



## مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی استان گلستان با استفاده از مدل‌سازی تغییرات کاربری (Land Change Modeler)

مقاله پژوهشی

فاطمه سالاریان، محمدرضا طاطیان، عبدالعظیم قانقرمه، رضا تمرتاش

دریافت: ۱۹ بهمن ۱۳۹۹ / پذیرش: ۳۰ فروردین ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۱۵ دی ۱۴۰۰

### چکیده

سیاست‌گذاری در کشور خواهد بود لازم و ضروری است. این مطالعه باهدف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی استان گلستان در طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸ و پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی منطقه برای سال ۱۴۲۹ با استفاده از رویکرد مدل‌ساز تغییر زمین LCM انجام شد.

**مواد و روش‌ها** به‌منظور پایش روند تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ (سنجنده TM و OLI مربوط به سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸) استفاده شد. تفسیر و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI انجام گرفت. سپس پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر اعمال شد. ابتدا تصاویر موردنظر باهم موزاییک شده و سپس بر اساس مرز استان برش داده شد. جهت شناسایی و تفکیک پدیده‌ها از یکدیگر، تصویر رنگی کاذب تهیه شد. در ادامه از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با روش حداکثر احتمال (Maximum likelihood) استفاده شد. در این مرحله پنج کلاس کاربری شامل مرتع، زراعت، جنگل، مسکونی و پیکره‌های آبی تعریف گردید. نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸ تهیه شد. از رویهم‌گذاری نقشه‌های پوشش زمین مربوط به سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸ به‌عنوان ورودی مدل LCM و نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM) و لایه‌های جاده و آبراهه برای تحلیل تغییرات منطقه و پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین سال ۱۴۲۹ استفاده شد. پس از

پیشینه و هدف در طی چند دهه اخیر، تغییر کاربری اراضی تحت اثر عوامل محیطی و انسانی سبب بروز اثرات جدی بر محیط‌زیست و اقتصاد در استان گلستان شده است. از طرفی عرصه‌های مرتعی و طبیعی وسیعی بدون رعایت اصول اکولوژیکی و علمی به زیر کشت محصولات زراعی رفته یا در جهت مقاصد خاص مورد بهره‌برداری قرار گرفته و تبدیل به سایر کاربری‌ها شده‌اند. درحالی‌که بسیاری از این اراضی استعداد کاربری‌های جدید را دارا نبوده و استعداد فرسایشی بالایی دارند که در نتیجه این امر شاهد فرسایش خاک به‌ویژه در اراضی شیب‌دار و ایجاد سیلاب‌های ویرانگر خواهیم بود. لذا داشتن آگاهی از نوع و نحوه استفاده از اراضی و تغییرات احتمالی آن در طی زمان که از موارد مهم جهت برنامه‌ریزی و

فاطمه سالاریان<sup>۱</sup>، محمدرضا طاطیان<sup>۲</sup> (✉)، عبدالعظیم قانقرمه<sup>۳</sup>،

رضا تمرتاش<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲. دانشیار گروه مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
۴. دانشیار گروه مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات : [mr\\_t979@yahoo.com](mailto:mr_t979@yahoo.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.3.0>

خطری برای آینده باشد به این معنی که در یک روند نامحسوس اراضی مرتعی و جنگلی تبدیل به اراضی زراعی دیم و پس از مدتی بهره‌برداری غیراصولی، در نهایت به صورت اراضی بایر و غیرقابل استفاده درمی‌آیند. از طرفی این امر می‌تواند گویای افزایش جمعیت و تقاضای اسکان و در پی آن تأمین نیازهای ساکنین منطقه تهدیدی برای اراضی مرتعی باشد که لازم است به جای افزایش سطح اراضی زراعی و مسکونی و تبدیل اراضی مرتعی به چنین کاربری‌هایی که خود پشوانه بخش کشاورزی محسوب می‌شوند، سیاست افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی دنبال گردد. در خصوص پیکره‌های آبی می‌توان بیان نمود که در طی این دوره زمانی به میزان ۱/۶ درصد معادل ۳۲۵۶۸/۷۵ هکتار افزایش نشان داده است. این مقدار افزایش پیکره‌های آبی را تا حدی می‌توان به بارندگی‌های فراوان و آبیگری پیکره‌های آبی و حتی جاری شدن سیل در مناطق مختلف استان در سال ۱۳۹۸ نسبت داد. پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۲۹ گویای آن است که در سال‌های آتی نیز از سطح مراتع و جنگل‌ها در محدوده مطالعاتی به ترتیب به میزان ۱۳۱۹۰۶/۲۵ و ۲۹۱۶۰۰ هکتار کاسته شده و در مقابل سطح اراضی زراعی و مناطق مسکونی به ترتیب به مقدار ۱۶۴۱۳۷/۵۰ و ۲۵۳۱۳/۲۵ هکتار افزایش خواهد یافت. از این‌رو اتخاذ تدابیر و سیاست‌های لازم در خصوص کاهش بیشتر اراضی جنگلی و مرتعی امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

**نتیجه‌گیری** اگرچه شناخت شرایط کاربری‌های مختلف اراضی در طی دوره‌های آتی، برنامه‌ریزی برای آینده را به واسطه ایجاد اطلاعات به لحاظ الگوی پراکنش مکانی آن‌ها تسهیل می‌کند ولی حفظ و ایجاد شرایط پایدار برای آینده هم به لحاظ آماری و هم به لحاظ اکولوژیکی از محدودیت‌های آن است. این محدودیت‌ها نقش مهمی در استفاده مطمئن از کاربری‌های مختلف اراضی در فرآیند برنامه‌ریزی ایفا می‌کند. بنابراین ایجاد شرایط پایدار در منطقه و مدل‌سازی آن به منظور استفاده منظم و پایدار از منابع طبیعی یک منطقه از پیش شرط‌های رسیدن به چشم‌اندازها و اسناد بالادستی از جمله طرح توسعه پایدار است.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌سازی، کاربری اراضی، مدل‌سازی تغییرات کاربری (LCM)، زنجیره مارکوف، استان گلستان

انجام تجزیه و تحلیل‌های لازم به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی میان دوره‌های زمانی موردنظر، نقشه‌های تغییرات و انتقال کاربری‌ها تهیه شد. در نهایت میزان کاهش و افزایش در هر کاربری، میزان تغییرات خالص، تغییر خالص از سایر کاربری‌ها به یک طبقه موردنظر، مناطق بدون تغییر و انتقال از هر کاربری به کاربری دیگر در طبقات گوناگون پوشش سرزمین به صورت نقشه و نمودار تهیه و مورد تجزیه و تحلیل واقع شد.

**نتایج و بحث** این تحقیق باهدف پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در یک دوره ۳۳ ساله در استان گلستان انجام شد. بر اساس نتایج طی این دوره، مساحت مراتع استان کاهش زیادی داشته که این میزان تغییرات کاهشی معادل مساحتی برابر با ۱۸۱۱۸۱/۲۵ هکتار بوده است. بخش زیادی از کاهش مراتع در اثر تبدیل آن به اراضی زراعی است که دلیل آن را می‌توان افزایش جمعیت و نیاز به گسترش اراضی زراعی دانست. مساحت اراضی جنگلی نیز، طی سال‌های مذکور از مقدار ۳۹۳۰۱۸/۷۵ هکتار به مقدار ۳۴۹۱۴۳/۷۵ هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده که کاهشی بالغ بر ۴۳۸۷۵ هکتار (۲/۲ درصد) نشان داده است. به‌طورکلی تخریب عرصه‌های مرتعی و جنگلی امری است که بخصوص در کشورهای در حال توسعه به دلیل افزایش جمعیت، رشد تکنولوژی و رعایت نکردن اصول اکولوژیکی و اجرای قوانین قابل مشاهده است. همچنین نتایج حاصل از نقشه‌های طبقه‌بندی شده طی سال‌های مذکور نشان‌دهنده این است که بیشترین مقادیر تغییرات منطقه مرتبط با اراضی زراعی بوده به طوری که میزان این اراضی طی همین دوره ۱۷۳۷۰۰ هکتار برابر با ۸/۵ درصد افزایش داشته است. میزان تغییرات کاربری مربوط به کلاس اراضی مسکونی نیز با روند افزایشی از مقدار ۱۸۷۳۱/۲۵ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۳۷۵۱۸/۷۵ هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده که با افزایشی معادل ۱۸۷۸۷/۵۰ هکتار (۰/۹ درصد) در طی این دوره مواجه بوده است. افزایش جمعیت به سرعت باعث توسعه مناطق مسکونی و شهری و افزایش سطح این نوع کاربری با شیب نسبتاً زیادی به خصوص در سال‌های اخیر شده است که می‌توان بخشی از آن را به برنامه‌های دولت در زمینه ساخت و ساز مسکن در مناطق اطراف شهرها نسبت داد. این افزایش سطح اراضی زراعی به خصوص در مناطق مرکزی و شرق استان محسوس‌تر است و می‌تواند زنگ

## مقدمه

پدیده تغییر کاربری اراضی از مخاطرات محیطی و بحران‌های اکولوژیکی است که امروزه جهان با آن روبرو است. کاربری اراضی نحوه استفاده خاص از زمین و امکانات طبیعی موجود برحسب نیازهای انسانی است که این استفاده، ممکن است منطبق بر استعداد اراضی و به شیوه‌های علمی بوده یا به روش سنتی و احتمالاً تخریب‌کننده اراضی باشد و درعین حال ممکن است ساختارها و فرآیندهای موجود در محیط‌زیست را تغییر دهد (۱۷). با توجه به رشد روزافزون جمعیت، افزایش روند تغییرات کاربری اراضی نسبت به نیازهای انسانی و تأثیر آن بر محیط‌زیست، پایش و مدلسازی تغییرات کاربری اراضی، از جمله موضوعات اصلی پژوهش در حوزه تغییرات جهانی محیط‌زیست و توسعه پایدار محسوب می‌گردد (۸). نظر به پویایی تغییرات کاربری اراضی و اثرات گسترده آن بر محیط‌زیست، از جمله تأثیر بر خصوصیات خاک و فرسایش آن، تخریب، چندتکه شدن و از دست رفتن زیستگاه‌های مختلف (۱۴)، تأثیر بر روی چرخه کربن (۱)، تغییر اقلیم (۱۵)، کاهش تنوع زیستی (۱۸) و موارد بسیار دیگر از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سیستم‌های اکولوژیکی بوده، لذا درک چگونگی این تغییرات چه از نظر الگوی مکانی و چه از نظر کمیت آن ضروری به نظر می‌رسد (۱۴).

در حال حاضر تغییر کاربری اراضی به صورت غیراصولی، به دلیل بی‌برنامه بودن تغییر اکثر کاربری‌ها و در نظر نگرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی، از مهم‌ترین معضلات اقصی نقاط کشور ایران است. رشد بی‌رویه شهرها و افزایش آلودگی منابع، فرسایش زمین‌های کشاورزی، وقوع سیل‌های مخرب، از بین رفتن سطح وسیعی از جنگل‌ها، گسترش کویرها و اکوسیستم‌های بیابانی غالباً ناشی از تبدیل غیراصولی پوشش اراضی و اعمال روش‌های نادرست بهره‌برداری از کاربری است. لذا پایش این‌چنین تغییرات و داشتن آگاهی و شناخت صحیح از عوامل و فرآیندهای ایجادکننده و روند آتی آن‌ها و همچنین شیوه‌های مختلف مدیریت کاربری اراضی می‌تواند ما را در درک درستی از روند توسعه درگذشته و الگوهای رشد

یاری داده و اثرات قابل‌توجهی بر حل مشکلات مدیریتی منابع طبیعی داشته باشد. درحالی‌که مدلسازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی نقش به‌سزایی در درک پیامدهای تغییرات آتی و تحولات احتمالی آینده ایفا می‌کند (۱، ۱۴ و ۱۶). با توجه به تغییرات روزافزون کاربری اراضی و ضرورت آگاهی کارشناسان و مدیران از چگونگی تغییرات و تحولات رخ داده در جهت سیاست‌گذاری و چاره‌اندیشی برای رفع مشکل موجود، آشکارسازی تغییرات برای مشخص کردن روند تغییرات در طول زمان ضروری به نظر می‌رسد (۲۴). به عبارتی با داشتن اطلاع از میزان هرکدام از کاربری‌های اراضی، می‌توان نسبت به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، پیشگیری یا کاهش بلایای طبیعی، مدیریت منابع طبیعی و ارزیابی فشار محیطی ناشی از توسعه منابع انرژی در هر ناحیه اقدام کرد. در واقع کسب اطلاعات از نسبت تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی نقش مهمی در مدیریت پوشش اراضی فعلی ایفا می‌کند. از سوی دیگر، پیش‌بینی و الگوسازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده حائز اهمیت است. بنابراین آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات، لازمه مراقبت از یک اکوسیستم به‌ویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی در کشورهای درحال توسعه است. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در خصوص استفاده از مدلسازی تغییرات زمین در جهت پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری اراضی صورت گرفته است.

میر علیزاده فرد و علی‌بخشی (۲۰) در تحقیقی تغییرات کاربری اراضی در دشت برتش شهرستان دهلران واقع در استان ایلام را در سه دوره زمانی ۱۹۸۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳ بررسی نمودند. نتایج طبقه‌بندی نشان‌دهنده تخریب و کاهش میزان وسعت اراضی جنگل کم‌تراکم و مرتع متوسط و افزایش مساحت سایر کاربری‌ها است. نتایج نشان داد که در فاصله زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۱ مقدار ۴۵٪ از جنگل کم‌تراکم، ۷۱٪ مرتع متوسط، ۹۶٪ مرتع فقیر، ۸۱٪ کشاورزی، ۹۳٪ رسوبات آبرفتی و ۱۰۰٪ اراضی بدون پوشش بدون تغییر باقی بمانند.

جهت مقاصد خاص مورد بهره‌برداری قرار گرفته و تبدیل به سایر کاربری‌ها شده‌اند، درحالی‌که بسیاری از این اراضی استعداد کاربری به‌صورت زراعت را دارا نبوده و استعداد فرسایشی بالایی دارند. همچنین این تغییرات باعث تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کیفیت ذاتی و پویایی آن گشته و توانایی طبیعی خاک در انجام وظایف خود را کاهش خواهد داد که در نتیجه این امر شاهد فرسایش خاک به‌ویژه در اراضی شیب‌دار و ایجاد سیلاب‌های ویرانگر خواهیم بود. لذا داشتن آگاهی از نوع و نحوه استفاده از اراضی و تغییرات احتمالی آن در طی زمان که از موارد مهم جهت برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در کشور خواهد بود لازم و ضروری است (۲۲). این مطالعه باهدف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی استان گلستان در طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸ و پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی منطقه برای سال ۱۴۲۹ با استفاده از رویکرد مدل‌ساز تغییر زمین انجام شد.

### روش تحقیق

#### منطقه مورد مطالعه

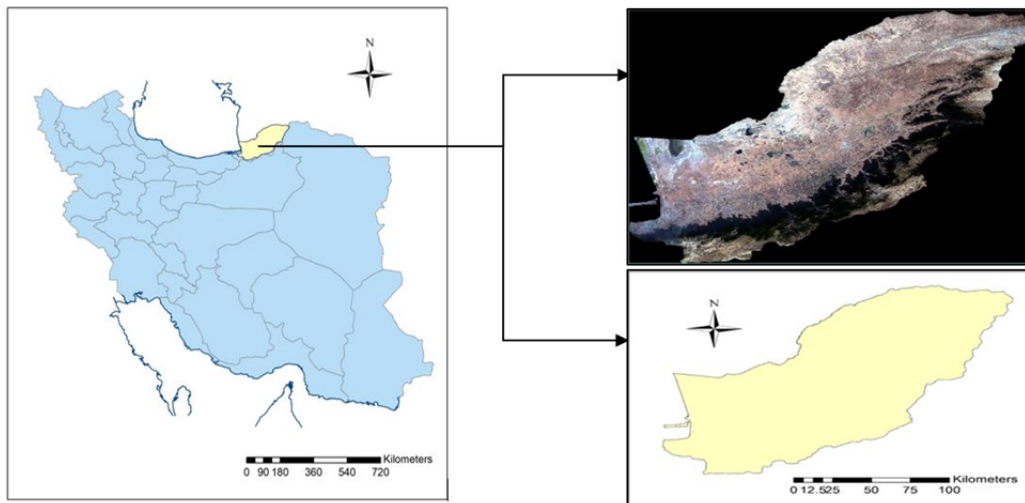
استان گلستان با وسعتی بالغ بر ۲۰۳۸۷ کیلومترمربع، حدود ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان در جنوب شرقی دریای خزر در محدوده جغرافیایی  $36^{\circ} 25'$  تا  $38^{\circ} 08'$  عرض شمالی و  $53^{\circ} 50'$  تا  $56^{\circ} 18'$  طول شرقی و در بین استان‌های مازندران، سمنان و خراسان شمالی واقع شده است (شکل ۱). جغرافیای طبیعی استان به نحوی است که به سه بخش کوهستانی، دامنه‌ای و جلگه‌ای تقسیم شده است. متوسط بارندگی سالانه ۴۵۰ میلی‌متر و متوسط تبخیر از ۸۰۰ میلی‌متر در نواحی جنوبی و ارتفاعات تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در نواحی مرزی استان تغییر می‌نماید. میانگین سالانه درجه حرارت از ۷ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات ۲۰۰۰ متری تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد در منطقه گنبد متغیر است. موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی استان گلستان موجب شده که تحت تأثیر عوامل مختلف آب و هوایی باشد و اقلیم‌های متفاوت در آن مشاهده می‌شود. در نتیجه در این استان از اقلیم

فتح‌اللهی رودباری و همکاران (۱۰) در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در شهرستان نکاء با استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین (LCM) نشان دادند که در طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۶ اراضی جنگلی کاهش داشته و بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی بوده است. نتیجه مدل‌سازی برای سال ۲۰۳۰ نیز نشان داد که مساحت جنگل کاهش یافته و به وسعت اراضی کشاورزی و مناطق شهری افزوده خواهد شد.

عفیفی (۲) مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر شیراز در یک دوره ۳۰ ساله و با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف و مدل‌ساز تغییر زمین را انجام داد که بیانگر روند صعودی کشاورزی آبی طی سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۵ و کاهش اراضی بایر بود. آشکارسازی تغییرات برای سال ۲۰۳۰ نیز نشان‌دهنده در افزایش وسعت طبقه کاربری اراضی زراعی و اراضی شهری منطقه و کاهش وسعت کاربری‌های بایر و باغ بود. اواناته و سندرا (۲۳) برای مدل‌سازی تخریب و احیای جنگل‌های خزان‌کننده گرمسیری مکزیک، از مدل‌ساز تغییر زمین (LCM) و مدل‌سازی نیروی انتقال با شبکه عصبی مصنوعی بهره جستند. در مقادیر مرتبط با زیر مدل احیاء، زیر مدل جنگل و زیر مدل اختلال، به ترتیب به صحت ۵۹/۲، ۳۵/۲ و ۵۹/۶ دست پیدا کردند. حسن و همکاران (۱۳) به شبیه‌سازی تغییرات آبی کاربری اراضی در پیشرفت سریع شهرنشینی چین جنوبی بر اساس مدل‌ساز تغییر زمین و سنجش‌ازدور پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که مناطق شهری طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۷ افزایش خواهد یافت. در سال ۲۰۳۱ این افزایش در مناطق شهری بیشتر از طریق تبدیل مزارع کشاورزی و استخرهای ماهی خواهد بود. با این حال، پوشش جنگل از ۴۵/۰۲ درصد در سال ۲۰۱۷ به ۴۶/۸۸ درصد در سال ۲۰۳۱ ادامه خواهد یافت. در طی چند دهه اخیر، تغییر کاربری اراضی تحت اثر عوامل محیطی و انسانی سبب بروز اثرات جدی بر محیط‌زیست، اقتصاد و اجتماع شده است. در استان گلستان نیز عرصه‌های مرتعی و طبیعی وسیعی بدون رعایت اصول اکولوژیکی و علمی به زیر کشت محصولات زراعی رفته یا در

طوری‌که در مناطق جنوب و جنوب غربی استان مقدار بارندگی حدود ۷۰۰ میلی‌متر و در نواحی شمال و نوار مرزی حدود ۲۰۰ میلی‌متر است (۲۱).

نیمه‌خشک در نوار مرزی و حوزه آبخیز اترک تا معتدل و نیمه مرطوب در مناطق جنوبی و غربی تا اقلیم سرد کوهستان در مناطق مرتفع و کوهستانی آن قابل مشاهده است. میزان ریزش‌های جوی نیز در مناطق مختلف استان متفاوت است. به-

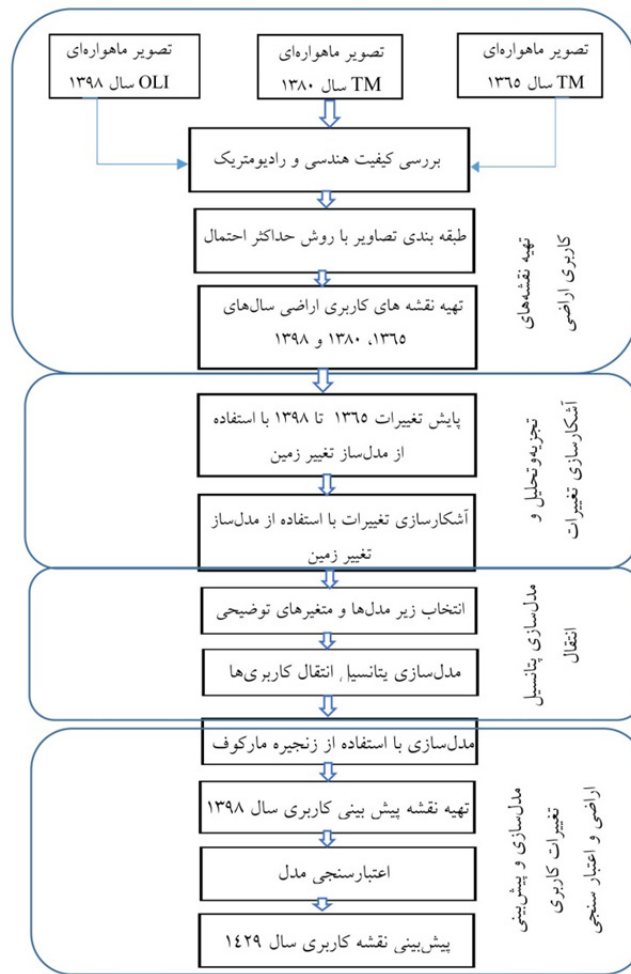


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig1. Location of the study area

لازم مشتمل بر تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک انجام شد. علیرغم اینکه بیشتر تصاویر ماهواره لندست زمین مرجع هستند، اما به منظور دقت بیشتر در این مرحله نسبت به کنترل دقت هندسی و زمین مرجع بودن تصاویر مربوطه اقدام گردید. برای بررسی وضعیت هندسی تصاویر و اطمینان از مناسب بودن هندسه تصاویر، لایه‌های برداری جاده‌ها و آبراهه‌ها روی تصاویر ماهواره‌ای قرار داده شد.

تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به دوره‌های مورد مطالعه به منظور پایش روند تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ (سنجنده TM و OLI مربوط به سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸) استفاده شد. تفسیر و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI انجام گرفت. تصاویر ماهواره‌ای مربوطه از سایت رسمی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) دانلود و سپس پیش‌پردازش‌های



شکل ۲. مراحل اجرای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی  
 Fig 2. Steps of modeling and predicting land use changes

های آبی تعریف گردید. همچنین برای طبقه‌بندی تصاویر چند روش طبقه‌بندی تست شده و از بین آن‌ها روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال که یکی از دقیق‌ترین روش‌های طبقه‌بندی سلول پایه است انجام شد (۲۲). پس از فیلترینگ تصاویر که به منظور فیلتر و حذف مساحت‌های بسیار کوچک در نقشه به کار می‌رود، نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸ تهیه شد. ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از ماتریس خطا انجام شد (۳). به منظور ارزیابی صحت تصاویر تعدادی از نمونه‌های تعلیمی به دست آمده از گوگل ارث (۳۰ درصد) با تصاویر کاربری حاصله مقایسه شده و در نهایت ماتریس خطا و ضریب کاپای کلی به دست آمد (۳۰). در تحقیق حاضر از ضرایب صحت

از آنجایی که تصاویر ماهواره لندست  $185 \times 185$  کیلومتر بوده و کل محدوده استان گلستان در ۴ تصویر قرار می‌گیرد (جدول ۱)، لذا ابتدا چهار تصویر مربوط به دوره زمانی مورد نظر با هم موزاییک شده و سپس بر اساس مرز استان برش داده شد. در مرحله بعد جهت شناسایی و تفکیک پدیده‌ها از یکدیگر، تصویر رنگی کاذب با استفاده از ترکیب باندهای ۲ (سبز)، ۳ (قرمز)، ۴ (مادون قرمز نزدیک) تهیه شد. در ادامه از روش طبقه‌بندی نظارت شده با روش حداکثر احتمال (Maximum likelihood) استفاده شد. در این مرحله با توجه به نقشه کاربری موجود و استفاده از گوگل ارث نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس پوشش اراضی انتخاب و در نهایت پنج کلاس کاربری شامل مرتع، زراعت، جنگل، مسکونی و پیکره-

$$K = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \times 100 \quad [2]$$

در این رابطه؛ Po درستی مشاهده شده، Pc توافق مورد انتظار است که از طریق رابطه‌های ۳ و ۴ قابل محاسبه گردید.

$$Po = \sum(Xij)/N \quad [3]$$

$$Pc = \sum[(Xi \times Xj)/N^2]$$

در این رابطه‌ها؛ Po درستی مشاهده شده (مجموع اعداد در قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده)، Xij عناصر قطر اصلی جدول ماتریس خطا، Pc توافق تصادفی، N تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده در جدول ماتریس خطا، Xi مجموع پیکسل‌های ردیف I ام جدول ماتریس خطا، Xj مجموع پیکسل‌های ستون J ام جدول ماتریس خطا است.

کلی (Overall accuracy) و ضریب کاپا (Kappa coefficient)

جهت بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده گردید. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبقه‌بندی شده تعیین گردید.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad [1]$$

در این رابطه؛ OA دقت کلی، N تعداد پیکسل‌های

آزمایشی،  $\sum P_{ii}$  جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی، غالباً در کارهای اجرائی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد. مقدار شاخص کاپا بین صفر و یک تغییر می‌کند که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد میزان درستی نقشه حاصل از طبقه‌بندی به واقعیت نزدیک‌تر است. شاخص کاپا از رابطه ۲ محاسبه شد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه

Table 1. Specifications of satellite images used in the study

سال	ماهواره	سنجنده	تاریخ	شماره ردیف	شماره گذر
۱۹۸۶	لندست ۵	TM	۱۹-۰۵-۱۹۸۶	۰۳۴	۱۶۲
	لندست ۵	TM	۱۹-۰۵-۱۹۸۶	۰۳۵	۱۶۲
	لندست ۵	TM	۱۱-۰۶-۱۹۸۶	۰۳۴	۱۶۳
	لندست ۵	TM	۱۱-۰۶-۱۹۸۶	۰۳۵	۱۶۳
۲۰۰۱	لندست ۵	TM	۳۱-۰۷-۲۰۰۱	۰۳۴	۱۶۲
	لندست ۵	TM	۳۱-۰۷-۲۰۰۱	۰۳۵	۱۶۲
	لندست ۵	TM	۲۲-۰۷-۲۰۰۱	۰۳۴	۱۶۳
	لندست ۵	TM	۲۲-۰۷-۲۰۰۱	۰۳۵	۱۶۳
۲۰۱۹	لندست ۸	OLI	۱۵-۰۶-۲۰۱۹	۰۳۴	۱۶۲
	لندست ۸	OLI	۱۵-۰۶-۲۰۱۹	۰۳۵	۱۶۲
	لندست ۸	OLI	۰۶-۰۶-۲۰۱۹	۰۳۴	۱۶۳
	لندست ۸	OLI	۰۶-۰۶-۲۰۱۹	۰۳۵	۱۶۳

طبقات گوناگون پوشش سرزمین به صورت نقشه و نمودار تهیه و مورد تجزیه و تحلیل واقع شد.

#### مدل سازی پتانسیل انتقال

در این مرحله امکان مدل سازی پتانسیل تغییر زمین (پتانسیل انتقال از یک کاربری به سایر کاربری ها) با استفاده از لایه های زمانی متفاوت در کنار متغیرهای توضیحی چون مجاورت به جاده، شیب و... فراهم می شود. به عبارت دیگر میزان پتانسیل هر پیکسل از تصویر برای تغییر از کاربری فعلی به نوع دیگری از کاربری تعیین گردیده و خروجی این قسمت، نقشه پتانسیل انتقال برای هر تغییر (مثلاً از کاربری جنگل به اراضی کشاورزی) خواهد بود. در این مرحله انواع تغییرات و انتقالات کاربری ها در زیر مدل ها طبقه بندی شده و پتانسیل بالقوه متغیرهای توضیحی مورد بررسی قرار می گیرند (۵). برای مدل سازی پتانسیل تبدیل هر کاربری در مدل LCM قبل از هر کاری باید زیرمدل های مناسب مشخص شود. برای انتخاب زیرمدل هایی با بیشترین صحت، لازم است که مدل را چندین مرتبه در سناریوهای مختلف اجرا کرد. بعد از اجرای مراحل مذکور در نهایت پنج زیر مدل به شرح زیر انتخاب شدند؛ زیرمدل انتقال مرتع به کشاورزی، زیرمدل مرتع به مسکونی، زیرمدل جنگل به مرتع، زیرمدل جنگل به کشاورزی، زیرمدل کشاورزی به مسکونی.

پس از انتخاب زیرمدل های مناسب، متغیر توضیحی مؤثر بر تغییرات کاربری / پوشش زمین انتخاب می شود. متغیرها به دو صورت دینامیک و استاتیک به مدل اضافه می شوند. متغیرهای استاتیک با گذشت زمان تغییرناپذیر هستند و جنبه های اساسی مناسب برای انتقال در نظر گرفته شده را بیان می کنند اما متغیرهای دینامیک وابسته به زمان متغیر هستند و در طول زمان دوره پیش بینی محاسبه می شوند (۱۹). به این ترتیب هشت متغیر توضیحی شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جنگل، فاصله از مرتع و فاصله از زراعت استفاده شد. برای بررسی میزان همبستگی یا ارتباط بین این

#### مدل سازی با استفاده از مدل ساز تغییر زمین ( Land Change Modeler)

مدل ساز تغییر زمین با برنامه IDRISI یکپارچه شده، ابزاری برای مدیریت و برنامه ریزی زمین و همچنین ابزار پشتیبان تصمیم گیری است. این مدل به کاربر اجازه می دهد که تغییرات کاربری اراضی را به سرعت تجزیه و تحلیل کند. از مدل ساز تغییر زمین می توان جهت ارزیابی و مدل سازی تجربی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر زیستگاه گونه ها و تنوع زیستی استفاده نمود. با استفاده از مدل سازی تغییر پوشش زمین در نرم افزار TerrSet، می توان اطلاعات و داده های مربوط به پوشش تاریخی زمین را برای ارزیابی، مدل سازی و پیش بینی تغییرات پوشش مورد آنالیز قرارداد که شامل مراحل تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات، مدل سازی پتانسیل انتقال، پیش بینی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی صحت مدل سازی است.

#### تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات

در بخش آشکارسازی تغییرات مدل، میزان کاهش ها و افزایش ها در هر کاربری، تغییرات خالص، تغییر خالص از سایر کاربری ها به یک طبقه مورد نظر، مناطق بدون تغییر و انتقال از هر کاربری به کاربری دیگر در طبقات گوناگون پوشش سرزمین به صورت نقشه و نمودار قابل ارزیابی است (۲۷). در این پژوهش، از روی هم گذاری نقشه های پوشش زمین مربوط به سال های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸ به عنوان ورودی مدل ساز تغییر زمین (LCM) و نقشه های مدل رقومی ارتفاع (DEM) و لایه های جاده و آبراهه برای تحلیل تغییرات منطقه و پیش بینی تغییرات کاربری سرزمین سال ۱۴۲۹ استفاده شد. پس از انجام تجزیه و تحلیل های لازم و بارزسازی به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی میان دوره های زمانی مورد نظر، نقشه های تغییرات و انتقال کاربری ها تهیه شد. در انتها میزان کاهش و افزایش در هر کاربری، میزان تغییرات خالص، تغییر خالص از سایر کاربری ها به یک طبقه مورد نظر، مناطق بدون تغییر و انتقال از هر کاربری به کاربری دیگر در



این تغییر لگاریتمی باعث می‌شود احتمال پیش‌بینی شده در دامنه صفر تا یک پیوسته باشد و خروجی مدل به صورت یک نقشه پیش‌بینی مکانی احتمال تخریب ارائه شود. ارزیابی مدل رگرسیونی برازش یافته با محاسبه شاخص ROC (Relative Operating Characteristic) انجام گردید (۱۹).

#### مدلسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

خروجی‌های مرحله مدلسازی پتانسیل انتقال به‌عنوان ورودی‌های مرحله پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به کار می‌روند. روش‌های متعددی برای مدلسازی پتانسیل انتقال وجود دارد که از آن دسته می‌توان مدل‌های آماری و رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف، الگوریتم ژنتیک، منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی را نام برد (۵). در این مطالعه تخصیص تغییر به هر کاربری یا احتمال انتقال محاسبه شده از هر کاربری به کاربری دیگر با استفاده از زنجیره مارکوف محاسبه شد (۷ و ۱۲). در مدل زنجیره مارکوف حالت سیستم در زمان ۲ می‌تواند بر اساس حالت سیستم در زمان ۱ پیش‌بینی شود و در نتیجه آن ماتریس احتمالات انتقال به‌مثابه پایه الگوسازی پیش‌بینی تغییر کاربری سرزمین ارائه شود (۵ و ۲۹).

زنجیره مارکوف، یک نوع مدل فرایند تصادفی است که بیان می‌کند با چه احتمالی ممکن است یک وضعیت به وضعیت و حالت دیگری تغییر یابد. این مدل یک ابزار توصیفی کلیدی دارد و آن ماتریس احتمال انتقال است. یک زنجیره مارکوف دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی  $X_1, X_2, X_3, \dots$  است که خاصیت مارکوف رادارند که از رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$\Pr(X_{n+1} = x | X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_n = x_n) = \Pr(X_{n+1} = x | X_n = x_n) \quad [V]$$

مقادیر ممکن برای  $X_i$ ، مجموعه قابل‌شمارشی را می‌سازند که فضای حالت نام دارد. روش مارکوف برای مدلسازی رفتار اتفاقی، به صورت پیوسته و ناپیوسته نسبت به زمان یا در فضای حالت، تقسیم‌بندی می‌شود. این تغییرات

متغیرهای مورداستفاده در مدل (متغیرهای مستقل)، با میزان تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان متغیر وابسته در بخش مدلسازی توانایی انتقال مدلساز تغییر زمین از ضریب کرامر استفاده شد. ضریب کرامر در محدوده بین صفر و یک متغیر است که هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد میزان همبستگی بالاتری بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد. مدلساز تغییر زمین به صورت خودکار میزان ارتباط بین متغیرهای مستقل و کاربری زمین (ضریب کرامر) را محاسبه می‌کند. معمولاً ضرایب بالاتر از ۰/۱۵ برای مدلسازی قابل‌پذیرش بوده و ضرایب بالای ۰/۴ خوب است (۱۰).

بعد از انتخاب زیرمدل‌های مناسب و متغیرهای مستقل مؤثر، مدلسازی پتانسیل تبدیل هر کاربری با روش رگرسیون لجستیک انجام می‌شود. به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر پتانسیل دارد. رگرسیون لجستیک از روش برآورد حداکثر احتمال برای پیدا کردن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را بهتر برازش می‌کنند، استفاده می‌کند. خروجی مدل، ضریب‌های بین صفر و یک خواهد داشت که از طریق تئوری فازی به احتمالات بیشتر از ۰/۵ ارزش یک (تغییر) و کمتر از ۰/۵ ارزش صفر (عدم‌تغییر) می‌دهد و نقشه بولین تخریب را تولید می‌کند. رگرسیون لجستیک با این فرض به کار می‌رود که احتمال یک بودن متغیر وابسته از منحنی لگاریتمی پیروی می‌کند و مقدار آن توسط رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$P(Y=1CX) = \exp(nBX) / (1 + \exp(nB(X))) \quad [5]$$

در این رابطه؛  $p$  احتمال یک بودن متغیر وابسته،  $X$  متغیر مستقل،  $B$  پارامتر برآورد شده،  $Y$  متغیر وابسته. با تغییر لگاریتمی در رابطه‌های ۵ و ۶ محاسبه گردید.

$$\log_e \left( \frac{P}{1+P} \right) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + \text{error term} \quad [6]$$

صحت مدل‌سازی استفاده شد. در این رویکرد درستی کل عبارت است از نسبت پیکسل‌های مشابه به تعداد کل پیکسل‌های مورد مقایسه. دامنه تغییرات نمایه توافق کاپا از -۱ تا +۱ است و نشان‌دهنده درجه تشابه بین تصاویر است. در صورتی که دو تصویر تشابه کامل داشته باشند، ضریب کاپا یک است و اگر هیچ پیکسلی ارزش ثابت در دو تصویر نداشته باشد، ضریب کاپا برابر -۱ است. K تطبیق رابطه ۸ محاسبه گردید.

$$K_i = \frac{P_{ii} - P_i \cdot P_i}{P_i - P_i \cdot P_i} \quad [8]$$

در این رابطه؛  $P_{ii}$  نسبت تصویر کل در طبقه  $i$  که در هر دو تاریخ بدون تغییر است،  $P_i$  نسبت تصویر کل در طبقه  $i$  در تصویر رفرنس (تاریخ اول) و  $P_i$  نسبت تصویر کل در طبقه  $i$  در تصویر غیر رفرنس (تاریخ دوم) است.

### نتایج

#### تولید نقشه‌های کاربری اراضی در محدوده مطالعاتی

پس از طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، نقشه کاربری / پوشش زمین استان گلستان در ۵ طبقه جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، مسکونی و پیکره‌های آبی تهیه گردید. در شکل‌های ۳ تا ۵ به ترتیب نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰، ۱۳۹۸ نشان داده شده است. سپس به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده ماتریس خطا برای محاسبه صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌ها تولید گردیده و مقایسه نتایج صورت گرفت (۳ و ۳۰). نتایج صحت کلی و ضریب کاپا برای تصاویر طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸ در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به مقدار قابل قبول شاخص کاپا و صحت کلی می‌توان از این تصاویر برای مدل‌سازی الگوی مکانی تغییرات پوشش اراضی در طی دوره زمانی ۱۳۶۵-۱۳۹۸ استفاده نمود.

پیوسته یا ناپیوسته اتفاقی را به اصطلاح فرایندهای اتفاقی می‌نامند. در حقیقت به‌کارگیری روش مارکوف، نیازمند این امر است که سیستم نمایانگر فقدان حافظه باشد؛ یعنی حالت و وضعیت آینده سیستم، مستقل از وضعیت‌های گذشته آن بوده و تنها به آخرین جزء آن وابسته باشد. مدل زنجیره مارکوف، مجموعه‌ای از حالات ممکن تعریف می‌شود که این فرایند از یک وضعیت شروع شده و به‌طور متوالی از وضعیتی به وضعیت دیگری جابه‌جا می‌شود و هر حرکت، یک گام تلقی می‌شود. در این مدل، باید دو نقشه پوشش اراضی از دو دوره زمانی متفاوت وجود داشته باشد که در این حالت، امکان محاسبه احتمال انتقالات کاربری‌ها در بین دوره‌های زمانی مورد بررسی، امکان‌پذیر می‌شود. در حقیقت، ساده‌ترین مدل زنجیره مارکوف، توجهی به تأثیر سلول‌های همسایگی ندارد و تنها وضعیت سلول‌ها را در دو دوره زمانی اول و دوم در نظر می‌گیرد (۵).

برای پیش‌بینی پوشش / کاربری زمین برای سال ۱۳۹۸ با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره واسنجی ۱۳۸۰-۱۳۶۵ اجرا شد (۶). در مدل پیش‌بینی سخت، تمام سطح یک پیکسل به یک کاربری خاص اختصاص می‌یابد و در واقع برای پیکسل تعیین تکلیف قطعی می‌شود. در نهایت برای پیش‌بینی پوشش / کاربری زمین برای سال ۱۴۲۹ نیز از مدل پیش‌بینی سخت و دوره واسنجی ۱۳۶۵-۱۳۹۸ استفاده شد (۵).

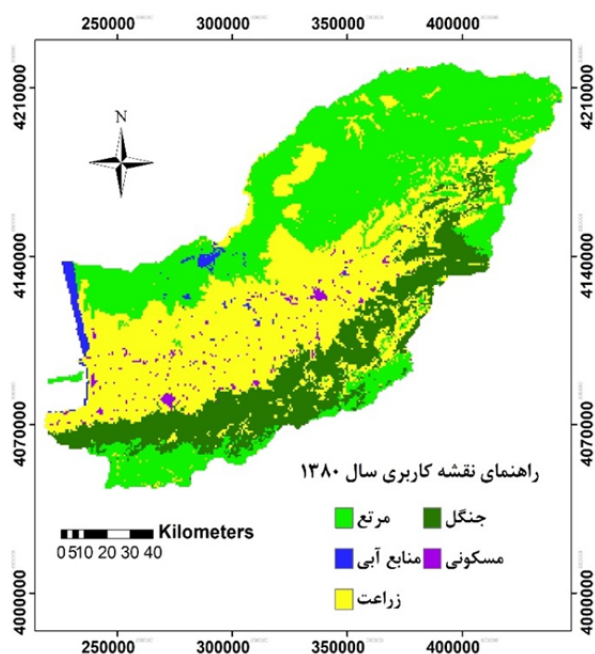
#### ارزیابی صحت مدل‌سازی

ارزیابی اعتبار و صحت پیش‌بینی مدل بر اساس برآورد ضریب کاپا بین نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۸ و نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۹۸ حاصل از پیش‌بینی محاسبه شده و مقادیر پارامترهای صحت‌سنجی به دست آمد. در نهایت، آماره‌های کاپا ( $K_{standard}$ ,  $K_{location}$ ,  $K_{no}$ ) به ترتیب مربوط به کاپای کلی، کاپای مطابق با مکان، کاپای مطابق با مقدار) به‌منظور ارزیابی صحت مدل استفاده شدند (۲). در این تحقیق از مقدار کاپای استاندارد ( $K_{standard}$ ) جهت بررسی

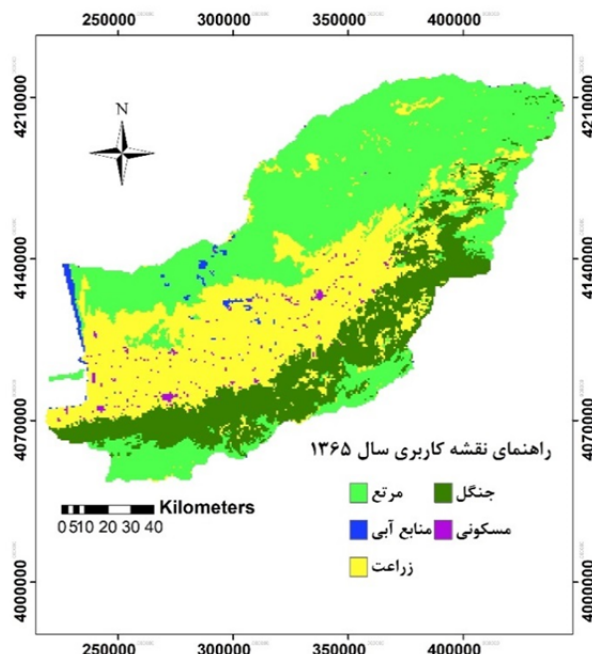
جدول ۲. نتایج ارزیابی صحت کلی و ضریب کاپا برای نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸

Table 2. evaluation results of Overall accuracy and Kappa coefficient for classified land use maps of 1986, 2001 and 2019

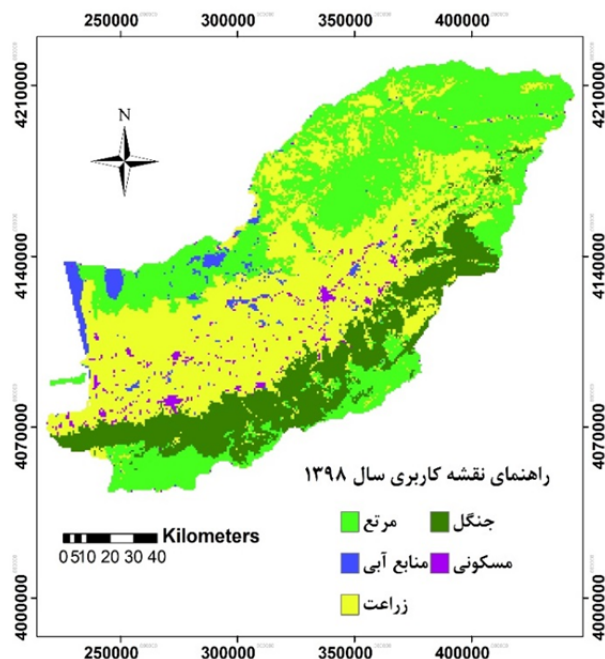
سال	سنجنده	ضریب کاپا	صحت کلی
۱۳۶۵ (۱۹۸۶)	TM	۰/۸۳	٪۸۷/۳۸
۱۳۸۰ (۲۰۰۱)	TM	۰/۷۹	٪ ۸۴/۸۱
۱۳۹۸ (۲۰۱۹)	OLI	۰/۸۲	٪ ۸۶/۰۶



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی استان گلستان سال ۱۳۸۰  
Fig. 4. Land use map of Golestan province in 2001



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی استان گلستان سال ۱۳۶۵  
Fig. 3. Land use map of Golestan province in 1986



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی استان گلستان سال ۱۳۹۸

Fig. 5. Land use map of Golestan province in 2019

طی دوره زمانی مورد مطالعه با مدل ساز تغییر زمین شد. مقادیر تغییرات مرتبط با کاربری های مختلف طی دوره ۱۳۶۵-۱۳۹۸ در جدول ۳ ارائه شده است.

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با مدل ساز تغییر زمین پس از تهیه نقشه های کاربری اراضی اقدام به آشکارسازی تغییرات و همچنین بررسی تغییرات اتفاق افتاده

جدول ۳. میزان تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸

Table 3. The rate of land use change from 1986 to 2001

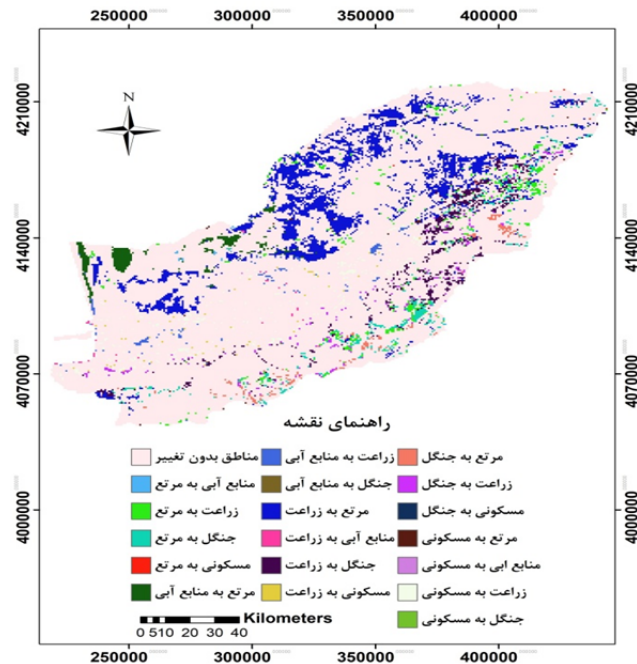
کاربری اراضی	مساحت (هکتار) در سال ۱۳۶۵	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار) در سال ۱۳۸۰	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار) در سال ۱۳۹۸	مساحت (درصد)	میزان تغییرات (هکتار)	میزان تغییرات (درصد)	روند تغییرات
مرتع	۹۳۷۶۳۱/۲۵	۴۶	۸۴۷۴۶۲/۵	۴۱/۶	۷۵۶۴۵۰	۳۷/۱	۱۸۱۱۸۱/۲۵	۸/۹	کاهشی
پیکره های آبی	۱۶۸۱۸/۷۵	۰/۸	۲۵۹۳۱/۲۵	۱/۳	۴۹۳۸۷/۵	۲/۴	۳۲۵۶۸/۷۵	۱/۶	افزایشی
زراعت	۶۷۱۹۶۲/۵	۳۳	۷۷۸۹۵۰	۳۸/۲	۸۴۵۶۶۲/۵	۴۱/۵	۱۷۳۷۰۰	۸/۵	افزایشی
جنگل	۳۹۳۰۱۸/۷۵	۱۹/۳	۳۵۹۳۸۱/۲۵	۱۷/۶	۳۴۹۱۴۳/۷۵	۱۷/۱	۴۳۸۷۵	۲/۲	کاهشی
مسکونی	۱۸۷۳۱/۲۵	۰/۹	۲۶۴۳۷/۵	۱/۳	۳۷۵۱۸/۷۵	۱/۸	۱۸۷۸۷/۵۰	۰/۹	افزایشی
مجموع	۲۰۳۸۱۶۲/۵۰		۲۰۳۸۱۶۲/۵۰		۲۰۳۸۱۶۲/۵۰				

سال ۱۳۹۸ رسیده است. قسمت عمده این تغییرات مربوط به تبدیل مرتع به کاربری زراعی بوده است. به طوری که میزان اراضی زراعی طی همین دوره ۱۷۳۷۰۰ هکتار افزایش داشته است. همچنین مساحت اراضی جنگلی طی سال های مذکور به

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول فوق، طی یک دوره ۳۳ ساله مساحت مراتع استان با گذشت زمان کاهش چشمگیری داشته به طوری که مساحت این کاربری از ۹۳۷۶۳۱/۲۵ هکتار در سال ۱۳۶۵ به میزان ۷۵۶۴۵۰ هکتار در

پیکره‌های آبی در طی این دوره به میزان ۱/۶ درصد معادل ۳۲۵۶۸/۷۵ هکتار افزایش نشان داده است.

میزان ۴۳۸۷۵ هکتار کاهش نشان داده است. کم‌ترین میزان تغییرات کاربری اراضی نیز، مربوط به کلاس اراضی مسکونی با افزایشی معادل ۱۸۷۸۷/۵۰ هکتار در طی این دوره است.

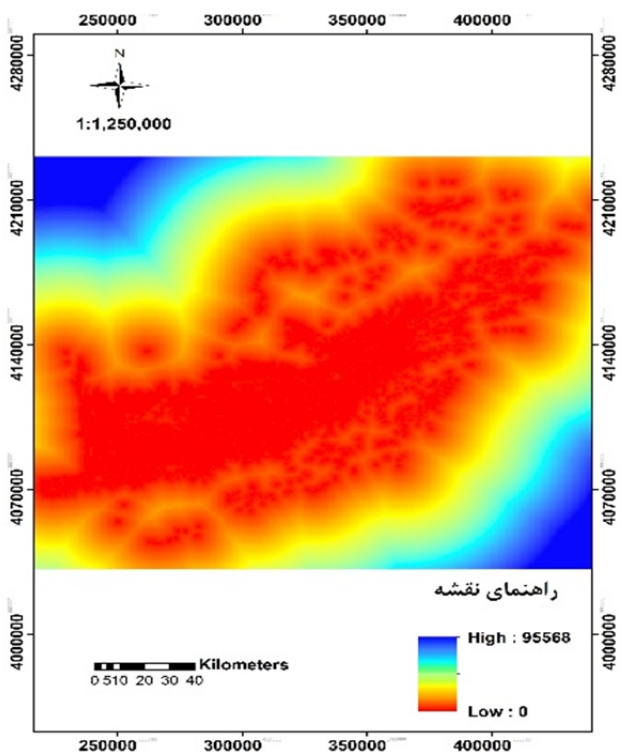


شکل ۶. نقشه توزیع مکانی تغییرات پوشش زمین طی سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۹۸

Fig 6. Spatial distribution map of land cover changes during 1986-2019

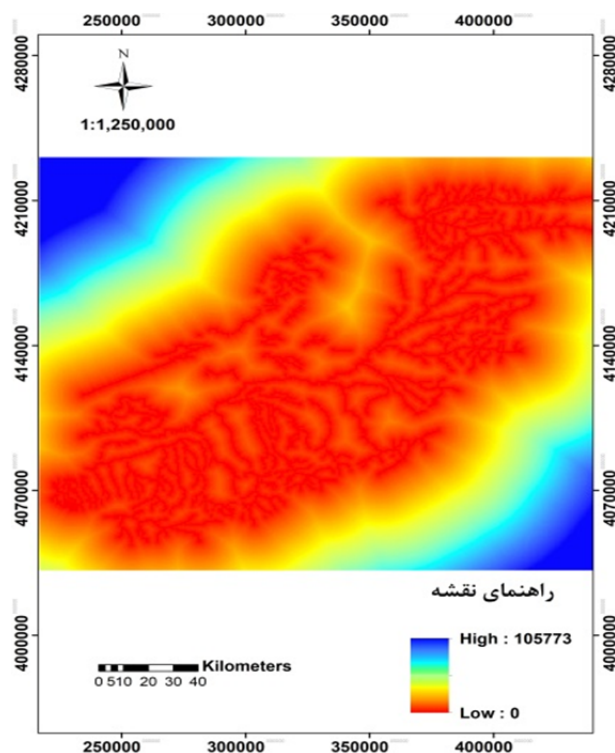
انتخاب زیرمدل‌ها، متغیرهای مدل رقومی ارتفاع، شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از مراتع، فاصله از مناطق جنگلی، فاصله از اراضی کشاورزی و فاصله از مناطق مسکونی به‌عنوان متغیرهای مؤثر بر تغییرات کاربری/ پوشش زمین و موردنیاز برای مدل‌سازی انتخاب شد (شکل‌های ۷ تا ۱۲).

مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از رگرسیون لجستیک با توجه به نتایج آشکارسازی تغییرات، زیرمدل‌های در نظر گرفته‌شده در این تحقیق ۵ زیر مدل شامل زیرمدل‌های مرتع به کشاورزی، مرتع به مسکونی، جنگل به مرتع، جنگل به کشاورزی و کشاورزی به مسکونی در نظر گرفته شد. پس از



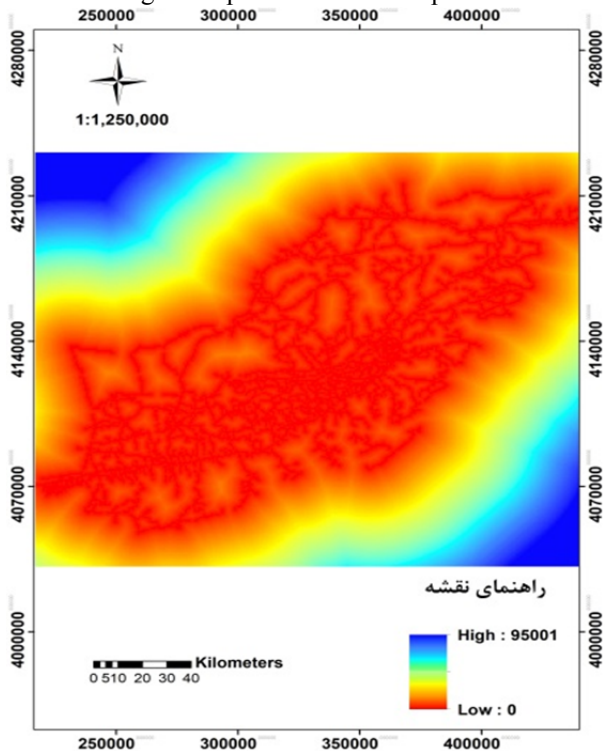
شکل ۸. نقشه فاصله از کشاورزی

Fig. 8. map of distance to cropland



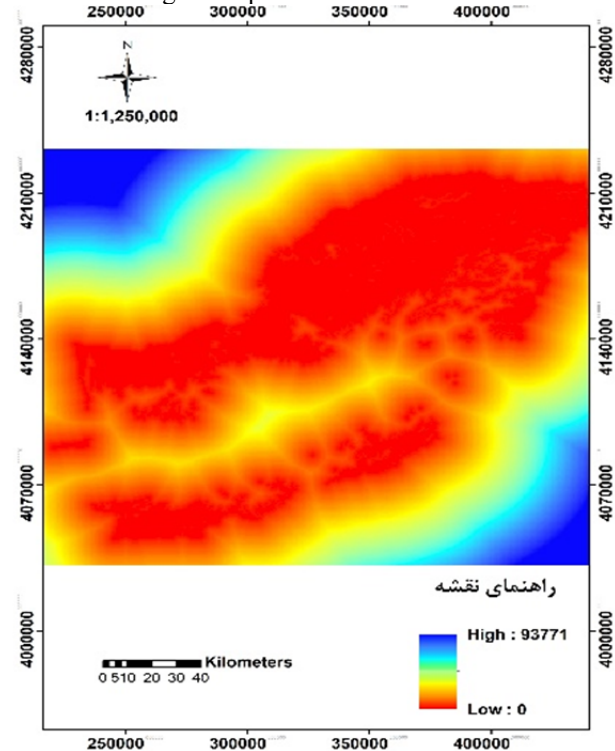
شکل ۷. نقشه فاصله از آبراهه

Fig. 7. map of distance to stream



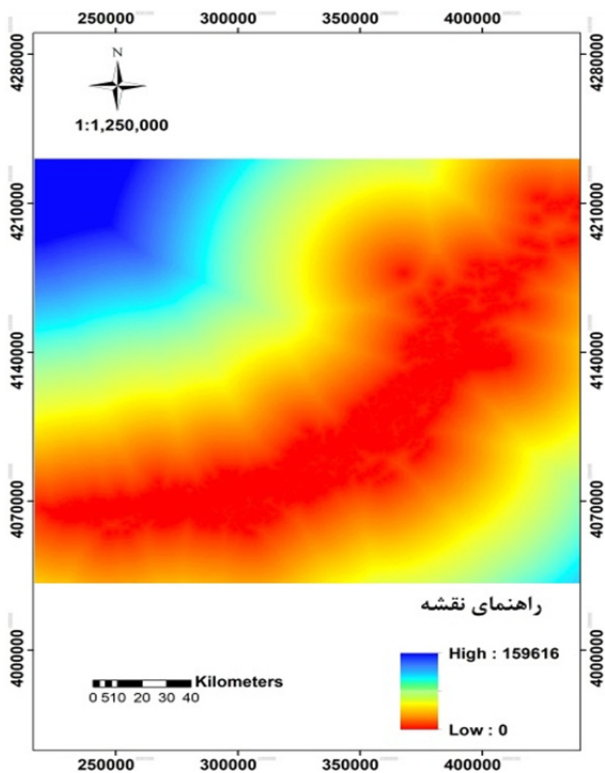
شکل ۱۰. نقشه فاصله از جاده

Fig. 10. map of distance to road



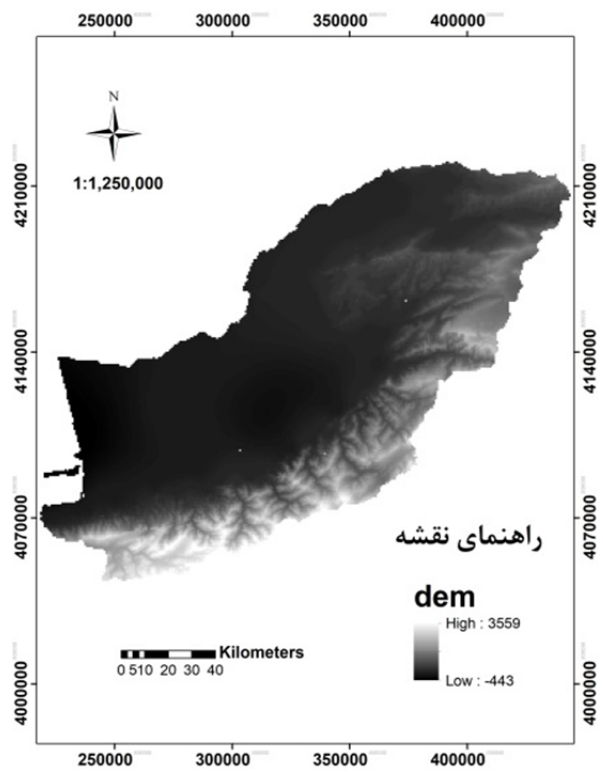
شکل ۹. نقشه فاصله از مرتع

Fig. 9. map of distance to rangeland



شکل ۱۲. نقشه فاصله از جنگل

Fig. 12. map of distance to jungle



شکل ۱۱. نقشه طبقات ارتفاعی

Fig. 11. Map of DEM

نشان‌دهنده این است که متغیرها دارای همبستگی مناسبی با کاربری‌های مختلف (یا دست‌کم با یک کاربری معین) می‌باشند و می‌توانند به‌عنوان متغیر مناسب به مدل رگرسیون لجستیک وارد شوند.

به‌منظور انتخاب متغیرهای اثرگذار بر تغییرات کاربری اراضی از ضرایب کرامر که میزان ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی را نشان می‌دهد استفاده شد. برای این کار متغیرهایی که ضریب همبستگی آن‌ها بیشتر از ۰/۱۵ بود برای مدل‌سازی انتخاب شدند (جدول ۴). نتایج ضرایب کرامر

جدول ۴. ضریب همبستگی (کرامر) بین متغیرهای مستقل و کلاس‌های مختلف کاربری اراضی با استفاده از رگرسیون لجستیک

Table 4. The correlation coefficient (Kramer) among all independent variables with different land use classes using logistic regression

کاربری اراضی					متغیر
مسکونی	جنگل	زراعت	پیکره‌های آبی	مرتع	
۰/۱۱۴۸	۰/۵۹۳۰	۰/۴۹۹۶	۰/۳۱۹۲	۰/۳۵۴۳	مدل رقومی ارتفاع (DEM)
۰/۰۹۷۳	۰/۶۶۸۲	۰/۴۰۸۸	۰/۱۰۹۴	۰/۲۰۷۷	شیب
۰/۱۳۶۸	۰/۱۹۱۶	۰/۳۴۳۱	۰/۱۱۵۳	۰/۲۱۸۰	فاصله از جاده
۰/۰۷۰۲	۰/۱۵۵۵	۰/۱۱۵۷	۰/۲۱۱۰	۰/۲۰۶۹	فاصله از آبراهه
۰/۱۷۱۳	۰/۴۷۸۸	۰/۴۰۷۲	۰/۰۵۱۵	۰/۶۴۷۰	فاصله از مرتع
۰/۱۳۶۴	۰/۲۸۳۶	۰/۶۳۳۹	۰/۰۵۷۸	۰/۵۳۴۰	فاصله از زراعت
۰/۱۲۴۳	۰/۷۰۹۱	۰/۳۲۴۴	۰/۳۲۸۸	۰/۲۹۴۲	فاصله از جنگل
۰/۳۹۷۹	۰/۲۰۱۲	۰/۴۲۶۰	۰/۰۸۸۶	۰/۴۵۷۴	فاصله از مناطق مسکونی

ارزیابی مدل رگرسیونی برازش یافته با محاسبه شاخص ROC (Relative Operating Characteristic) انجام گردید. جهت ارزیابی صحت با روش رگرسیون لجستیک از ROC استفاده شد (جدول ۵). بر اساس این جدول، همبستگی بین انتقال‌ها و متغیرها در دامنه ۰/۶۹ - ۰/۹۸ به دست آمد که نشان‌دهنده ارتباط مناسب بین انتقال‌ها و متغیرها است.

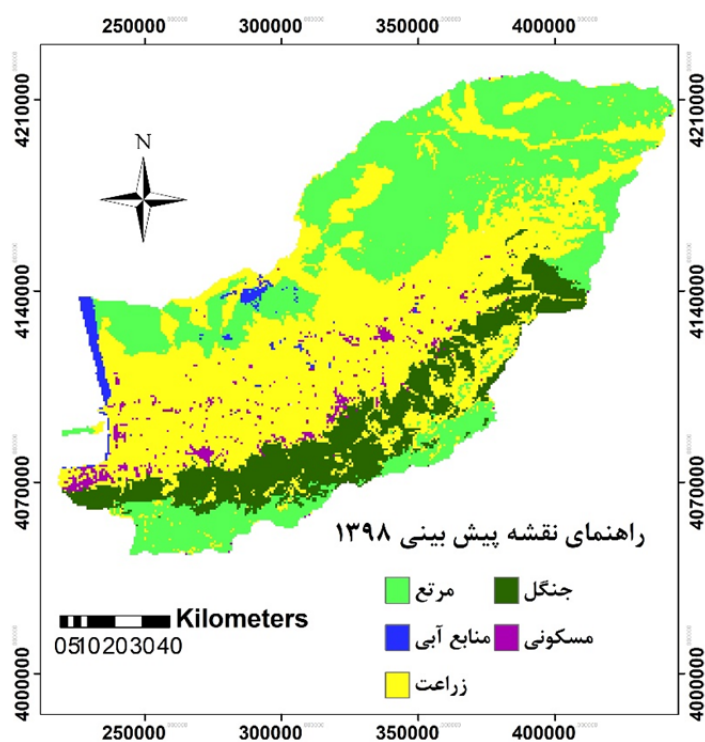
جدول ۵. داده‌های رگرسیون لجستیک

Table 5. Logistic regression data

میزان ROC	زیر مدل‌ها
۰/۶۹۷۱	مرتع به کشاورزی
۰/۹۸۳۰	مرتع به مسکونی
۰/۷۵۴۹	جنگل به مرتع
۰/۸۸۰۶	جنگل به کشاورزی
۰/۷۳۳۰	کشاورزی به مسکونی

یک کاربری خاص اختصاص می‌یابد و در واقع برای پیکسل تعیین تکلیف قطعی می‌شود.

پیش‌بینی پوشش / کاربری زمین برای سال ۱۳۹۸ با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره واسنجی ۱۳۸۰-۱۳۶۵ اجرا شد. در مدل پیش‌بینی سخت، تمام سطح یک پیکسل به



شکل ۱۳. نقشه پیش‌بینی شده تغییرات پوشش اراضی سال ۱۳۹۸ استان گلستان

Fig 13. Predicted Land use map of Golestan province in 2019



جدول ۶. تغییرات کمی اجزای پوشش/کاربری اراضی در نقشه حال حاضر و پیش‌بینی شده ۱۳۹۸

Table 6. Quantitative changes in land cover / land use components in current and predicted map of 2019

کاربری اراضی	مساحت (هکتار)		تغییرات (هکتار)	
	حال حاضر (۱۳۹۸)	پیش‌بینی شده (۱۳۹۸)	افزایش	کاهش
مرتع	۷۵۶۴۵۰/۰۰	۷۳۵۲۴۳/۵۰	-	۲۱۲۰۶/۵
پیکره‌های آبی	۴۹۳۸۷/۵۰	۲۵۹۳۱/۲۵	-	۲۳۴۵۶/۲۵
زراعت	۸۴۵۶۶۲/۵۰	۹۴۶۸۵۶/۲۵	۱۰۱۱۹۳/۷۵	-
جنگل	۳۴۹۱۴۳/۷۵	۲۸۷۳۲۵/۰۰	-	۶۱۸۱۸/۷۵
مناطق مسکونی	۳۷۵۱۸/۷۵	۴۲۸۰۶/۲۵	۵۲۸۷/۵	-

داده شده است. مساحت اراضی تحت کشت و زراعت و مناطق مسکونی نیز در همین دوره زمانی نسبت به مساحت این کاربری‌ها در نقشه حال حاضر به ترتیب به مقدار ۱۰۱۱۹۳/۷۵ و ۵۲۸۷/۵ هکتار افزایش نشان داده است.

بر اساس نتایج جدول فوق و همچنین نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۸ مساحت مراتع، پیکره‌های آبی و کاربری جنگل در محدوده مطالعاتی به ترتیب به مقدار ۲۱۲۰۶/۵، ۲۳۴۵۶/۲۵ و ۶۱۸۱۸/۷۵ هکتار کمتر از میزان واقعی حال حاضر نشان

جدول ۷. مقادیر شاخص کاپا

Table 7. Kappa index values

مقادیر K	کاپا
۰/۸۸۴۵	Kno (کاپای کلی)
۰/۸۷۸۹	Klocation (کاپای مطابق با مکان)
۰/۸۴۵۹	Kstandard (کاپای مطابق با مقدار)

انجام شد. در این مرحله احتمال انتقال از یک کاربری در سال ۱۳۹۸ به نوع دیگر در سال ۱۴۲۹ توسط زنجیره مارکف (به درصد) محاسبه گردید (جدول ۸). زنجیره مارکف تغییرات کاربری زمین را از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد که به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جهت بررسی صحت مدل‌سازی در این تحقیق، از کاپای استاندارد (Kstandard) مندرج در جدول ۷ استفاده شد. دامنه تغییرات نمایه توافق کاپا از -۱ تا +۱ است و نشان‌دهنده درجه تشابه بین تصاویر است. در صورتی که دو تصویر تشابه کامل داشته باشند، ضریب کاپا یک است و اگر هیچ پیکسلی ارزش ثابت در دو تصویر نداشته باشد، ضریب کاپا برابر -۱ است.

#### مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

پیش‌بینی پوشش/ کاربری زمین برای سال ۱۴۲۹ نیز با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره واسنجی ۱۳۹۸-۱۳۶۵

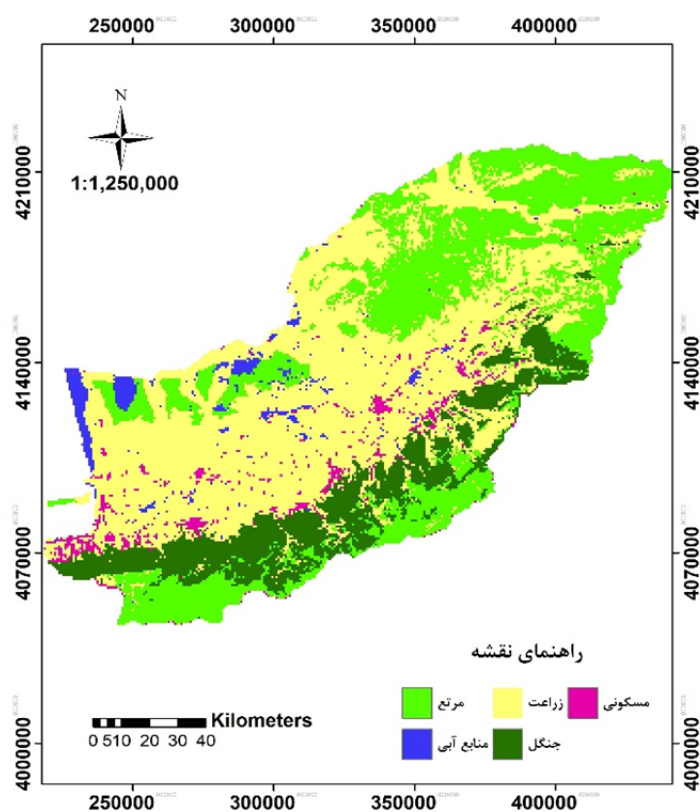
جدول ۸. احتمال انتقال محاسبه شده با زنجیره مارکف ۱۳۹۸-۱۴۲۹

Table 8. Probability of transfer calculated with Markov chain 2019-2050

	۱۴۲۹					۱۳۹۸
مناطق مسکونی	جنگل	زراعت	پیکره‌های آبی	مرتع		
مرتع	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۱۹	۰/۱۳۸۰	۰/۰۲۶۳	۰/۷۶۰۱	مرتع
پیکره‌های آبی	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۰۰	۰/۱۰۴۱	۰/۸۱۳۱	۰/۰۷۶۶	پیکره‌های آبی
زراعت	۰/۰۲۸۴	۰/۰۱۸۱	۰/۸۹۸۳	۰/۰۱۳۹	۰/۰۴۱۳	زراعت
جنگل	۰/۰۰۰۳	۰/۸۳۴۷	۰/۱۰۵۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۵۹۵	جنگل
مناطق مسکونی	۰/۸۲۳۷	۰/۰۰۵۶	۰/۱۵۳۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۱۶۹	مناطق مسکونی

داده شده است. نتایج حاصل از پیش‌بینی در جدول ۹ آورده شده است.

در شکل ۱۴ نقشه پیش‌بینی شده کاربری/ پوشش زمین برای سال ۱۴۲۹ در حالت تداوم روند فعلی تغییر کاربری نشان



شکل ۱۴. نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی استان گلستان در سال ۱۴۲۹

Fig. 14. Predicted land use map of Golestan province in 2050

جدول ۹. تغییرات کمی اجزای پوشش / کاربری اراضی در سناریوی محتمل آتی (۱۴۲۹)

Table 9. Quantitative changes in land cover / land use components in a possible future scenario (2050)

کاربری اراضی	مساحت (هکتار)		تغییرات (هکتار)	
	جاری (۱۳۹۸)	سناریو (۱۴۲۹)	افزایش	کاهش
مرتع	۷۵۶۴۵۰/۰۰	۶۲۴۵۴۳/۷۵	-	۱۳۱۹۰۶/۲۵
پیکره‌های آبی	۴۹۳۸۷/۵۰	۴۹۳۸۷/۵۰	بدون تغییر	بدون تغییر
زراعت	۸۴۵۶۶۲/۵۰	۱۰۰۹۸۰۰/۰۰	۱۶۴۱۳۷/۵۰	-
جنگل	۳۴۹۱۴۳/۷۵	۲۹۱۶۰۰/۰۰	-	۵۷۵۴۳/۷۵
مناطق مسکونی	۳۷۵۱۸/۷۵	۶۲۸۳۱/۲۵	۲۵۳۱۳/۲۵	-

استان گلستان انجام شد. در این پژوهش از تصاویر سنجنده‌های مختلف ماهواره لندست در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۸ جهت تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شد.

بر اساس نتایج به دست آمده طی این دوره با گذشت زمان، مساحت مراتع استان کاهش چشمگیری داشته و از مقدار ۹۳۷۶۳۱/۲۵ هکتار به مقدار ۷۵۶۴۵۰ هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده است که این میزان تغییرات کاهشی معادل ۸/۹ درصد با مساحتی برابر با ۱۸۱۱۸۱/۲۵ هکتار بوده است. ساری (۲۵) نیز به چنین نتیجه‌ای دست یافت. بخش زیادی از کاهش مراتع در اثر تبدیل آن به اراضی زراعی است که دلیل آن را می‌توان افزایش جمعیت و نیاز به گسترش اراضی زراعی دانست.

مساحت اراضی جنگلی نیز، طی سال‌های مذکور از مقدار ۳۹۳۰۱۸/۷۵ هکتار به مقدار ۳۴۹۱۴۳/۷۵ هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده که کاهشی بالغ بر ۴۳۸۷۵ هکتار (۲/۲ درصد) نشان داده است. به‌طور کلی تخریب عرصه‌های مرتعی و جنگلی که بخش مهمی از منابع طبیعی و از اکوسیستم‌های حیاتی در جهان هستند، امری است که در بیشتر نقاط جهان و بخصوص در کشورهای در حال توسعه به دلیل افزایش جمعیت، رشد تکنولوژی و رعایت نکردن اصول اکولوژیکی و اجرای قوانین قابل مشاهده است. چنانچه محققین متعددی در نقاط مختلف ایران و جهان به نتایج مشابهی در این خصوص دست یافته‌اند (۴، ۱۰ و ۲۹). گرچه تلاش‌های سازمان‌های مسئول را نیز نمی‌توان نادیده گرفت چراکه در صورت عدم کنترل‌های موجود، امکان وخامت بیشتر اوضاع وجود داشته و تمایل

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول فوق پیش‌بینی می‌شود که در سال ۱۴۲۹ پس از طی یک دوره زمانی ۳۱ ساله مساحت مرتع در محدوده مطالعاتی به میزان ۱۳۱۹۰۶/۲۵ هکتار کاهش نشان داده و مساحت اراضی تحت کشت و زراعت در همین دوره زمانی به مقدار ۱۶۴۱۳۷/۵۰ هکتار افزایش یابد. با توجه به این نتایج می‌توان چنین برداشت کرد که به دلیل سیر تخریبی مرتع در منطقه مورد مطالعه، به تدریج مساحت مراتع استان تحلیل و به کاربری‌هایی مانند زراعت و سایر کاربری‌های انسانی مانند سکونتگاه، باغ و غیره تبدیل شده است. با توجه به نتایج کسب شده مساحت تحت پوشش کاربری جنگلی در سال ۱۴۲۹ نسبت به سال ۱۳۹۸ به مساحت ۵۷۵۴۳/۷۵ هکتار کاهش یافته و در مقابل مناطق مسکونی به میزان ۲۵۳۱۳/۲۵ هکتار افزایش یابد. در خصوص پیکره‌های آبی نیز تغییری ایجاد نشده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

نقشه‌های کاربری اراضی از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی در زمینه مدیریت منابع طبیعی محسوب می‌شوند. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یکی از منابع مهم جهت نمایش تغییرات محیطی و مدیریت عرصه‌های زیست‌محیطی مطرح بوده و بررسی این داده‌ها در شرایط مختلف محیطی با تنوع کاربری‌ها و پوشش گیاهی ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق باهدف پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین LCM در یک دوره ۳۳ ساله در

اراضی زراعی دیم و پس از مدتی بهره‌برداری غیراصولی، در نهایت به صورت اراضی بایر و غیر قابل استفاده درمی‌آیند. از طرفی این امر می‌تواند گویای افزایش جمعیت و تقاضای اسکان و در پی آن تأمین نیازهای ساکنین منطقه تهدیدی برای اراضی مرتعی باشد که لازم است به جای افزایش سطح اراضی زراعی و مسکونی و تبدیل اراضی مرتعی به چنین کاربری‌هایی که خود پشوانه بخش کشاورزی محسوب می‌شوند، سیاست افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی دنبال گردد. در نهایت می‌توان با شناخت و مدیریت اصولی کاربری اراضی مانع از ایجاد چنین سرنوشتی برای سایر اراضی منطقه شد. بعضی از پژوهشگران راه‌حل این امر استفاده مناسب از اراضی بر اساس ارزیابی و آمایش سرزمین دانستند. علاوه بر آن نادیده گرفتن محدودیت‌ها و توان سرزمین، شدت مشکلات را افزایش داده و می‌توان با توزیع و پراکنش زمین‌های زراعی، مرتعی، تراکم مناطق شهری کنونی و مراکز تجاری و اعمال مدیریت در آن‌ها تا حد امکان توسعه را در مسیر مطلوب‌تر قرارداد. در خصوص پیکره‌های آبی می‌توان بیان نمود که در طی این دوره زمانی به میزان ۱/۶ درصد معادل ۳۲۵۶۸/۷۵ هکتار افزایش نشان داده است. این مقدار افزایش پیکره‌های آبی را تا حدی می‌توان به بارندگی‌های فراوان و آبیگری پیکره‌های آبی و حتی جاری شدن سیل در مناطق مختلف استان در سال ۱۳۹۸ نسبت داد. این نتیجه با مطالعات پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۲۹ گویای آن است که در سال‌های آتی نیز از سطح مراتع و جنگل‌ها در محدوده مطالعاتی به ترتیب به میزان ۱۳۱۹۰۶/۲۵ و ۲۹۱۶۰۰ هکتار کاسته شده و در مقابل سطح اراضی زراعی و مناطق مسکونی به ترتیب به مقدار ۱۶۴۱۳۷/۵۰ و ۲۵۳۱۳/۲۵ هکتار افزایش خواهد یافت. از این‌رو اتخاذ تدابیر و سیاست‌های لازم در خصوص کاهش بیشتر اراضی جنگلی و مرتعی امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. از طرفی اگرچه شناخت شرایط کاربری‌های مختلف اراضی در طی دوره‌های آتی، برنامه‌ریزی برای آینده را به واسطه ایجاد اطلاعات به لحاظ الگوی پراکنش مکانی آن‌ها تسهیل می‌کند ولی حفظ و ایجاد شرایط پایدار برای آینده هم به لحاظ آماری

اشخاص حقیقی و حقوقی برای تصرف اراضی ملی مرتعی و جنگلی و تبدیل کاربری آن‌ها به طور روزافزونی در حال افزایش است.

همچنین نتایج حاصل از نقشه‌های طبقه‌بندی شده طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸ نشان‌دهنده این واقعیت است که بیشترین مقادیر تغییرات از کل مساحت منطقه مرتبط با اراضی زراعی بوده به طوری که میزان این اراضی طی همین دوره ۱۷۳۷۰۰ هکتار برابر با ۸/۵ درصد افزایش داشته است. این موضوع با نتایج حاصل از مطالعه عقیفی (۲)، فتح‌اللهی رودباری و همکاران (۱۰)، فرج‌اللهی و همکاران (۹) و غلامعلی فرد و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. میزان تغییرات کاربری مربوط به کلاس اراضی مسکونی نیز با روند افزایشی از مقدار ۱۸۷۳۱/۲۵ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۳۷۵۱۸/۷۵ هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده که با افزایشی معادل ۱۸۷۸۷/۵۰ هکتار (۰/۹ درصد) در طی این دوره مواجه بوده است که با نتایج حاصل از پژوهش حسن و همکاران (۱۱)، عقیفی (۲)، فتح‌اللهی رودباری و همکاران (۱۰)، فرج‌اللهی و همکاران (۹) و غلامعلی فرد و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. افزایش جمعیت به سرعت باعث توسعه مناطق مسکونی و شهری و افزایش سطح این نوع کاربری با شیب نسبتاً زیادی به خصوص در سال‌های اخیر شده است که می‌توان بخشی از آن را به برنامه‌های دولت در زمینه ساخت‌وساز مسکن در مناطق اطراف شهرها نسبت داد.

تبدیل و تغییرات کاربری /پوشش اراضی به مناطق شهری و اراضی کشاورزی، اختلال زیادی در ارزش‌های خدمات اکوسیستم به خصوص در زمینه زیبایی منظر، منابع ژنتیکی، چرخه عناصر غذایی، کنترل فرسایش، آشفته‌گی اقلیمی، پهنه‌های آبی و حاصلخیزی خاک ایجاد می‌کند که عواقب این تغییرات، منجر به بروز اختلالات زیادی در خدمات اکوسیستم‌های طبیعی است (۲۶). این افزایش سطح اراضی زراعی بخصوص در مناطق مرکزی و شرق استان محسوس‌تر است و می‌تواند زنگ خطری برای آینده باشد به این معنی که در یک‌روند نامحسوس اراضی مرتعی و جنگلی تبدیل به

- landuse/ cover (Case study: Marave Tappeh region, Golestan). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(4), 1-14. (In Persian). [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_518869.html?lang=en](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_518869.html?lang=en).
10. Fathollahi roudbary S, Nasirahmadi K, khanmohamadi M. 2018. land use change modeling using LCM module (Case study: NEKA region). *Journal of Natural Ecosystem of Iran*, 9(1): 53-69. [http://nejournal.iaunour.ac.ir/article\\_544280\\_8c028323a531b13ee04e4dd4d45ae804.pdf](http://nejournal.iaunour.ac.ir/article_544280_8c028323a531b13ee04e4dd4d45ae804.pdf). (In Persian).
  11. Gholamalifard M, Mirzayi M, Joorabian Shooshtari S. 2014. Land use change modeling using artificial neural network and markov chain (Case study: Middle Coastal of Bushehr province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(1), 61-74. (In Persian). [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_516599.html?lang=en](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516599.html?lang=en).
  12. Haibo Y, Longjiang D, Hengliang G, Jie Z. 2011. Tai'an land use Analysis and Prediction Based on RS and Markov Model. *Procedia Environmental Sciences*, 10:2625- 2610. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.40>.
  13. Hasan S, Shi W, Zhu X, Abbas S, Khan H U A. 2020. Future Simulation of Land Use Changes in Rapidly Urbanizing South China Based on Land Change Modeler and Remote Sensing Data. *Sustainability*, 12(11): 1-24. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su12114350>.
  14. Jokar Arsanjani J, Kainz W, Mousivand A. 2011. Tracking Dynamic Land Use Change Using Spatially Explicit Markov Chain Based on Cellular Automata: the Case of Tehran. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2: 329-345. doi:<https://doi.org/10.1080/19479832.2011.60539>.
  15. Kalnay E. Cai M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423(6939): 528- 531. doi:<http://dx.doi.org/10.1038/nature01675>.
  16. Kindu M, Schneider T, Teketay D, Knoke T. 2016. Changes of ecosystem service values in response to land use/land cover dynamics in Munessa–Shashemene landscape of the Ethiopian highlands. *Science of The Total Environment*, 547: 137-147. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.127>.
  17. Lu D, Weng Q. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 5: 823–870. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/01431160600746456>
  18. Martínez M L, Pérez-Maqueo O, Vázquez G, Castillo-Campos G, García-Franco J, Mehltreter K, Landgrave R. 2009. Effects of land use change و هم به لحاظ اکولوژیکی از محدودیت‌های آن است. این محدودیت‌ها نقش مهمی در استفاده مطمئن از کاربری‌های مختلف اراضی در فرآیند برنامه‌ریزی ایفا می‌کند. بنابراین ایجاد شرایط پایدار در منطقه و مدل‌سازی آن به‌منظور استفاده منظم و پایدار از منابع طبیعی یک منطقه از پیش‌شرط‌های رسیدن به چشم‌اندازها و اسناد بالادستی از جمله طرح توسعه پایدار است.

## References

1. Abbas I, Muazu K, Ukoje J. 2010. Mapping land use-land cover and change detection in Kafur local government, Katsina, Nigeria (1995-2008) using remote sensing and GIS. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2(1): 6-12.
2. Afifi M E. 2020. Modeling Land use changes using Markov chain model and LCM model. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 20 (56):141-158. doi:<http://doi.org/10.29252/jgs.20.56.141>. (In Persian).
3. Bakr N, Weindorf D C, Bahnassy M H, Marei S M, El-Badawi M M. 2010. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. *Applied Geography*, 30(4):592-605. doi:<http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.10.008>.
4. Battsengel V, Tsolmon D, Byambakhuu G, Myagmartseren P, Otgonbayar L, Falin W. 2020. Spatiotemporal monitoring and prediction of land use/land cover changes using CA-Markov chain model: a case study in Orkhon Province, Mongolia. *Proc. SPIE 11535, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V*, 115350E (20 September 2020). <https://doi.org/10.1117/12.2574032>.
5. Eastman J R. 2006. *IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing*, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
6. Eastman J R. 2009. *Idrisi taiga manual*. Clark Lab. Clark University. Worcester, USA.333 p.
7. Eastman J R. 2014. *Idrisi TerrSet 18.00*. Clark University, Worcester, MA, USA. 392 p.
8. Fang S, George Z, Gertner G Z, Sun Z, Andersonc A. 2005. The Impact of Interactions in Spatial Simulation of the Dynamics of Urban Sprawl, *Landscape and Urban Planning*, 73: 294–306. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.006>.
9. Farajollahi A, Asgari H, Ownagh M, Mahboubi M, Salman Mahini A. 2015. Monitoring and prediction of spatial and temporal changes of

19. on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(9): 1856-1863. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.023>.
20. Mishra V, Rai P, Mohan K. 2014. Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"*, SASA, 64(1): 111-127. doi:<http://dx.doi.org/10.2298/IJGI1401111M>.
21. Mir Alizadehfard S, Alibakhshi S. 2016. Monitoring and forecasting of land use change by applying Markov chain model and land change modeler (Case study: Dehloran Bartash plains, Ilam). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(2), 33-46. (In Persian). [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_524153.html?lang=en](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_524153.html?lang=en)
22. Mosaedi A, Sharifan H, Shahabi M. 2007. Risk Management by identification of microclimates in Golestan province. Applied research report, Iran Meteorological Organization, 171 p. (In Persian).
23. Nazari Samani A, Ghorbani M, Kohbanani H R. 2010. Landuse changes in taleghan watershed from 1987 to 2010. *Rangeland*, 4(3): 442-451. (In Persian).
24. Onate-vadiieso F, sendra J B. 2010. Application of GIS and Remote sensing technques in generation of landuse scenario for hidrological modeling. *Journal of Hydrology*, 395 (4): 256-264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.033>.
25. Parker D C, Manson S M, Janssen M A, Hoffmann M J, Deadman M J. 2003. Multi agent systems for the simulation of land use and land cover change: A Review, *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2): 314-337. doi:<https://doi.org/10.1111/1467-8306.9302004>.
26. Sari, F. 2020. Assessment of land use change effects on future beekeeping suitability via CA-Markov prediction model, *Journal of Apicultural Science*, 64(2): 263-276. doi:<https://doi.org/10.2478/jas-2020-0020>.
27. Szumacher I, Pabjanek P. 2017. Temporal changes in ecosystem services in european cities in the continental Biogeographical region in the period from 1990-2012. *Sustainability*, 9(4): 665. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/su9040665>.
28. Vaclavik T, Rogan J. 2010. 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. *GIS Science and Remote Sensing*, 46 (1):54-76. doi:<https://doi.org/10.2747/1548-1603.46.1.54>.
29. Wang R, Murayama Y. 2017. Change of land use/cover in Tianjin city Based on the Markov and Cellular Automata models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6: 150. doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi6050150>.
30. Wang SW, Gebru B M, Lamchin M, Kayastha R B, Lee W K. 2020. Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability*. 12(9):3925. doi:<https://doi.org/10.3390/su12093925>.
31. Yuan F, Sawaya K E, Loeffelholz B C, Bauer M E. 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98:317-328. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.006>.



## Modeling land cover changes in Golestan province using land change modeler (LCM)

Fatemeh Salarin, Mohamadreza Tatian, Abdolazim Ghanghermeh, Reza Tamartash

Received: 7 February 2021 / Accepted: 19 April 2021

Available online 5 January 2022

### Abstract

**Background and Objective** In recent decades, land use change due to environmental and human factors has caused serious effects on the environment and the economy in Golestan province. On the other hand, wide rangelands and natural areas have been cultivated without observing ecological and scientific principles or have been exploited for special purposes and changing to other uses, while many of these lands do not have the potential to become new land uses and they have a high potential for erosion, as a result of which we will see soil erosion, especially in sloping lands and the creation of destroyer floods. Therefore, it is necessary and essential to be aware of the type and manner of use and its possible changes over time, which will be important for planning and policy-making in the country.

**F. Salarin**<sup>1</sup>, **M. R. Tatian**(✉)<sup>2</sup>, **A. Ghanghermeh**<sup>3</sup>, **R. Tamartash**<sup>4</sup>

1. PhD. Student of Rangeland Science, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran
2. Associate Professor, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran
3. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Golestan University, Gorgan, Iran
4. Associate Professor, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran

e-mail: [mr\\_t979@yahoo.com](mailto:mr_t979@yahoo.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.3.0>

The aim of this study was to detection the land use changes in Golestan province during the years 1986 to 2019 and to predict the land use status of the region for 2050 using the Land Change Modeling (LCM) approach.

**Materials and Methods** In order to monitor the trend of land use changes in the study area, Landsat 5 and 8 satellites (TM and OLI sensors for 1986, 2001, and 2019) were used. Interpretation and processing of satellite data were performed in ENVI software. The necessary pre-processing was performed on the images. First, the images were mosaic together and then cut according to the province boundary. In order to identify and separate the phenomena from each other, a false color image was created. Then, the supervised classification method with the maximum likelihood method was used. At this stage, five classes, including rangeland, agriculture, forestry, residential, and water areas were defined. Land use maps for 1986, 2001, and 2019 were prepared. Integration of land cover maps related to 1986, 2001, and 2019 was used as input of LCM model and digital elevation model (DEM) maps and road and stream layers to analyze area changes and prediction of land use changes of 2050. After the necessary analyzes in order to detect land use changes between the intended time periods, change maps and land use transfers were prepared. Finally, the amount of decrease and increase in each land use, the amount of net changes, the net change from other land uses to the desired class, areas

without change and transfer from each land use to another land in different land cover classes in the form of maps and charts were prepared and analyzed.

**Results and Discussion** The aim of this study was prediction and modeling of land use changes in a period of 33-years in Golestan province. According to the results during this period, the area of the rangelands has decreased a lot, equivalent to 181181.25 hectares. Much of the decline in rangelands is due to its conversion into agricultural, which can be attributed to population growth and the need to expand crop land. The area of forest lands during the mentioned years has decreased from 393018.75 to 349143.75 hectares in 2019, which has shown a decrease of 43875 hectares (2.2%). In general, the destruction of rangeland and forest areas is especially visible in developing countries due to population growth, technological growth and non-compliance with ecological principles and law enforcement. Also, the results of classified maps during the mentioned years show that the highest amount of changes in the region is related to agricultural lands, has increased to 173700 hectares equal to 8.5 % during the same period. The rate of land use changes related to the residential land class has also increased with the increasing trend from 18731.25 hectares in 1986 to 37518.75 hectares in 2019, which has increased by 18787.50 hectares (0.9%) during this period. Rapid growth of population has led to the development of residential and urban areas and the increase in this type of land use with a relatively steep slope, especially in recent years, which can be part of the government's plans for housing construction in the surrounding areas cities. This increase in the class of agricultural lands is more noticeable, especially in the central and eastern regions of the province, and can be a warning alarm for the future. It means that in an imperceptible trend, rangeland and forest lands become rainfed agricultural lands and after a while unprincipled exploitation, eventually become barren

and unusable land. On the other hand, this could indicate an increase in population and demand for housing, and consequently securance of the needs of the residents of the region is a threat to rangeland lands which is necessary instead of increasing the agricultural and residential lands and turning rangeland lands into such land uses, the policy of increasing productivity in the agricultural sector should be pursued. About of water areas, it can be said that during this period, it has increased by 1.6% or 3268.75 hectares. This increase in water areas can be partly attributed to heavy rainfall and water intake and even floods in different parts of the province in 2019. Predicting the rate of land use change in 2050 indicates that in the coming years, the area of rangelands and forests will be reduced by 131906.25 and 291600 hectares, respectively, and in contrast to the area of agricultural land and residential areas will increase to 164137.50 and 25313.25 hectares, respectively. Therefore, the adoption of necessary measures and policies to further reduce forest and rangeland will be inevitable.

**Conclusion** Understanding of the conditions of different land uses during the coming periods will facilitate planning for the future by creating information in terms of their spatial distribution pattern, but maintaining and creating sustainable conditions for the future both statistically and it is ecologically one of its limitations. These constraints play an important role in the safe use of different land uses in the planning process. Therefore, creating sustainable conditions in the region and modeling it in order to use the natural resources of a region regularly and sustainably is one of the preconditions for achieving upstream visions and documents, including the sustainable development plan.

**Keywords:** Modeling, Land use, Land change modeler (LCM), Markov chain, Golestan province