): محدوده مورد مطالعه در استان گیلان

مراحل انجام پژوهش

برای انجام پژوهش، نرم‌افزارهای Arc GIS 10.3، ENVI 5.3 و IDRISI به کار گرفته شد و با استفاده از ابزار مدل‌ساز تغییر اراضی (LCM)^(۴) که به طور کامل با نرم‌افزار IDRISI یکپارچه شده است، تغییرات کاربری اراضی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف در دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۴) بررسی و آشکارسازی شده و در ادامه پیش‌بینی تغییرات آتی انجام شد. مراحل کلی انجام گام اول پژوهش با استفاده از ابزار LCM به ترتیب شامل تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، آشکارسازی

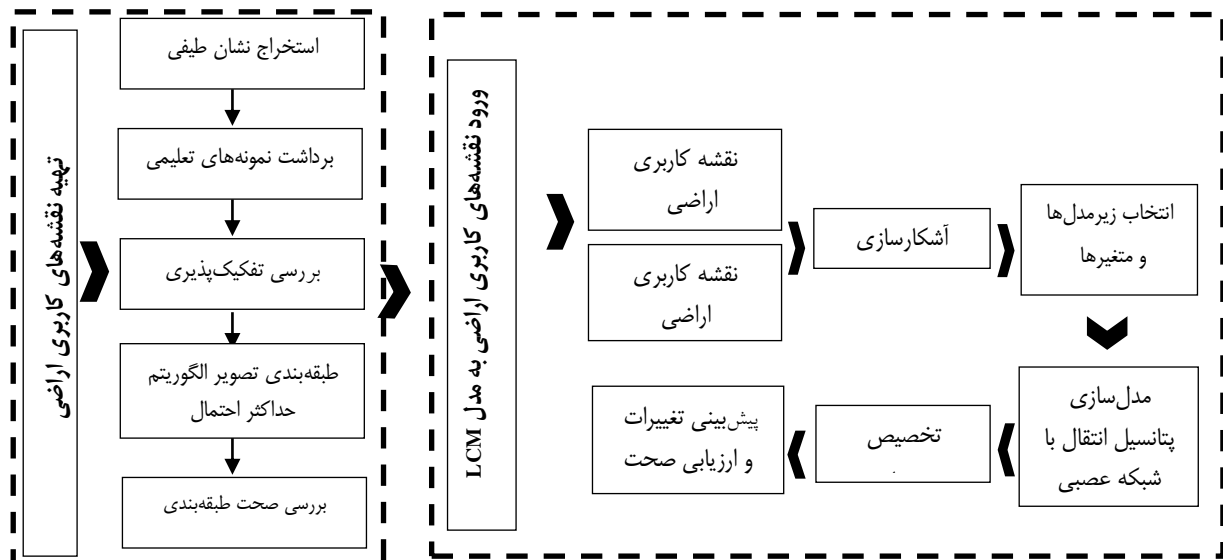
تغییرات، انتخاب متغیرهای هدایت‌کننده تغییر، مدل‌سازی پتانسیل انتقال، پیش‌بینی کاربری آینده و در نهایت ارزیابی صحت مدل‌سازی است (شکل ۲).

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست استفاده شد (جدول ۱). باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ از سایت Explorer Earth^(۵) دانلود و طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال^(۶) (MAXLIKE) انجام شد. برای

که طی زمان تغییر نکرده‌اند (۲۰۰ نقطه واقعیت زمینی)، با استفاده از ماتریس خطا صحت طبقه‌بندی تصاویر ارزیابی شد.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصویر سال ۲۰۱۶ با کمک نرم‌افزار Google Earth و برداشت نقاط کنترل زمینی از ماتریس خطا^(۷) استفاده شد (Congalton, 1991). همچنین برای سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۰ با تفسیر تصاویر ترکیب رنگی کاذب و مناطقی



شکل (۲): مراحل انجام پژوهش

جدول (۱): مشخصات تصاویر استفاده شده در این پژوهش

تعداد باندها	سنجنده	ماهواره	دوره زمانی
۵	MSS	Landsat-5	۱۹۸۴
۷	ETM	Landsat-7	۲۰۰۰
۱۱	OLI	Landsat-8	2016

تعیین متغیرهای هدایت‌کننده تغییر کاربری اراضی

متغیرهای تاثیرگذار بر تغییرات کاربری استفاده شده در این پژوهش عبارتند از: ۱. ارتفاع (مدل رقومی ارتفاع)؛ ۲. شیب؛ ۳. بارش؛ ۴. فاصله از مناطق مسکونی؛ ۵. فاصله از اراضی کشاورزی؛ ۶. فاصله از حاشیه جنگل و ۷. فاصله از جاده. متغیرها با توجه به مرور سایر مطالعات صورت گرفته در این زمینه انتخاب شده‌اند. انتخاب نهایی متغیرهای تاثیرگذار بر تغییرات کاربری با استفاده از طریق ضریب همبستگی کرامر^(۱۰) تعیین شد. این ضریب، همبستگی متغیرها را در یک زمان با طبقات کاربری اراضی مقایسه می‌کند (Eastman, 2006).

ورود نقشه‌های کاربری اراضی به مدل LCM

در این مرحله نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰ برای پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ وارد مدل شد و طی مراحل بعد نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۶ با نقشه واقعیت زمینی این سال مقایسه شد.

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

پس از وارد سازی نقشه‌های کاربری تولید شده مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰ به منظور تحلیل تغییرات منطقه، کاهش و افزایش هر کاربری^(۸) و تغییر خالص^(۹) هر کاربری بررسی شد (Václavík & Rogan, 2009).

تعریف شده و نقشه‌های احتمال انتقال تغییرات، نقشه کاربری سال ۲۰۱۶ تهیه شد. سپس نقشه ۲۰۱۶ پیش‌بینی شده توسط مدل با نقشه ۲۰۱۶ واقعیت زمینی از طریق ماژول Validate ابزار LCM مورد مقایسه قرار گرفت و شاخص کاپای توافق^(۱۲) (KIA) یا کاپای استاندارد محاسبه شد.

نتایج

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

نقشه‌های کاربری تهیه شده در سه دوره زمانی در شکل (۳) قابل مشاهده است. پنج طبقه کاربری اراضی شامل مناطق انسان‌ساخت، جنگل، اراضی کشاورزی، مراتع و منابع آبی در منطقه مشخص شد. برای تعیین صحت طبقه‌بندی، نقشه‌های تولید شده با داده‌های واقعیت زمینی مقایسه و نتایج ماتریس خطا حاصل شد. کاپای کلی برای نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ برابر با ۸۶/۰، ۷۹/۰ و ۸۳/۰ درصد بود که نشان‌دهنده صحت قابل قبول نقشه‌های تهیه شده می‌باشد.

نتایج آشکارسازی تغییرات جدول (۲) نشان داد که طی دوره ۱۶ ساله ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، ۶۸۰۲ هکتار از وسعت جنگل کاسته و بر وسعت سایر کاربری‌ها افزوده شده است. به طوری که در سال ۱۹۸۴ پوشش جنگلی با مساحت ۳۷۴۳۰/۷۳ هکتار بیش از ۶۹/۰۹ درصد کل منطقه را در بر گرفته و طی ۱۶ سال با روند کاهش ۱۲/۵ درصد (شکل ۴)، مساحت پوشش جنگلی به ۳۰۶۲۸/۷۱ هکتار معادل ۵۶/۵۳ درصد کل منطقه را در برمی‌گیرد. روند کاهش پوشش جنگلی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ با سرعت آهسته‌تر ۳/۶ درصد ادامه یافته و به مساحت ۲۸۶۶۴/۴۶ معادل ۵۲/۹۱ درصد کل حوزه آبخیز مورد مطالعه کاهش یافته است.

مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری و صحت‌سنجی آن

پس از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی برای دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ و تعیین متغیرهای هدایت‌گر تغییر، در این مرحله پتانسیل انتقال از یک کاربری (مثل جنگل) به کاربری دیگر (مانند کشاورزی) با توجه به متغیرهای تاثیرگذار بر تغییرات کاربری مدل می‌شود. به این معنی که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر قابلیت دارد. مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام خواهد شد. شبکه عصبی استفاده شده در این ابزار شبکه عصبی پرسپترون چند لایه^(۱۱) (MLP) است (Bishop, 1995). در این پژوهش برای بررسی و ارزیابی صحت مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری با روش MLP از خطای آموزش و خطای تست استفاده شد.

پیش‌بینی کاربری اراضی آینده

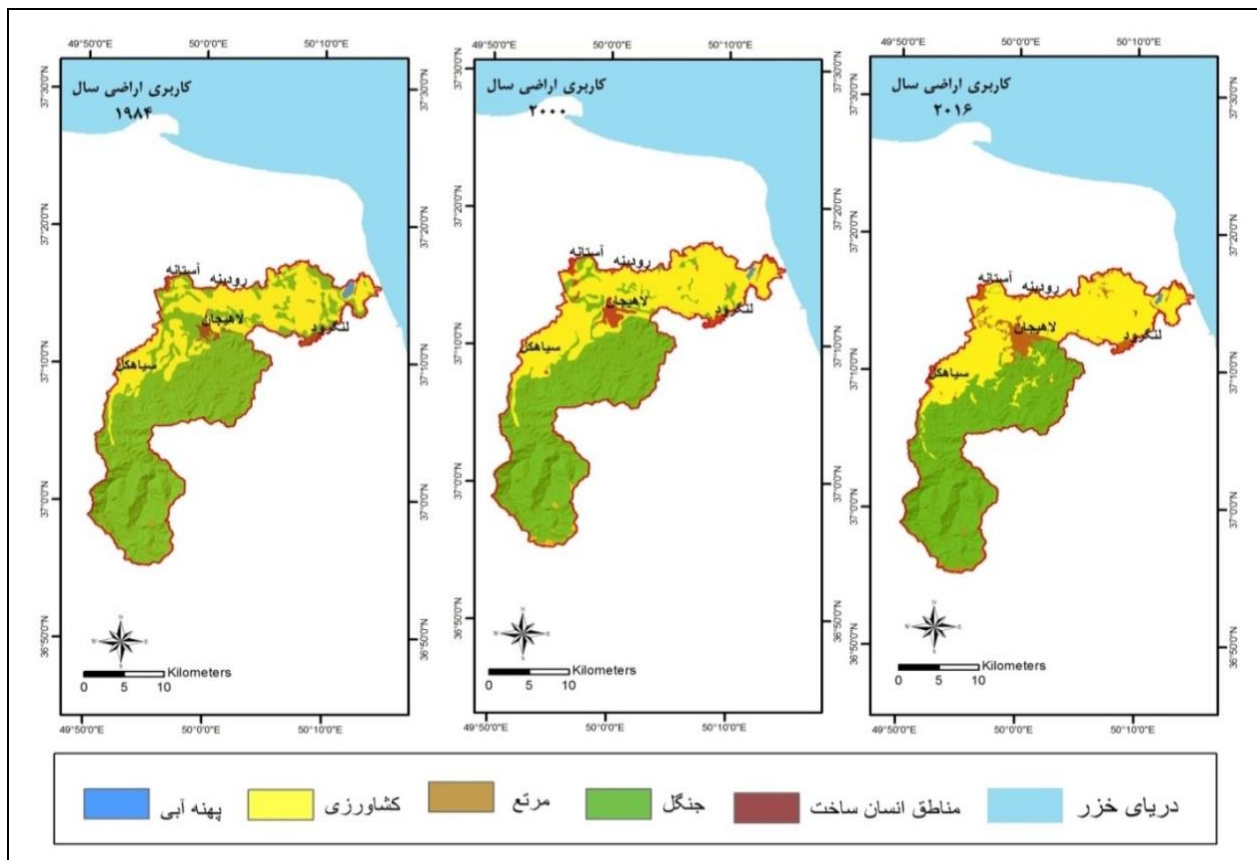
خروجی مرحله مدل‌سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی مرحله پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به کار گرفته شد. مقدار تغییر هر تبدیل کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از دو مدل پیش‌بینی سخت و پیش‌بینی نرم تهیه شد (عزیزی قلاتی و همکاران، ۱۳۹۲).

ارزیابی صحت پیش‌بینی

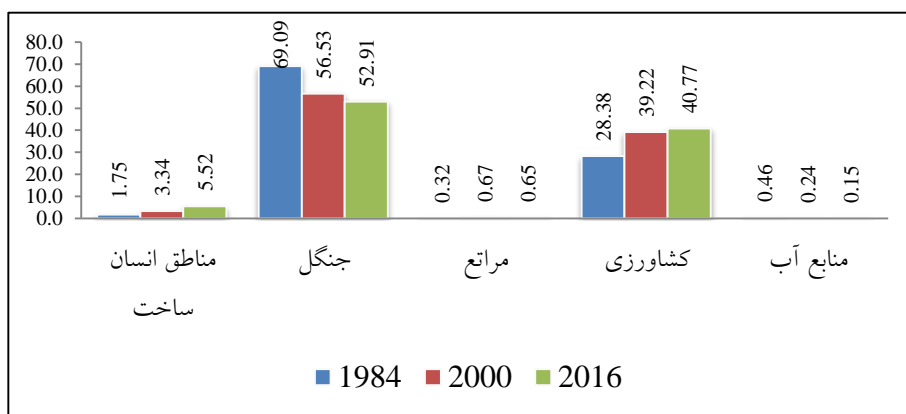
برای اعتبارسنجی توان مدل LCM جهت تولید نقشه‌های کاربری اراضی آتی، ابتدا از نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰ برای پیش‌بینی نقشه سال ۲۰۱۶ استفاده شد. برای انجام این پیش‌بینی، ماتریس احتمال تغییرات و ماتریس مساحت‌های احتمالی تغییرات تهیه و بر مبنای زیرمدل‌های

جدول (۲): مساحت هر کاربری به درصد در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶

طبقات کاربری اراضی	۱۹۸۴		۲۰۰۰		۲۰۱۶	
	مساحت کاربری (هکتار)	مساحت (درصد)	مساحت کاربری (هکتار)	مساحت (درصد)	مساحت کاربری (هکتار)	مساحت (درصد)
مناطق انسان ساخت	۹۴۸/۹۶	۱/۷۵	۱۸۰۹/۸۱	۳/۳۴	۲۹۹۱/۱۵	۵/۵۲
جنگل	۳۷۴۳۰/۷۳	۶۹/۰۹	۳۰۶۲۸/۷۱	۵۶/۵۳	۲۸۶۶۴/۴۶	۵۲/۹۱
مرتع	۱۷۱/۱۸	۰/۳۲	۳۶۱/۷۱	۰/۶۷	۲۵۴/۰۶	۰/۶۵
کشاورزی	۱۵۲۷۶/۹۵	۲۸/۳۸	۲۱۲۵۱/۱۶	۳۹/۲۲	۲۲۰۸۶/۳۶	۴۰/۷۷
منابع آب	۲۵۱/۴۶	۰/۴۶	۱۲۷/۸۹	۰/۲۴	۸۳/۱۶	۰/۱۵
مساحت کل	۵۴۱۷۹/۲۸	۱۰۰/۰	۵۴۱۷۹/۲۸	۱۰۰/۰	۵۴۱۷۹/۲۸	۱۰۰/۰



شکل (۳): نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶



شکل (۴): مساحت هر کاربری به درصد در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶

تعیین متغیرهای هدایت‌کننده تغییر کاربری اراضی و مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری

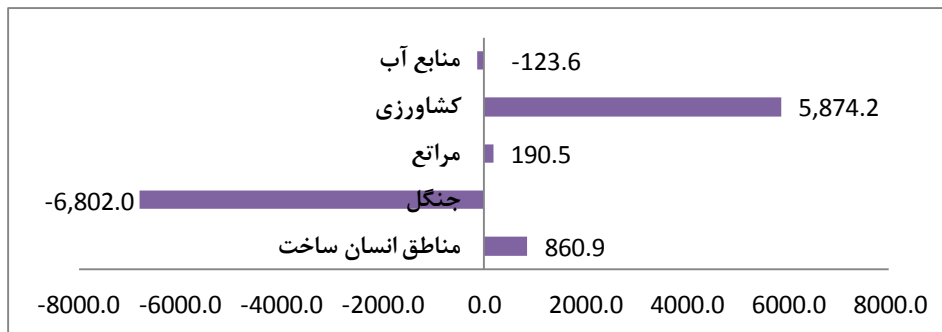
با توجه به نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، زیرمدل‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارتند از: جنگل به کشاورزی، جنگل به مناطق انسان‌ساخت، جنگل به مرتع، کشاورزی به مناطق انسان‌ساخت و پهناهی آبی به کشاورزی. پس

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، از بین طبقات کاربری، پوشش جنگلی کاهش مساحت داشته و مقدار تغییر خالص کاهش مساحت پوشش جنگلی ۶۸۰۲ هکتار بوده است. از طرفی تغییرات خالص افزایش مساحت در سایر طبقات کاربری اراضی شامل اراضی کشاورزی، مرتع و مناطق انسان‌ساخت رخ داده است.

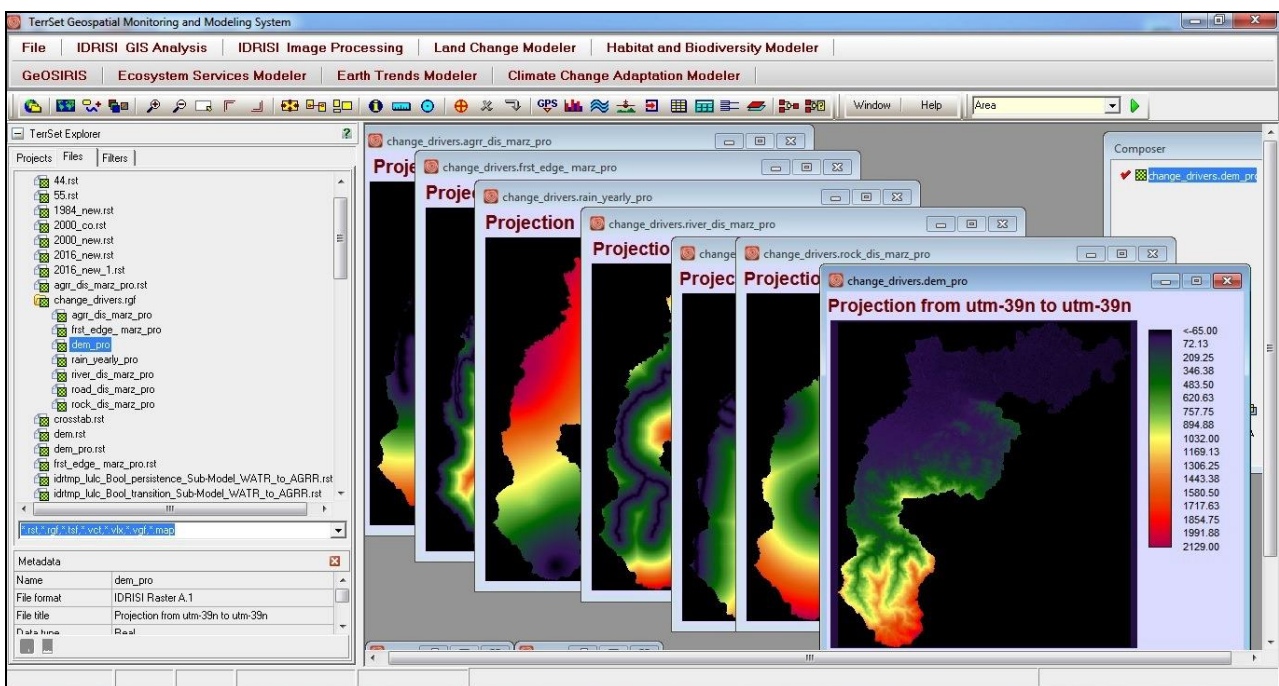
جدول (۳): ضریب کرامر طبقات کاربری اراضی و متغیرها

ضریب Overall Cramer's V	متغیر	شماره
۰/۵۰۹۳	فاصله از مناطق مسکونی	۱
۰/۴۷۱۰	فاصله از اراضی کشاورزی	۲
۰/۲۶۰۷	فاصله از حاشیه جنگل	۳
۰/۲۴۲۱	فاصله از جاده	۴
۰/۲۳۹۰	فاصله از رودخانه	۵
۰/۴۱۳۶	ارتفاع	۶
۰/۱۸۳۳	بارش	۸

از انتخاب زیرمدل‌ها، به منظور انتخاب متغیرهای اثرگذار بر تغییرات کاربری از ضریب Cramer's V استفاده شد. در نهایت هفت متغیر اثرگذار شامل مدل رقومی ارتفاع، بارش، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده انتخاب شدند (شکل ۶). ضرایب Cramer's V که میزان ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی را نشان می‌دهد محاسبه و نتایج آن‌ها در جدول (۳) آورده شده است. بیشترین و کمترین میزان Cramer's V را به ترتیب فاصله از مناطق مسکونی و بارش داشتند.



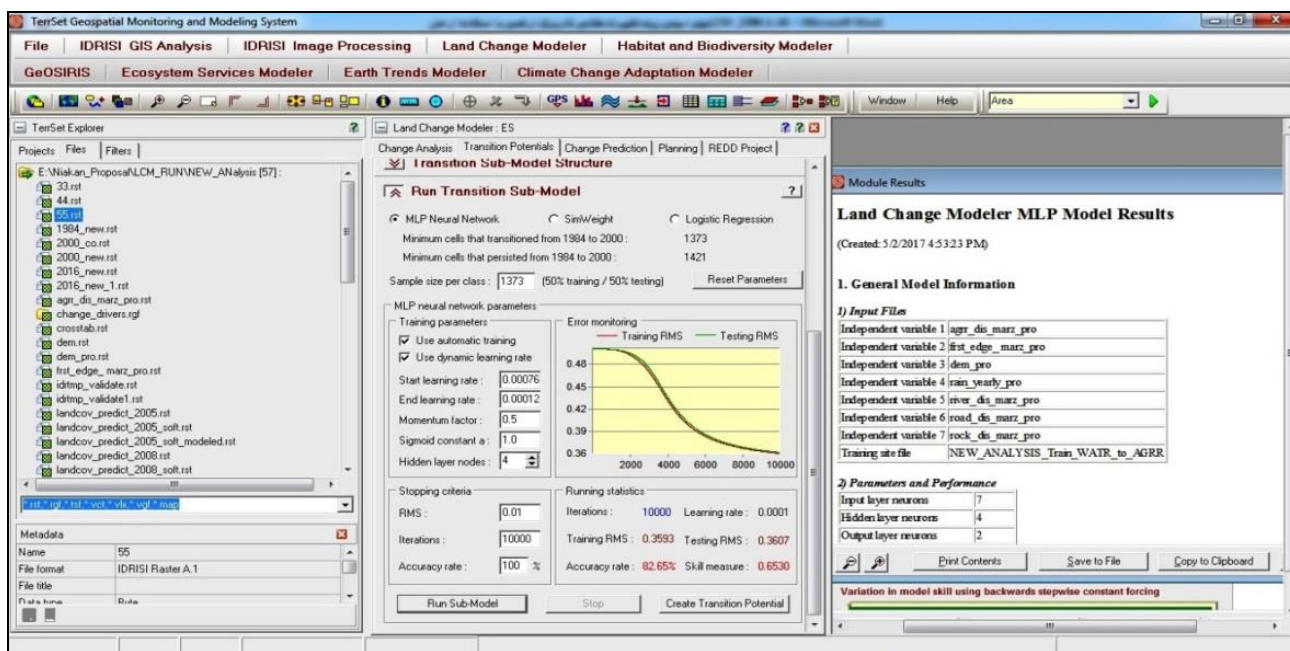
شکل (۵): تغییرات خالص طبقات کاربری اراضی بر حسب هکتار طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰



شکل (۶): آماده‌سازی متغیرهای هدایت‌کننده تغییر کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار IDRISI

پیش‌بینی کاربری اراضی آینده احتمال انتقال از یک طبقه کاربری در سال ۲۰۰۰ به نوع دیگر در سال ۲۰۱۶ با زنجیره مارکوف محاسبه شد. بیشترین احتمال انتقال از جنگل به کشاورزی و پهله آبی به کشاورزی بوده است (جدول ۵).

در ادامه مدل‌سازی پتانسیل انتقال با روش MLP انجام شد (شکل ۷). سه فاکتور ارزیابی صحت، خطای آموزش و خطای تست برای ارزیابی مدل‌سازی پتانسیل انتقال تعیین شدند (جدول ۴). نتایج در همه زیرمدل‌ها صحت بالایی (۹۶-۸۲٪) را نشان داد.



شکل (۷): مدل‌سازی پتانسیل انتقال هر یک از زیرمدل‌ها با روش MLP در محیط نرم‌افزار IDRISI

جدول (۴) داده‌های شبکه عصبی مصنوعی

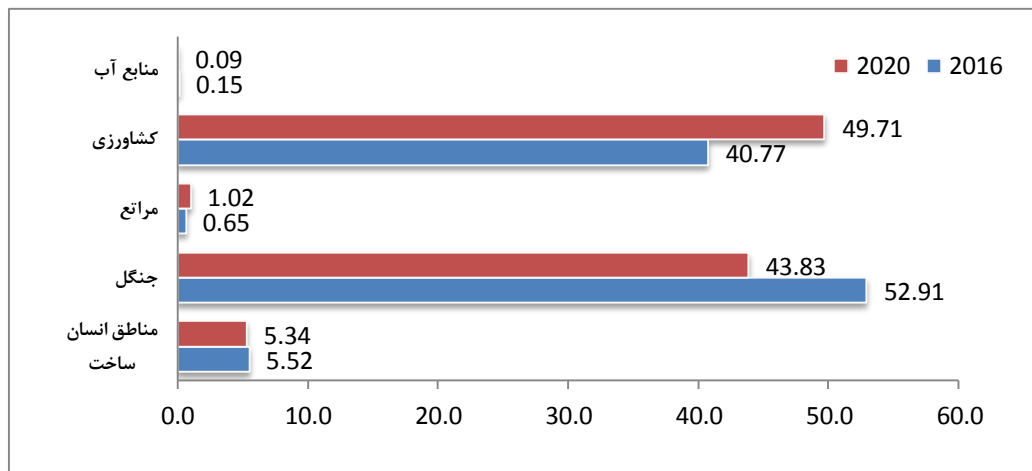
خطای تست	خطای آموزش	ارزیابی صحت	زیر مدل
۰/۲۰۹۶	۰/۲۰۷۱	٪ ۹۴/۷۴	جنگل به کشاورزی
۰/۲۰۴۸	۰/۲۱۲۳	٪ ۹۵/۲۹	جنگل به مناطق انسان ساخت
۰/۱۷۱۸	۰/۰۹۰۵	٪ ۹۶/۹۰	جنگل به مرتع
۰/۳۰۸۸	۰/۳۹۴۶	٪ ۸۸/۷۸	کشاورزی به مسکونی
۰/۳۷۵۲	۰/۳۶۵۹	٪ ۸۲/۴۱	منابع آب به کشاورزی

جدول (۵): احتمال انتقال محاسبه شده با زنجیره مارکوف

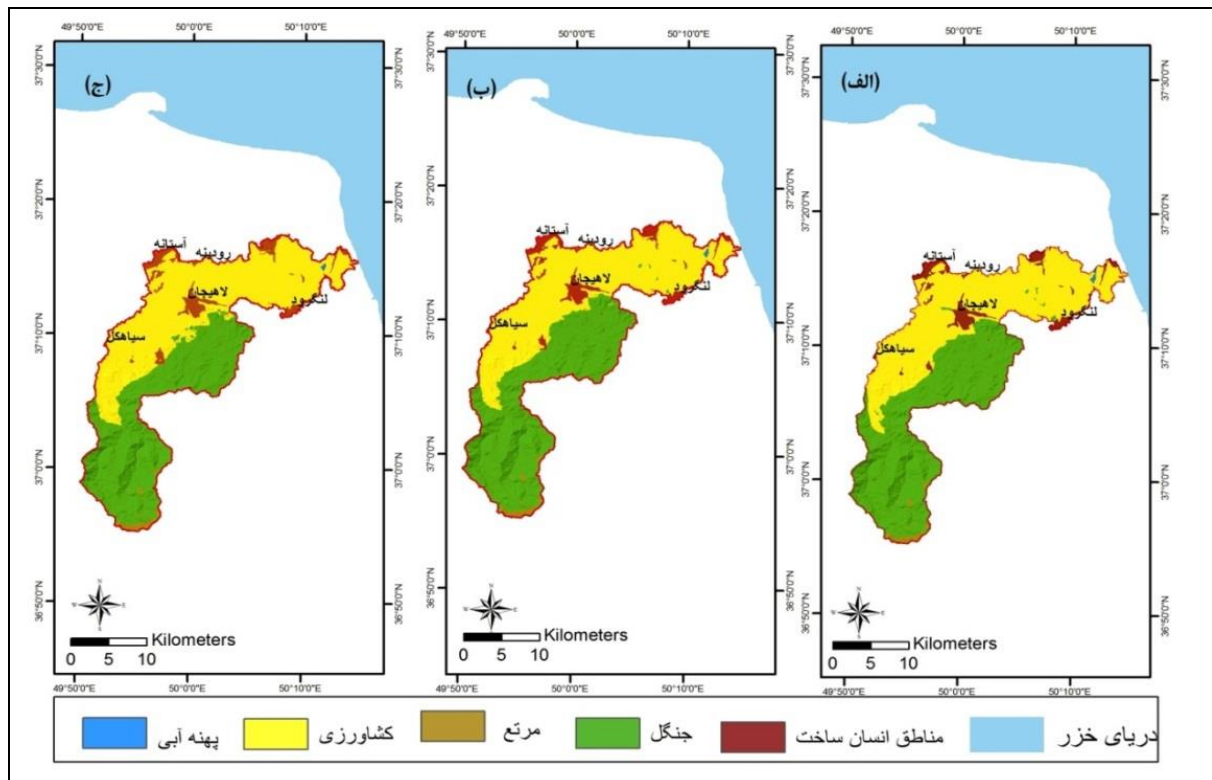
				۲۰۱۶	
منابع آب	کشاورزی	مراتع و دیمزار	جنگل	مناطق انسان ساخت	۲۰۰۰
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	مناطق انسان ساخت
۰/۰۰۰۰	۰/۱۶۱۳	۰/۰۰۵۱	۰/۸۱۸۳	۰/۰۱۵۳	جنگل
۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	مراتع و دیمزار
۰/۰۰۰۰	۰/۹۸۱۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۸۷	کشاورزی
۰/۵۰۸۶	۰/۴۹۱۴	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	منابع آب

داده شده است. نتایج مدل‌سازی کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ شکل (۹) نشان داد که در مقایسه با سال ۲۰۱۶، پوشش جنگلی با مساحت ۲۳۷۴۹ هکتار روند کاهش احتمالی ۴/۰ درصد خواهد داشت و روند تغییر کاربری‌های کشاورزی و مناطق انسان ساخت با افزایش مساحت همراه خواهد بود.

نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۱۶ با استفاده از تغییرات رخ داده طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ به دست آمد. در نقشه پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۶، اراضی کشاورزی و مناطق انسان ساخت وسعت بیشتر و پوشش جنگلی وسعت کمتری را از نقشه واقعیت زمینی این سال نشان دادند. مساحت هر طبقه کاربری در نقشه‌های پیش‌بینی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ به درصد در شکل (۸) نشان



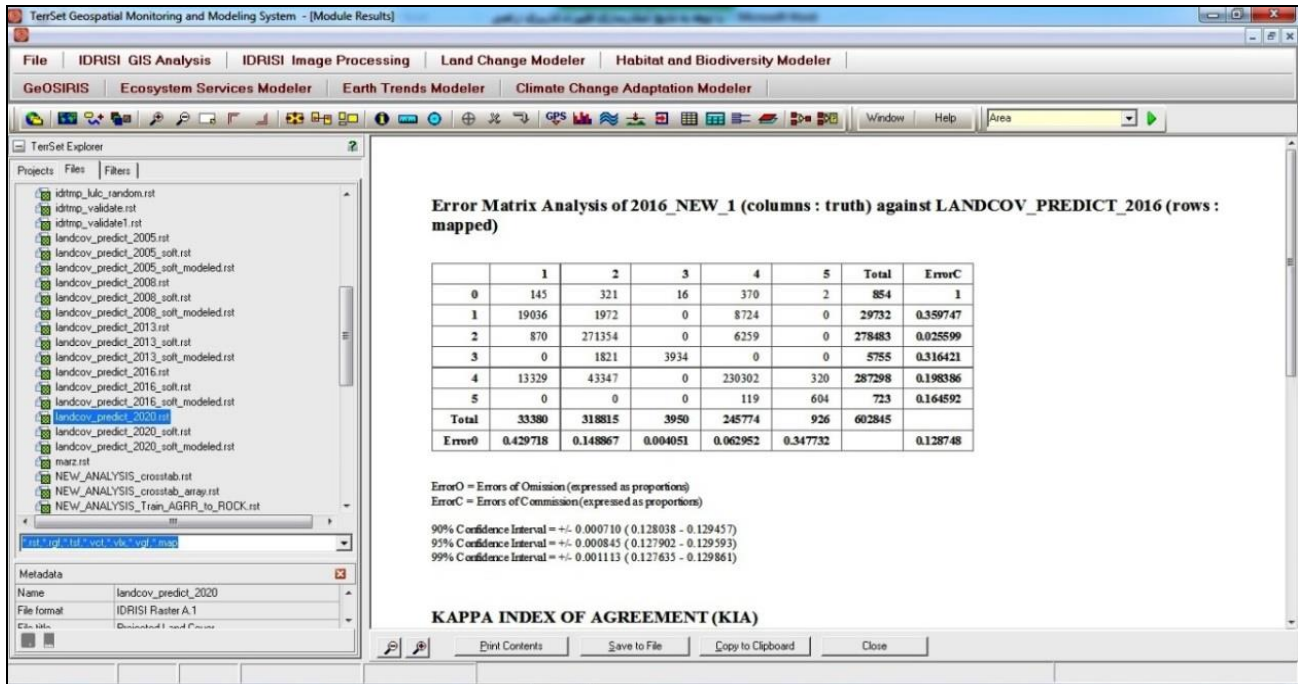
شکل (۸): مساحت هر کاربری پیش‌بینی شده به درصد در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰



شکل (۹): نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۳ (الف)، ۲۰۱۶ (ب) و ۲۰۲۰ (ج)

نرم‌افزار ایدریسی محاسبه شد. همان‌طور که در جدول (۶) قابل مشاهده است، شاخص KIA حاصل از ارزیابی مدل براساس نقشه‌های ۲۰۱۶ واقعیت زمینی و ۲۰۱۶ به دست آمد.

ارزیابی صحت پیش‌بینی کاربری اراضی شاخص کاپا، یکی از معروف‌ترین پارامترهای آماری برای بیان صحت نقشه‌های تولیدی است. همان‌طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود این شاخص با اجرای ماژول Validate در



شکل (۱۰): اجرای ماژول Validate در نرم‌افزار ایدریسی برای ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل

می‌شود که شاخص KIA از تمامی پیکسل‌های تغییر نیافته در روند تغییر کاربری اراضی برای بررسی توافق و عدم توافق بین دو نقشه مرجع و پیش‌بینی استفاده می‌کند. بنابراین، بهتر است که برای محاسبه دقیق توافق بین این دو نقشه فقط از پیکسل‌های تغییر یافته استفاده شود (فلاح‌تکار و همکاران، ۱۳۹۵). برای همین از مولفه‌های موفقیت^(۱۳)، هشدار خطا^(۱۴) و خطا^(۱۵) استفاده شد. شکل (۱۱) نتایج حاصل از ارزیابی مدل براساس نقشه‌های کاربری اراضی ۲۰۱۶ واقعیت زمینی (الف) و ۲۰۱۶ پیش‌بینی (ب) را نشان می‌دهد. مقادیر موفقیت خنثی^(۱۶)، موفقیت، هشدار خطا و خطا به ترتیب ۸۸/۰۴ درصد، ۲/۶۵ درصد، ۸/۴۵ درصد و ۴/۲۸ درصد بودند که توزیع مکانی آنها در شکل (۱۱ ج) نشان داده شده است.

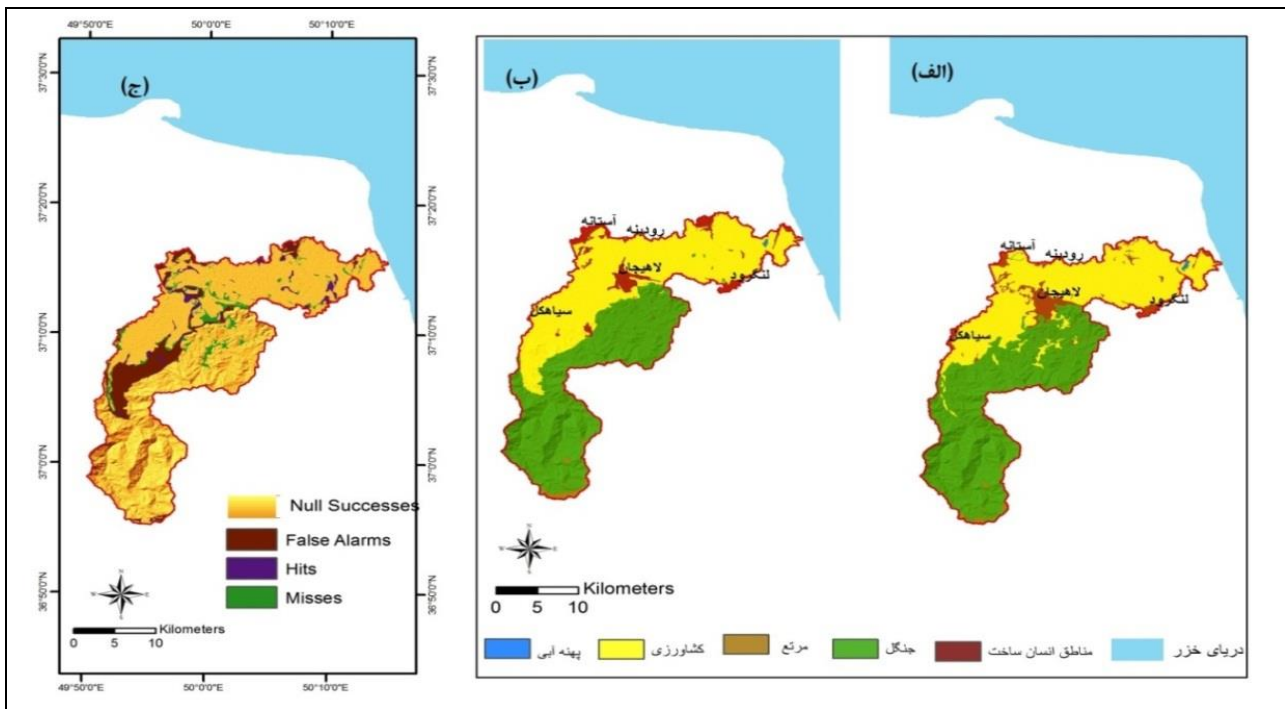
بحث و نتیجه‌گیری

داشتن آمار و اطلاعات به هنگام از کاربری‌های موجود، لازمه مدیریت صحیح منابع طبیعی است. یکی از ملزومات مدیریت

جدول (۶): شاخص KIA برای هریک از طبقات کاربری اراضی

طبقات کاربری اراضی	KIA
مناطق انسان‌ساخت	۰/۵۴
جنگل	۰/۷۲
مراتع و دیم‌زار	۰/۹۹
کشاورزی	۰/۸۷
منابع آب	۰/۶۵
Overall Kappa: 0.769	

شاخص KIA یا کاپای استاندارد نشان‌دهنده صحت کلی بین دو نقشه مرجع و پیش‌بینی است. از معایب شاخص KIA، در نظر نگرفتن موقعیت و کمیت پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است و در واقع توافق ناشی از شانس بین دو نقشه مرجع و پیش‌بینی را بررسی می‌کند (فلاح‌تکار و همکاران، ۱۳۹۵). از طرف دیگر بیان



شکل (۱۲): نقشه واقعیت سال ۲۰۱۶ (الف) و نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۱۶ (ب)، خطا و صحت پیش‌بینی مدل مبنی بر نقشه کاربری سال ۲۰۱۶ واقعی و ۲۰۱۶ پیش‌بینی (ج)

است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز مورد مطالعه فعالیت‌های انسانی بوده است.

از طرف دیگر متغیرهای تاثیرگذار در تغییر کاربری اراضی شامل مدل رقمی ارتفاع، بارش، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده انتخاب شدند. محققان دیگری از جمله (آرخی، ۱۳۹۳؛ جورابیان شوشتری و همکاران، ۱۳۹۲؛ غلامعلی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۳) نیز بر اهمیت این قبیل عوامل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تاکید داشته‌اند. بیشترین و کم‌ترین میزان Cramer's V را به ترتیب فاصله از مناطق مسکونی و بارش داشتند که اهمیت بیشتر عوامل انسانی در مقایسه با عوامل طبیعی را در بروز تغییرات کاربری در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

اصلی‌ترین قابلیت مدل LCM، توانایی آن در پیش‌بینی آینده بر اساس وضعیت تغییرات در گذشته و لحاظ کردن محدودیت‌ها و محرک‌های تغییر است. در پژوهش حاضر نتایج مدل‌سازی پتانسیل انتقال با روش MLP در تمامی زیر مدل‌ها صحت

۲۰۱۶ منابع طبیعی، اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است (نظری سامانی، ۱۳۸۹). در پژوهش حاضر، تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز در برگیرنده رودخانه اصلی شهرستان لاهیجان با مساحت $542/5$ کیلومترمربع در دوره زمانی ۱۹۸۴ تا با استفاده از تصاویر ماهواره لندست بررسی شد و همچنین توانایی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با اساس مدل LCM بررسی شد. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات نشان داد که طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، از بین طبقات کاربری، پوشش جنگلی کاهش مساحت داشته است. به طوری که در سال ۱۹۸۴ پوشش جنگلی با مساحت $37430/73$ هکتار بیش از $69/09$ درصد کل منطقه را در بر گرفته و طی ۱۶ سال با روند کاهش $12/5$ درصد، مساحت پوشش جنگلی به $30628/71$ هکتار معادل $56/53$ درصد کل منطقه را در برمی‌گیرد. روند کاهش پوشش جنگلی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ با سرعت آهسته‌تر $3/6$ درصد ادامه یافته و به مساحت $28664/46$ معادل $52/91$ درصد کل حوزه آبخیز مورد مطالعه کاهش یافته است. بررسی کاربری اراضی سال‌های مختلف نشان داد که تغییرات صورت گرفته عموماً به صورت کاهش سطح جنگل و افزایش مساحت اراضی کشاورزی بوده

بالایی (۹۶-۸۲٪) داشت.

عرصه جنگل‌ها و مراتع نشان‌دهنده بخشی از تعارضات بین انسان و طبیعت است که این تعارضات تا حدی ریشه در مسایل اقتصادی اجتماعی جنگل‌نشینان دارد. شیوه زیست جنگل‌نشینان تابعی از فرآیندهای اکولوژیکی جنگل‌ها و مراتع منطقه است. به خاطر رشد جمعیت جنگل‌نشینان و بالا رفتن نیازمندی‌های آنان، این فرآیندهای اکولوژیکی از آن جهت که قادر نیستند همگام با رشد نیازها حرکت کنند، از قافله توسعه سستی واپس مانده‌اند که ناگزیر در این میان عرصه‌های جنگلی قربانی شده‌اند. با توجه به روند جنگل‌زدایی در حوزه آبخیز مورد مطالعه، اجرای مطالعات آمایش سرزمین به منظور کاهش اثرات منفی تغییر کاربری اراضی پیشنهاد می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Land Change Modeler
2. Asam
3. Soil And Water Assessment Tool
4. Land Change Modeler
5. [Http://Earthexplorer.Usgs.Gov](http://Earthexplorer.Usgs.Gov)
6. Maximum Likelihood
7. Error Matrix
8. Gain And Losses
9. Net Change
10. Crammer's V
11. Multi-Layer Perceptron
12. Kappa Index Of Agreement
13. Hits
14. Misses
15. False Alarms
16. Null Successes

در این پژوهش صحت پیش‌بینی مدل با محاسبه شاخص KIA یا کاپای استاندارد انجام شد که مقدار ۰/۷۶ به دست آمد. میزان شاخص KIA در پژوهش‌های انجام شده توسط غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۳) و فلاحتکار و همکاران (۱۳۹۵) به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۹ به دست آمد در حالی که Sun و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه خود شاخص KIA را ۰/۹۱ به دست آورد و نتیجه صحت‌سنجی مدل را بسیار خوب بیان کرد. از طرف دیگر بیان می‌شود که شاخص KIA از تمامی پیکسل‌های تغییرنیافته در روند تغییر کاربری اراضی برای بررسی توافق و عدم توافق بین دو نقشه مرجع و پیش‌بینی استفاده می‌کند. بنابراین، بهتر است که برای محاسبه دقیق توافق بین این دو نقشه فقط از پیکسل‌های تغییر یافته استفاده شود (فلاحتکار و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین، در این تحقیق برای ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل از مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، هشدار خطا و خطا استفاده شد که به ترتیب ۸۸/۰۴ درصد، ۲/۶۵ درصد، ۸/۴۵ درصد و ۴/۲۸ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده انطباق قابل قبول تصویر پیش‌بینی شده با تصویر واقعیت زمینی است. در ضمن در تحقیق حاضر مقدار خطای حاصل از پیش‌بینی مدل حدود ۱۲/۶ درصد بود که کارایی و توانایی مدل را تایید می‌کند. در مطالعات انجام شده توسط جورابیان شوشتری و همکاران (۱۳۹۲) و آرخی (۱۳۹۳) مقدار خطای کل پیش‌بینی به ترتیب ۱۰/۱ درصد و ۱۲/۸۴ درصد به دست آمد.

نتایج حاصل از مطالعات طرح آمایش سرزمین در استان گیلان (۱۳۹۲) نشان می‌دهد که بیش از ۴۶ درصد جنگل‌های منطقه گیلان از بین رفته است. این هدررفتگی تنها بر میزان تولید چوب اثر ندارد. بلکه این خسران شامل از دست‌رفتن فرایندهای اکولوژیکی زمینه‌ساز حفظ، اصلاح و بهبود نظام‌های حیات‌بخش دیگر مانند زیستگاه جانوران، منابع ژنتیکی، کشتزارها و شهرهای نوار ساحلی و جلگه‌ای است. همچنین روند تخریب فعلی در

فهرست منابع

- آرخی، ص. ۱۳۹۳. پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در محیط GIS (مطالعه موردی: منطقه سرابله)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران. ۱: ۱-۱۹.
- جورابیان شوشتری، ش.؛ اسماعیلی ساری، ع.؛ حسینی، س. م. و غلامعلی فرد، م. ۱۳۹۲. کاربرد رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین شرق استان مازندران، نشریه محیط‌زیست طبیعی. ۴: ۳۶۳-۳۵۱.

حیدریان، پ.؛ رنگزن، ک.؛ ملکی، س. و تقی‌زاده، ا. ۱۳۹۳. تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل LCM با رویکرد مدل‌سازی توسعه شهری (نمونه موردی: کلان‌شهر تهران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۱۷: ۸۷-۱۰۰.

عزیزی قلاتی، س.؛ رنگزن، ک.؛ تقی‌زاده، ا. و احمدی، ش. ۱۳۹۳. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در مدل LCM (پژوهش موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۴: ۵۸۵-۵۹۶.

غلامعلی فرد، م.؛ میرزایی، م. و جورابیان شوشتری، ش. ۱۳۹۳. مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: سواحل میانی استان بوشهر، مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۱: ۶۱-۷۴.

فلاحکار، س.؛ حسینی، س. م.؛ سلمان‌ماهینی، ع. و ایوبی، ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM، مجله پژوهش‌های محیط‌زیست. ۱۳: ۱۶۳-۱۶۳.

نظری سامانی، ع.؛ قربانی، م. و کوهبنانی، ح. ۱۳۸۹. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰، مجله علمی و پژوهشی مرتع. ۳: ۴۲۲-۴۵۱.

Bax, V.; Francesconi, W. & Quintero, M. 2016. Spatial modeling of deforestation processes in the Central Peruvian Amazon. *Journal for Nature Conservation*, 29, pp.79-88.

Bishop, C. M. 1995. Neural networks for pattern recognition. Oxford University Press.

Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". *Remote sensing of environment*, 37(1), pp.35-46.

Foley, J.A.; Fries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K. & Helkowski, J.H. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), pp.570-574.

Silva, R.F.; Batistella, M. & Moran, E.F. 2016. Drivers of land change: Human-environment interactions and the Atlantic forest transition in the Paraíba Valley, Brazil. *Land Use Policy*, 58, pp.133-144.

Lausch, A. & Herzog, F. 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological indicator*, 2(1-2), 3-15.

Eastman, J. R. 2006. IDRISI Ans tutorial. *Clark Labs, Worcester, MA*.

Mirhosseini, S.M.; Jamali, A.A. & Hosseini, S.Z. 2016. Investigating and Predicting the Extension of Dunes Using Land Change Moler (LCM) in the North West of Yazd, Iran. *sert*, 21(1), pp.76-90.

Singh, Sonali, C.; Sudhakar Reddy, S.; Vazeed, P.; Kalloli Dutta, K. R. L. Saranya, & Satish, K. V. 2017. Molving the spatial dynamics of forestation and fragmentation using Multi-Layer Perceptron neural network and landscape fragmentation tool. *Ecological Engineering* 99, 543-551.

Sun, H.; Forsythe, W. & Waters, N. 2007. Molving urban land use change and urban sprawl: Calgary, Alberta, Canada. *Networks and spatial economics*, 7(4), pp.353-376.

Václavík, T. & Rogan, J. 2009. Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in central Europe: a case study of the greater Olomouc region, Czech Republic. *GIScience & Remote Sensing*, 46(1), pp.54-76.