دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

کاربرد مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیرهٔ مارکوف در شبیه‌سازی الگوی مکانی- زمانی تغییر پوشش جنگلی (مطالعه موردی: شهرستان ملکشاهی - استان ایلام)

وحید میرزایی‌زاده[۱]، علی مهدوی[۲]، عبدالعلی کرمشاهی[۳] و علی‌اکبر جعفر زاده[۴]

۱ و ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، دانشگاه ایلام
۲- دانشیار، دانشگاه ایلام، (نویسنده مسؤول: a_amoli646@yahoo.com)
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۱

چکیده

به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع طبیعی و محیط‌زیست، اطلاع از وضعیت تغییرات پوشش اراضی طی دهه‌های گذشته ضروری است. مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی، اطلاعات ارزشمندی را برای ادراک بهتر این فرآیند، تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی مناطق در معرض تغییر را فراهم می‌آورد. این پژوهش با هدف شبیه‌سازی تغییرات پوشش‌جنگلی و تعیین پراکنش و مقدار کاهش سطح جنگل‌های شهرستان ملکشاهی در استان ایلام، طی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹ با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف انجام گرفت. برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش‌جنگلی، داده‌های سنجندهٔ MSS مربوط به سال ۱۳۵۵ و سنجنده LISSIII مربوط به سال‌های ۱۳۸٦ و ۱۳۸۹ مورد پردازش و طبقه‌بندی قرار گرفتند. به‌منظور بررسی ارتباط تغییر پوشش‌جنگل با عوامل محیطی و انسانی و تهیه نقشه مطلوبیت تبدیل اراضی، از روش آماری رگرسیون لجستیک استفاده شد. سپس نقشهٔ پوشش و کاربری اراضی سال ۱٤۰۰ با استفاده از مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف بر مبنای تغییرات مشاهده‌شده بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹، شبیه‌سازی شد. جهت اعتبارسنجی مدل، شبیه‌سازی نقشه پوشش‌جنگلی سال ۱۳۸۹ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف با تصاویر طبقه‌بندی‌شده سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸٦ انجام شد. مقایسه نقشه شبیه‌سازی‌شده سال ۱۳۸۹ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی نشان‌دهنده قابلیت بالای این مدل برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش‌جنگلی در جنگل‌های زاگرس می‌باشد (شاخص کاپا = ۰/۸۳). نتایج حاصل از مدل بیانگر کاهش قابل‌توجه (۲۰/۰۹ درصد) منابع جنگلی شهرستان ملکشاهی است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی مکانی-زمانی، سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف، رگرسیون لجستیک، شهرستان‌ملکشاهی

مقدمه

مسئله تخریب و کاهش سطح جنگل‌ها به‌عنوان یک بحران در سال‌های اخیر یکی از مباحث مهم می‌باشد. جنگل‌های غرب کشور به‌عنوان گسترده‌ترین جنگل‌های ایران دارای جایگاه ویژه‌ای در توسعه اقتصادی بوده و تضمین‌کننده بقاء و پایداری آب و خاک کشور می‌باشند. این جنگل‌ها از دیرباز محل زندگی ساکنین و عشایر و در معرض آسیب‌های فراوانی بوده‌اند. آسیب‌هایی که موجب محو جنگل در بخش‌هایی از آن و باعث سیر قهقرایی در قسمت‌های دیگر گردیده است (۲). درنتیجه مدیریت و برنامه‌ریزی این جنگل‌ها با مشکلات فراوانی همراه است. بنابراین در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع طبیعی و محیط‌زیست آگاهی از نسبت تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی و عوامل ایجادکننده آن از ضروریات محسوب می‌شود (۲۷). در این زمینه سنجش از دور معمول‌ترین منبع داده برای تشخیص، کمّی‌سازی و نقشه‌سازی الگوهای تغییرات کاربری اراضی هستند (۱). مدل‌سازی الگوی مکانی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و در محیط GIS می‌تواند شناخت مناسبی از چگونگی تغییرات کاربری اراضی نشان داده و در مدیریت آن راهکارهای مناسبی را ارائه دهد (۱۲). استفاده از مدل‌های تغییر کاربری، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی الگوی مکانی تغییرات کاربری در طی زمان محسوب می‌شود. مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف (CA-Markov) ترکیبی از مدل زنجیره مارکوف و مدل سلول‌های خودکار می‌باشد. مدل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند (۷). مدل سلول‌های خودکار با افزودن مشخصه مجاورت مکانی[۱] به مدل تصادفی زنجیره مارکوف، کاربری اراضی را برای سال‌های آینده شبیه‌سازی می‌کند.

در سال‌های اخیر به دلیل دسترسی آسان به تصاویر ماهواره‌ای و قابلیت‌های GIS مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی و پیش‌بینی آن در آینده رایج شده و تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام‌شده است. باقری و شتایی جویباری (۳) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و GIS میزان تخریب پوشش جنگلی در آبخیز چهل‌چای استان گلستان را برآورد کردند. بررسی مشخصه‌های مؤثر بر تخریب جنگل با استفاده از رگرسیون لجستیک نشان داد که شیب و فاصله از روستا با تخریب جنگل رابطه عکس داشته‌اند، با افزایش ارتفاع از سطح دریا در این منطقه تخریب افزایش‌یافته و هم‌چنین تخریب در اطراف روستاهای پرجمعیت بیشتر بوده است. رنجبر و مسگری (۲۲) به بررسی مدل رگرسیون لجستیک در تخریب جنگل‌ها با استفاده از سنجش از دور و در محیط GIS در جنگل‌های ارسباران پرداختند. مدل

1- Spatial Contiguity

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]

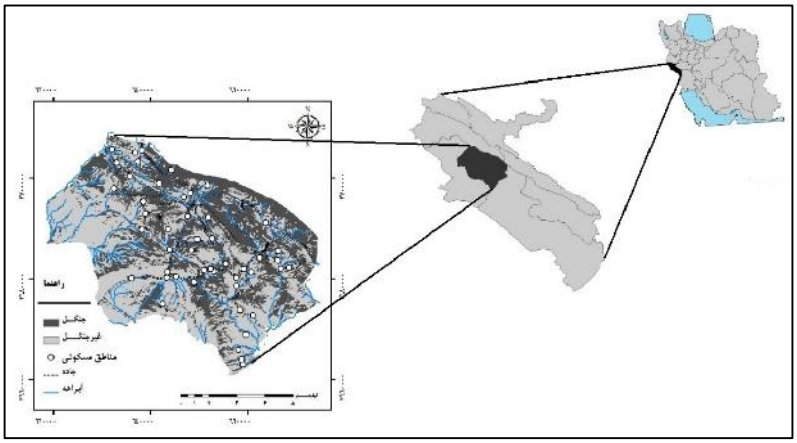
ارائه‌شده نشان می‌دهد که تخریب جنگل‌های منطقه با پارامترهای فاصله از مراکز روستایی، ارتفاع و جهت جغرافیایی ارتباط معنی‌داری دارد. زارع و همکاران (۲۷) به شبیه‌سازی مکانی-زمانی تغییرات گستره جنگل در آبخیز چهل‌چای استان گلستان با استفاده از مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف پرداختند که اعتبارسنجی مدل با مقایسه نقشه شبیه‌سازی‌شده با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۹ انجام شد. ضریب صحت استخراج‌شده نشان‌دهنده قابلیت بالای این مدل برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگلی می‌باشد (شاخص کاپا = ۰/۹۲). سرودی و جوزی (۲۵) اقدام به بررسی تغییرات فضای سبز شهری تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و اجرای مدل مارکوف کردند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به‌کارگیری مدل مارکوف در پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی منطقه تا افق ۱۴۰۴ نشان می‌دهد که بیشترین احتمال تخریب در اراضی تحت پوشش گیاهی با درجه سرسبزی ضعیف دیده می‌شود و مقدار عددی آن ۰/۰۱۶۷ می‌باشد. جعفرزاده و آرخی (۱۱) در شبیه‌سازی تخریب در جنگل‌های شمال با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک مشخص کردند در قطعات جنگل گسسته و دور، مناطق نزدیک به مرز جنگل و غیرجنگل تخریب بیشتری صورت گرفته است. میراندا و همکاران (۱۷) اقدام به مدل‌سازی مناطق مستعد تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از رگرسیون لجستیک در جنگل‌های بارانی شمال مکزیک نمودند. نتایج حاصله نشان داد که مناطق موردمطالعه به‌شدت مستعد تخریب و تغییر کاربری می‌باشند و افزایش روزافزون جمعیت و استفاده بی‌رویه و غیراصولی از منابع جنگلی در منطقه را عامل اصلی تغییر پوشش جنگلی بیان می‌کنند. پترسون و همکاران (۲۰) به مدل‌سازی تغییرات الگوی مکانی پوشش جنگل در حوضه دریاچه بایکال در جنوب سیبری پرداختند. آن‌ها از مدل تلفیقی CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات تحت دو سناریوی مدیریتی جنگل (قبل و بعد از فروپاشی اتحادجماهیرشوروی) استفاده کردند. نتایج نشان داد برای سال ۲۰۰۱ نسبت قطع جنگل، ۷۴٪ کمتر از میزان پیش‌بینی‌شده در صورت ادامه سیاست‌های مدیریتی اتحاد جماهیر شوروی بوده است و مساحت جنگل‌های سوزنی‌برگ ۱۴٪ بیشتر از مقدار مدل‌سازی شده برای این سال می‌باشد. هوان یو و همکاران (۸) در پژوهشی به شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی در کشور چین روی بزرگ‌ترین تالاب این کشور با استفاده از مدل سلول‌های خودکار پرداختند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ مدل تغییرات کاربری اراضی تالاب برای سال ۲۰۰۶ ساخته شد. نتیجه مقایسه بین مدل ساخته‌شده و نقشه‌های تالاب در سال ۲۰۰۶ بیانگر ۸۴٪ همبستگی و تطابق بین دو نقشه بود که می‌تواند کارایی مدل ساخته‌شده در آینده را نشان دهد.

شهرستان ملکشاهی ازلحاظ تقسیمات سیاسی در محدوده استان ایلام در غرب کشور قرارگرفته است. با توجه به اینکه ۱۶٪ از کل جنگل‌های استان در این شهرستان واقع‌شده است از حوضه‌های مهم و درعین‌حال بحرانی ازنظر کاهش سطح عرصه‌های جنگلی در استان ایلام به شمار می‌آید. اهداف این تحقیق عبارت‌اند از: ۱) بررسی تغییرات پوشش جنگل/ کاربری اراضی در شهرستان ملکشاهی ۲) تهیه نقشه پراکنش مکانی تغییرات ۳) ارزیابی مدل زنجیره مارکوف در شبیه‌سازی تغییرات آینده در جنگل‌های غرب کشور می‌باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

شهرستان ملکشاهی با مساحت ۱۶۰۰۳۰/۳۵ هکتار یکی از شهرستان‌های استان ایلام می‌باشد. ازنظر موقعیت جغرافیایی بین طول‌های ۶۱۷۹۷۷ و ۶۷۴۷۳۷ و عرض‌های ۳۶۵۹۲۷۳ و ۳۷۰۹۲۹۴ در سیستم مختصات UTM در زون ۳۸ شمالی واقع‌شده است (شکل ۱). جنگل‌های منطقه عمدتاً جزء جوامع جنگلی مناطق خشک و نیمه‌خشک سلسله جبال زاگرس بوده و تیپ غالب جوامع جنگلی در اکثر مناطق گونه بلوط ایرانی است. پسته وحشی (بنه)، زالزالک، بادام‌کوهی، داغداغان و کیکم سایر گونه‌های جنگلی را تشکیل می‌دهند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان ملکشاهی در استان ایلام و ایران
Figure 1. Geographical location of Malekshahi city in Ilam province and Iran

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های سنجش‌ازدور شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده MSS سال ۱۳۵۵ (۱۹۷۶) و تصاویر ماهواره‌ای IRS سنجنده LISSIII مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) و ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) استفاده شد و نیز نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۵ تهیه‌شده توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح برای ایجاد مدل رقومی ارتفاع (DEM)، انتخاب نقاط کنترل زمینی جهت انجام تصحیحات هندسی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تهیه داده‌های رقومی فاصله تا حاشیه جنگل، فاصله تا جاده، فاصله تا روستا، فاصله تا آبراهه و نیز از سالنامه آماری استان ایلام مربوط به سال ۱۳۹۰ جهت تهیه نقشه پراکنش جمعیت استفاده گردید. جهت تهیه نقشه کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه از نقشه قابلیت اراضی تهیه‌شده برای استان ایلام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد؛ و نقشه کیفیت خاک منطقه بر اساس عمق آن‌که نشان‌دهنده کیفیت خاک منطقه است تهیه گردید به‌طوری‌که هر چه خاک عمیق‌تر باشد خاک منطقه باکیفیت‌تر خواهد بود و درنهایت این نقشه با سه‌طبقه مناطق دارای خاک‌های بسیار کم‌عمق، کم‌عمق و نیمه عمیق در محیط GIS تهیه شد.

تهیه نقشه گستره جنگل

ازآنجایی‌که تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگی نتایج بهتری ارائه می‌دهد، تصویر رنگی کاذب هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲ و ۳ و ۴ تولید شد (۹). این تصاویر به تجسم انواع کاربری‌ها در منطقه کمک می‌کند. از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده برای نقشه‌های پوشش اراضی استفاده شد. اولین گام در انجام طبقه‌بندی نظارت‌شده تعریف مناطقی است که به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی برای هر طبقه استفاده می‌شوند (۷). برای این مرحله با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰، نمونه‌های تعلیمی برای هر طبقه تعریف شد. دوطبقه کاربری، به‌صورت جنگل و غیرجنگل در منطقه مشخص شد. سپس نمونه‌های تعلیمی به شیوه رقومی کردن روی صفحه تولید و تفکیک شدند. پس از مرحله تعیین نمونه‌های تعلیمی، نوبت به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌رسد که در تحقیق حاضر از روش طبقه‌بندی کننده بیشینه احتمال استفاده شد (۲۶). پس از طبقه‌بندی فیلتر مد یا نما به‌منظور حذف تک پیکسل‌ها و قطعات کوچک مورداستفاده قرار گرفت.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

در موارد زیادی این ضرورت مطرح می‌شود که مقدار هم‌خوانی[1] و مطابقت اطلاعات نقشه موضوعی تهیه‌شده با نقشه واقعی منطقه محاسبه شود. به این ترتیب که باید نقشه موضوعی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با نقشه موضوعی واقعیت زمینی[2] مقایسه شود تا قابلیت تصویر سنجیده شود (۵).

در این‌چنین مواردی کافی نیست که تنها به ارائه و مقایسه آمار مساحت طبقه‌های مختلف دو نقشه اکتفا شود، زیرا ممکن است که حتی مساحت هر یک از کاربری‌ها در دو نقشه برابر باشد اما دارای پراکنش مکانی متفاوتی باشند، به‌عبارتی‌دیگر در مکان‌های متفاوتی قرار داشته باشند. ازاین‌رو باید به‌موازات توجه به مساحت طبقه‌ها، به مکان و موقعیت آن‌ها نیز توجه شود. روش‌های گوناگونی برای بیان مقدار هم‌خوانی و مطابقت نقشه‌ها ابداع و بر اساس آن‌ها توابع مختلفی برای انجام این مهم ارائه‌شده‌اند. دو معیار اصلی و متداول در این زمینه صحت کلی و ضریب کاپا است که به ترتیب از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند (۶).

رابطه (۱)

$$\text{صحت کلی } (\%) = \frac{\text{تعداد سلول هایی که مطابقت دارند}}{\text{تعدا کل سلول های تصویر}} \times ۱۰۰$$

رابطه (۲)

$$\text{ضریب کاپا} = \frac{\text{مورد انتظار} - \text{مشاهده شده}}{\text{موردانتظار} - 1}$$

معیار صحت کلی درصد سلول‌هایی را که در نقشه دارای ارزش‌های برابری هستند (با توجه به موقعیت مکانی آن‌ها) را نشان می‌دهد. سلول‌هایی که باهم مطابقت ندارند، در محاسبه این معیار وارد نمی‌شوند. در رابطه (۲) مشاهده‌شده به صحت گزارش‌شده در ماتریس خطا و مورد انتظار به طبقه‌بندی صحیح که ممکن است با توافق شانسی بین دو تصویر همراه باشد، اشاره دارد. مشاهده‌شده همان درصد صحت کلی یعنی مجموع اعداد قطری بخش بر تعداد کل نمونه‌ها است. مورد انتظار برآوردی از سهم توافق شانسی در درصد صحت مشاهده‌شده است. در ضریب کاپا سلول‌هایی را که در دو نقشه با هم مطابقت ندارند نیز در محاسبه لحاظ می‌کند. در واقع ضریب کاپا، درصد صحت کلی را با کم کردن سهم برآورد شده توافق شانسی، تعدیل می‌کند. وقتی‌که درصد صحت کلی به ۱۰۰ و سهم توافق شانسی به صفر نزدیک می‌شود ارزش ضریب کاپا به ۱+ نزدیک می‌گردد که نشان‌دهنده توافق کامل دو تصویر است.

در این تحقیق برای تعیین صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک، یک شبکه نمونه‌برداری ۱۰۰۰ متری طراحی و روی نقشه منطقه پیاده شد و با در نظر گرفتن موقعیت مکانی محل قطعات نمونه در روی زمین، نوع پوشش سطح زمین ازنظر جنگل و غیرجنگل در قطعات ۱۲ آری تعیین شد. در روی زمین موقعیت نمونه‌ها با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب مکانی (GPS) با دقت بالا پیاده و نوع پوشش زمینی در محل نمونه‌ها مشخص گردید. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از عملیات صحرایی و با بهره‌گیری از قابلیت سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی نقشه واقعیت زمینی با دو کلاس جنگل و غیرجنگل تهیه گردید. درمجموع ۲۹۵ قطعه‌نمونه برداشت شد. با توجه به اینکه اگر نقشه واقعیت زمینی با شدت دو درصد و به روش تصادفی سیستماتیک و بزرگی قطعات نمونه متناسب با پوشش زمین فراهم شود می‌توان صحت نقشه‌های موضوعی را نسبتاً دقیق

1- Agreement

2- Ground truth

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]

(٪۶-۴±) برآورد نمود (۶). این تعداد قطعه‌نمونه با رعایت موارد ذکرشده برداشت گردید. هرچند عامل هزینه مهم‌ترین عامل محدودکننده در انتخاب تعداد قطعات نمونه بود ولی با توجه به این موضوع تلاش گردید که دقت مناسب با حداقل هزینه ممکن فراهم آید.

ارزیابی صحت نقشه ۱۳۵۵ با استفاده از تفسیر بصری و نقاط کنترل زمینی که در طول زمان تغییر نکردند محاسبه شد (۲۶). که صحت کلی و ضرایب کاپا برای هر طبقه‌ی هر تصویر به‌دست آمد (جدول ۱).

مدل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف یک ابزار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی درجایی است که توصیف تغییرات و فرآیندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. زنجیره مارکوف وضعیت آینده یک سیستم را بر اساس وضعیت قبلی آن مدل‌سازی می‌کند (۲۴). زنجیره مارکوف، دنباله‌ای از فرآیندهای تصادفی است که در آن نتیجه هر فرآیند در هر زمان، تنها به نتیجه فرآیند در زمان مجاور آن بستگی دارد (۱۹).

مدل مارکوف شامل زنجیره متوالی از متغیرهای تصادفی x_1 و x_2 و x_3 و x_n می‌باشد به‌عبارت‌دیگر، اگر مجموعه‌ای از حالات را به‌صورت $S=\{s_1,s_2,s_3,...,s_r\}$ داشته باشیم، P_{ij} از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

رابطه (۳)

$$P_{ij}^{(n)}=\sum_{k=1}^{r} p_{ik}\, p_{kj}$$

در این رابطه $P_{ij}^{(n)}$ احتمال رفتن از حالت i به حالت j را پس از n گام نشان می‌دهد (۲۵).

در این مدل دو نقشه مربوط به دو دوره زمانی به‌صورت ماتریسی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. به‌طوری‌که بر اساس بیشینه احتمال، پیش‌بینی می‌شود که هر پیکسل در هر کلاس با چه احتمالی در همان کلاس مانده یا به کلاس دیگر تبدیل می‌شود (۷). مسئله اساسی در زنجیره مارکوف این است که هیچ بحثی از عنصر مکانی در مدل‌سازی نشده است. به‌عبارت‌دیگر احتمالات انتقال ممکن است که برای هر یک از کاربری‌ها به‌دست‌آمده باشد، اما هیچ اطلاعاتی از توزیع مکانی تغییرات مربوط به هرکدام از طبقات کاربری در آن وجود ندارد. برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل از سلول‌های خودکار استفاده می‌شود.

مدل سلول‌های خودکار (CA)[1]

سلول‌های خودکار مدل‌هایی هستند که الگوهای بزرگ‌مقیاس را از فرآیندهای کوچک‌مقیاس محلی تولید می‌کنند (۲۳). این روش مدل‌سازی با پدیده‌های مکانی و پویا سروکار دارد و متشکل از سلول‌های پیوسته‌ای می‌باشد که حالت‌های متوالی سلول‌ها در تکرارهای مختلف مطابق با قوانین اتخاذ شده و وضعیت سلول‌های همسایه تغییر می‌کند. در مدل سلول‌های خودکار، فضا به‌صورت یک شبکه تعریف می‌گردد که شبکه خودکار توانایی تغییر وضعیتش را بر اساس به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و همسایگانش نشان می‌دهد داراست.

مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف (CA-Markov)

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی (MOLA)[2] است (۲۷). با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال[3]، ماتریس مساحت انتقال‌یافته[4] و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد می‌گردد (بسته به تعداد کاربری‌ها). ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هرکدام از کاربری‌ها به‌کاربری دیگر را نشان می‌دهد. ماتریس مساحت انتقال‌یافته، تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند، ثبت می‌کنند. تصاویر احتمال شرطی، احتمال اینکه هر نوع از پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کند. همان‌طور که ذکر شد ضعف زنجیره مارکوف در مشخص نبودن توزیع مکانی تغییرات مربوط به کاربری‌ها است، که برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل از سلول‌های خودکار استفاده می‌شود. بدین‌صورت که نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های شایستگی[5] تبدیل پوشش و کاربری با اعمال فیلتر مجاورت[6] و طی فرآیند تخصیص چندمنظوره اراضی تهیه می‌گردد (۷). در حقیقت مدل CA-Markov مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند (۱۰).

نقشه‌های شایستگی تبدیل کاربری

این نقشه‌ها، شایستگی تبدیل هر سلول تصویر را از یک کاربری به کاربری دیگر را نشان می‌دهند (۲۷). این نقشه‌ها به‌صورت تجربی و بر اساس تغییرات کاربری زمین بین دوره مورد مطالعه تهیه می‌شوند. می‌توان آن‌ها را با رویکرد استقرایی (مانند ارزیابی چندمعیاره) و استنتاجی (مانند رگرسیون لجستیک) تهیه نمود (۴). در این تحقیق از رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه‌های شایستگی تبدیل کاربری‌ها استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت مدل رگرسیون لجستیک از شاخص ROC و Pseudo-R^2 استفاده می‌شود. شاخص ROC به‌صورت عددی بین ۰-۱ بیان می‌شود که از منحنی ROC به‌دست می‌آید. منحنی ROC نموداری است که در آن نسبت پیکسل‌هایی که توسط مدل به‌درستی تغییر پیش‌بینی‌شده‌اند در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که به نادرست تغییر پیش‌بینی‌شده‌اند ترسیم می‌گردد. ارزش ۰/۵ برای این شاخص بیان‌کننده تصادفی بودن موقعیت‌هاست و نشان می‌دهد ارزش سلول‌ها در نقشه احتمال پیش‌بینی به‌صورت موقعیت‌های تصادفی ایجاد گشته است. مفهوم R^2 در رگرسیون لجستیک با موارد مشابه متفاوت است. در رگرسیون‌های غیرلجستیکی، میزان ضریب تعیین‌کنندگی R^2، تغییرپذیری کلی متغیرها در مدل را نشان می‌دهد، درحالی‌که در رگرسیون لجستیک به

1- Cellular Automata
2- Multi Objective Land Allocation
3- Transition Probabilities
4- Transition Areas
5- Transition Suitability
6- Filter Contiguity

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]

دلیل سروکار داشتن با داده‌هایی که ماهیتاً دارای همبستگی مکانی هستند اندازه نمونه قابل‌قبول مشخص نیست، بنابراین از واژه کاذب برای R^2 استفاده می‌شود شاخص Pseudo-R^2 بر مبنای قاعده نسبت احتمال، نیکویی برازش در رگرسیون لجستیک را آزمون می‌کند. میزان قابل‌قبول Pseudo-R^2 برای تأیید رضامندی مدل در محدوده ۰/۲–۰/۴ است. در برقراری رابطه رگرسیون لجستیک نقشه تغییرات پوشش جنگلی به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های رقومی ارتفاع از سطح دریا، کیفیت خاک (عمق خاک)، پراکنش جمعیت، شیب زمین، جهت شیب زمین، فاصله تا حاشیه جنگل، فاصله تا جاده، فاصله تا روستا و فاصله تا آبراهه به‌عنوان پارامترهای مؤثر در روند تغییرات پوشش جنگلی به‌عنوان متغیرهای مستقل در برقراری رابطه رگرسیون لجستیک به‌کار گرفته شدند.

فیلتر مجاورت سلول‌های خودکار

از فیلتر مجاورت CA برای توسعه یک فاکتور وزن‌دهی- مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده می‌شود (۲۴). فیلتر سلول‌های خودکار فاکتور وزن‌دهی را برای نقشه‌های شایستگی تبدیل کاربری که قبلاً ایجاد شده‌اند به‌کار می‌گیرد. وزن بیشتر به مناطقی که نزدیک به کاربری زمین کنونی هستند داده می‌شود. این فرآیند موجب می‌شود که تغییرات کاربری اراضی در نزدیک کلاس‌های کاربری زمین مشابه کنونی ایجاد گردد و کاملاً به‌طور تصادفی نباشد. فیلتر سلول‌های خودکار به‌صورت یک پنجره متحرک روی تصویر بولین هر طبقه نقشه کاربری حرکت می‌کند با این عمل تصویر جدیدی ایجاد می‌شود که با ضرب این تصویر در تصویر مربوط به نقشه‌های شایستگی می‌توان این نقشه‌ها را بر مبنای فاصله از کاربری فعلی به هنگام نمود. در این تحقیق از فیلتر مجاورت سلول‌های خودکار ۵×۵ استفاده شد.

برای پیش‌بینی پوشش جنگلی در سال موردنظر به اجرای مکرر سلول‌های خودکار نیاز است؛ تعداد تکرار برابر با تعداد دوره‌های زمانی (سال‌های) بین آغاز و پایان پیش‌بینی است. به همین خاطر با توجه به فاصله بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹، ۳۴ تکرار و برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ که ۱۱ سال می‌شود ۱۱ تکرار انتخاب گردید. در هر تکرار پیکسل‌های نقشه‌های شایستگی با اعمال فیلتر مجاورت با توجه به کاربری فعلی وزن‌دهی شده و مقادیر جدیدی اختیار می‌کنند، سپس فرآیند MOLA برای تخصیص مکان کاربری‌ها بر مبنای شایستگی سرزمین به آن کاربری‌ها و آستانه مساحتی تهیه‌شده توسط آنالیز زنجیره مارکوف بکارگرفته می‌شود (۲۴).

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده در جدول ۱ ارائه‌شده است. با توجه به مقادیر بالای ۹۰٪ صحت کلی می‌توان از این نقشه‌ها برای مدل‌سازی مکانی استفاده کرد. نتایج طبقه‌بندی تصاویر نشان داد که در سال ۱۳۵۵ از کل سطح شهرستان حدود ۸۴۱۵۵ هکتار را جنگل پوشانده و اراضی غیر جنگلی حدود ۷۵۸۷۹ هکتار را تشکیل می‌دهند و در سال ۱۳۸۹ مساحت اراضی جنگلی در حدود ۶۷۲۴۷ هکتار بوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه دو نقشه مربوط به ابتدا و انتهای دوره زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که ۲۰/۰۹ درصد از مناطق جنگلی اولیه کاسته شده است. میزان و مناطق کاهش پوشش جنگلی در شکل ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۱- نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

Table 1. The results of the assessment of satellite images classification

تصویر Mss ۱۳۵۵		تصویر LissIII ۱۳۸۶		تصویر LissIII ۱۳۸۹	
صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا
٪۹۳	۰/۹۱	٪۹۲	۰/۸۹	٪۹۰/۸	۰/۸۶

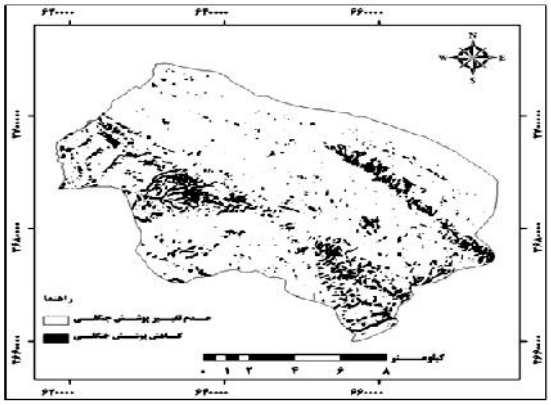
جدول ۲- میزان تغییرات مساحت پوشش جنگلی در دوره ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹

Table 2. Changes in forest cover area during the period of 1976 to 2010

طبقات کاربری	مساحت سال ۱۳۵۵ (هکتار)	مساحت سال ۱۳۸۹ (هکتار)	میزان تغییر سطح (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به مساحت کل
جنگل	۸۴۱۵۴/۹۹	۶۷۲۴۷/۲۹	–۱۶۹۰۷/۷	–۱۰/۵۷
غیر جنگل	۷۵۸۷۹/۰۴	۹۲۷۸۳/۰۶	+۱۶۹۰۷/۷	+۱۰/۵۷
جمع	۱۶۰۰۳۰/۳۵	۱۶۰۰۳۰/۳۵	–	–

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]



شکل ۲- نقشه کاهش پوشش جنگلی شهرستان ملکشاهی بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹
Figure 2. Malekshahi city map forest cover loss between 1976 to 2010

بعد از تعیین میزان و موقعیت کاهش پوشش جنگلی، از رگرسیون لجستیک برای تعیین ارتباط عوامل مؤثر با این پدیده استفاده شد. ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک با دو شاخص Pseudo-R^2 و ROC[1] انجام شد که Pseudo-R^2 آن برابر ۰/۲۳۱۲ است که نشان‌دهنده برازش نسبتاً خوب مدل است و میزان شاخص ROC نیز ۰/۷۹۹۱ به‌دست آمد که نزدیکی این عدد به یک حکایت از قابلیت بالای مدل در تبیین تغییرات پوشش اراضی دارد. جدول ۳ نتایج مدل رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد.

معادله رگرسیونی نشان می‌دهد داده‌های رقومی کیفیت خاک (عمق خاک)، جهت شیب منطقه، ارتفاع از سطح دریا، پراکنش جمعیت و فاصله تا جاده رابطه مستقیم با تغییر پوشش جنگلی در شهرستان ملکشاهی دارند.

در مرحله بعد ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف بر مبنای تغییرات مشاهده شده در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹ به‌دست آمد (جدول ۴)، سپس نقشه پوشش و کاربری اراضی سال ۱۴۰۰ با مدل CA-Markov پیش‌بینی گردید (شکل‌های ۳ تا ۶).

جدول ۳- نتایج مدل رگرسیون لجستیک
Table 3. The results of the logistic regression model

متغیر مستقل	ضریب
کیفیت خاک (عمق خاک)	۰/۳۶۹۹
جهت شیب	۰/۳۶۱۲
ارتفاع از سطح دریا	۰/۱۳۷۹
پراکنش جمعیت	۰/۱۰۳۷
فاصله تا جاده	۰/۰۶۰۰
ضریب معادله رگرسیون (عرض از مبدأ)	-۴/۷۰۷۱

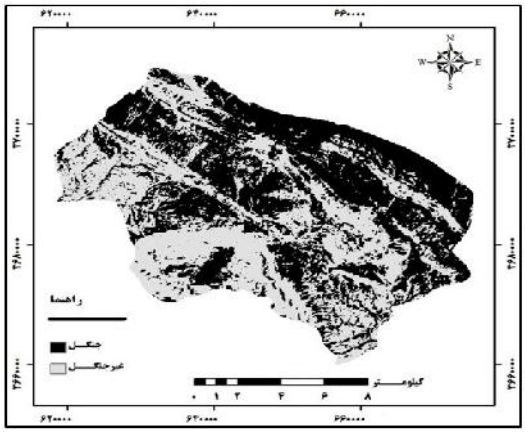
جدول ۴- ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی شهرستان ملکشاهی در دوره زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۹
Table 4. Transition probability matrix of Malekshahi city land use during the period of 1976 to 2010

	سال ۱۳۸۹		
سال ۱۳۵۵	جنگل		غیر جنگل
جنگل	۰/۴۸۹۳		۰/۵۱۰۷
غیر جنگل	۰/۳۴۸۸		۰/۶۵۱۲

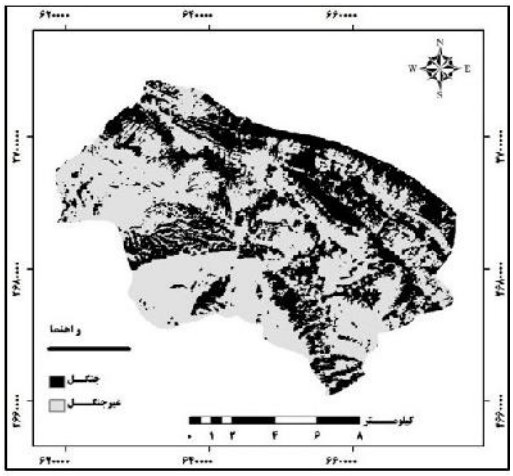
1- Relative Operating Characteristic

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

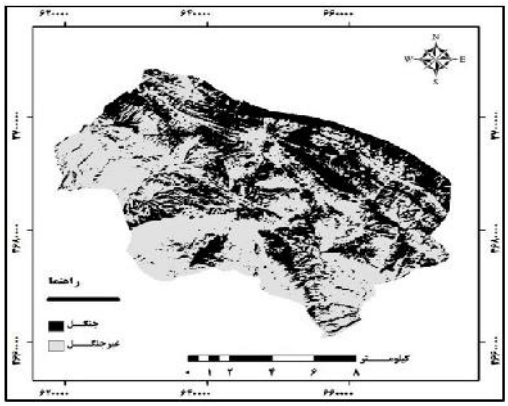
[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]



شکل ۳- نقشه کاربری ارضی شهرستان ملکشاهی سال ۱۳۵۵
Figure 3. The land use map of Malekshahi city in 1976



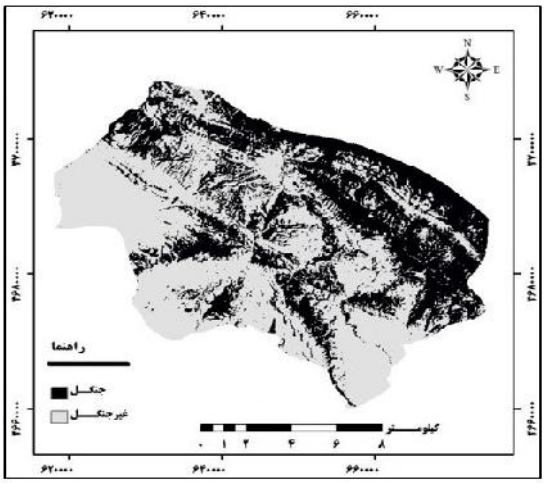
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی شهرستان ملکشاهی سال ۱۳۸۶
Figure 4. Land use map of Malekshahi city in 2007



شکل ۵- نقشه کاربری ارضی شهرستان ملکشاهی سال ۱۳۸۹
Figure 5. The land use map of Malekshahi city in 2020

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی شهرستان ملکشاهی سال ۱۴۰۰
Figure 6. land use map of Malekshahi city in 2010

در پایان با فرض ثابت بودن سیاست‌های کنونی مدیریت اراضی، نقشه پوشش جنگلی و غیر جنگلی شهرستان ملکشاهی با استفاده از مدل CA-Markov برای سال ۱۴۰۰ شبیه‌سازی شد (شکل ۶). بر اساس این پیش‌بینی در سال ۱۴۰۰ مساحت کاربری‌های جنگل و غیر جنگل به ترتیب ۶۵۸۳۵/۵۹ و ۹۴۱۹۴/۷۶ هکتار خواهد بود یعنی نسبت به وضعیت کنونی ۱۴۱۱/۷ هکتار از پوشش جنگلی شهرستان ملکشاهی کاسته خواهد شد (جدول ۵).

جدول ۵- پیش‌بینی میزان تغییرات مساحت پوشش جنگلی در دوره ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰
Table 5. Prediction of the changes in forest cover area during the period of 2010 to 2020

طبقات کاربری	مساحت سال۱۳۸۹ (هکتار)	مساحت سال ۱۴۰۰ (هکتار)	میزان تغییر سطح (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به مساحت کل
جنگل	۶۷۲۴۷/۲۹	۶۵۸۳۵/۵۹	-۱۴۱۱/۷	-۰/۸۸
غیرجنگل	۹۲۷۸۳/۰۶	۹۴۱۹۴/۷۶	+۱۴۱۱/۷	+۰/۸۸
جمع	۱۶۰۰۳۰/۳۵	۱۶۰۰۳۰/۳۵	-	-

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نرخ تخریب سالانه در شهرستان ملکشاهی که مساحت کل آن ۱۶۰۰۳۰/۳۵ هکتار است، ۴۶۹/۷ هکتار در سال برای دوره زمانی موردمطالعه برآورد شد. با توجه به میزان برآورد شده می‌توان گفت که به‌طور متوسط سالانه ۰/۵۶ درصد از سطح اولیه جنگل در منطقه کاسته شده است. لذا میزان تخریب صورت گرفته در شهرستان ملکشاهی بیشتر از متوسط سطح جهانی (۰/۲ درصد) آن می‌باشد.

هرچند بررسی تفصیلی علل وقوع تغییرات کاربری اراضی در شهرستان ملکشاهی خارج از قلمرو این تحقیق بوده است ولی سعی شد عوامل مؤثر با الگوی مکانی تغییرات پوشش جنگلی در قالب رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار گیرد. خروجی رگرسیون لجستیک با شاخص $Pseudo\text{-}R^2$ برابر ۰/۲۳۱۲ و شاخص ROC برابر با ۰/۷۹۹۱ نشان‌دهنده برازش نسبتاً خوب مدل به‌دست‌آمده با تغییر پوشش جنگلی واقعی و توانایی مناسب مدل در برآورد تغییرات جنگل در منطقه است، نتیجه حاصله با نتیجه برازش باقری و شتایی جویباری (۳) مطابقت دارد. نتایج حاکی از آن است که کیفیت خاک منطقه ارتباط مستقیم با پدیده تغییر پوشش جنگلی دارد به‌طوری‌که در خاک‌های کم‌عمق تا نیمه عمیق که بهترین خاک‌های منطقه هستند تخریب جنگل‌ها بیشتر اتفاق افتاده است که این موضوع به مناسب بودن این خاک‌ها برای زراعت، دیم‌کاری و استفاده از مراتع آن برای دام می‌باشد، که این نتیجه با نتایج ماس و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. ضریب جهت شیب مثبت بوده، طبق بررسی صورت گرفته از منطقه موردمطالعه مشاهده شد که تراکم درختان جنگلی در جهت‌های شمالی بیشتر و وجود لکه‌های غیر جنگلی نیز به‌مراتب کمتر از سایر جهت‌ها می‌باشد. احتمال می‌رود جهت‌های شرق و جنوب به دلیل برخورداری از گرما و پوشش علفی بیشتر نسبت به جهت‌های شمالی در طول زمان بیشتر مورد تعرض قرارگرفته است که این موضوع با تحقیق امینی و همکاران (۲) تطبیق دارد. در ارتباط با تأثیر عامل ارتفاع از سطح دریا روی تخریب جنگل‌های منطقه نتایج نشان داد که در ارتفاعات میانی تخریب بیشتری صورت گرفته و در خروجی رگرسیون لجستیک ضریب مثبت گرفته است، که این نتیجه با نتایج تحقیقات مسگری و رنجبر (۱۸) و رفیعیان و همکاران (۲۱) که بیان کردند بین ارتفاع از سطح دریا و

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]

تخریب جنگل ارتباط معکوسی وجود دارد مغایرت دارد اما ذکر این نکته لازم است تمرکز جمعیتی در غرب کشور به دلیل کوهستانی بودن در همه مناطق ارتفاعی پراکنده می‌باشد و تفاوت ناچیز اختلاف ارتفاعی بین مراکز جمعیتی و جنگل وجود دارد درحالی‌که در شمال کشور با افزایش ارتفاع به‌طور چشمگیری روستاها و مراکز جمعیتی کاهش می‌یابد. حضور عامل پراکنش جمعیت در مدل سبب بهبود آن می‌شود و نشان می‌دهد که مراکز پرجمعیت با ضریب بالا و مثبت در مدل تأثیر زیادی در تغییر پوشش جنگلی دارد و عاملی مهم در تخریب جنگل‌ها تلقی می‌شود که این مهم با نتایج تحقیقات ماهاپاترا و کانت (۱۳) و میراندا و همکاران (۱۷) همخوانی دارد. با توجه به ضریب مثبت فاصله از جاده می‌توان گفت جاده‌سازی ارتباط مستقیمی با کاهش پوشش جنگلی در منطقه موردمطالعه دارد ماتیو و همکاران (۱۵) و میریام و تیلور (۱۶) جاده‌سازی را به‌عنوان عامل اصلی تخریب جنگل در مناطق مورد مطالعه خود معرفی کرده‌اند.

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت به ترتیب عوامل کیفیت خاک منطقه، جهت شیب زمین، ارتفاع از سطح دریا، پراکنش جمعیت در منطقه موردمطالعه و فاصله تا جاده بیشترین تأثیر را بر کاهش پوشش جنگلی در شهرستان ملکشاهی دارند. با توجه به نتایج نقشه برآورد پراکنش مکانی مدل، مکان‌هایی که بیشتر در معرض تخریب هستند در نزدیک مراکز جمعیتی، شهرها، روستاها و مناطق حفاظت نشده واقع‌شده‌اند که مورد تقاضا برای توسعه مناطق انسان‌ساخت در آینده هستند.

مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی حکایت از آن دارد که در صورت ادامه روند کنونی انتظار می‌رود که در سال ۱۴۰۰ شاهد کاهش حدود ۱۳۳۱/۵ هکتار از سطح اراضی جنگلی باشیم، در صورت تحقق چنین تغییراتی فرسایش خاک، رانش زمین، سیل‌خیزی و نمود شواهد بیابان‌زایی در شهرستان ملکشاهی به‌شدت تشدید خواهد شد.

ارزیابی میزان تطابق نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۱۳۸۹ و واقعی آن با شاخص کاپا نشان می‌دهد که CA-Markov مدلی مناسب جهت شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگلی در جنگل‌های زاگرس می‌باشد و قادر است وضعیت آینده کاربری اراضی را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند.

ازآنجاکه مدل‌سازی مکانی یک ابزار مناسب برای درک بهتر علت‌های تغییرات کاربری اراضی پوشش زمین محسوب می‌شود، امید است که نتایج این تحقیق در برنامه‌ریزی‌های آینده که با تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی مرتبط است موردتوجه قرار گیرد.

منابع

1. Abd El-Kawy, O.R., J.K. Rod, H.A. Ismail and A.S. Suliman. 2011. Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. Applied Geography, 31: 483-494.
2. Amini, M.R., Sh. Shataee Joybari, M.H. Moaieri and H. Ghazanfari. 2009. Deforestation modeling and investigation on related physiographic and human factors using satellite images and GIS (Case study: Armrdeh forests of Baneh). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16: 431-443 (In Persian).
3. Bagheri, R. and Sh. Shataee. 2010. Modeling forest areas decreases, using logistic regression (case study: Chehl-Chay catchment, Golestan province). Iranian Journal of Forest, 2: 243-252 (In Persian).
4. Cabral, P. and A. Zamyatin. 2006. Three land change models for urban dynamics analysis in sitra-cascais area. 1 st EARSEL workshop of the GIS urban remote sensing. Humboldt-University Zu Berlin, 2-3 March, 231-239.
5. Darvishsefat, A.A. and M. Pir Bavaghar. 2012. Applied GIS. Iranian Student Book Agency (ISBA).Tehran, Iran, 236 pp (In Persian).
6. Darvishsefat, A.A., M. Pir Bavaghar and M. Rajab pour Rahmati. 2011. Remote sensing for managers GIS. Publication of Tehran University, Tehran, Iran, 710 pp (In Persian).
7. Estman, J.R. 2006. IDRISI Andes Tutorial. ClarkLabs, Clark University, Worcester, Ma, 284 pp.
8. Huan, Yu., H. Zhengwei and P. Xin. 2010. Wetlands shrink simulation using Cellular Automata: a case study in Sanijiang Plains, China. Procedia Environmental Sciences, 2: 225-233.
9. Khoi, D.D. and Y. Murayama. 2010. Forecasting Areas Vulnerable to forest conversion in the Tam Dao National park Region, Vietnam, Remote Sensing, 2: 1249-1272.
10. Khoshgoftar, M., M. Talei and M. Malekpour. 2010. Spatio-temporal modeling of urban Sprawl: an approach based on integrating cellular automata and Markov Chains. Proceeding of Geometrics 89 (National Conference & Exhibition), 9 pp.
11. Jafarzadeh, A.A. and S. Arekhi. 2012. Analyze and predict processes of deforestation using logistic regression and GIS (a case study of northern Ilam forest, Ilam province, Iran). Elixir Agriculture, 44: 7104-7111.
12. Manuel, E., E.L. Mendoza, D. Geneletti, D.R. Pérez-Salicrup and V. Salinas. 2011. Analyzing land cover and land use change processes at watershed level: A multi temporal study in the lake Cuitzeo watershed, Mexico (1975-2003). Applied Geography, 31: 273-250.
13. Mahapatra, K. and S. Kant. 2005. Tropical deforestation: A Multinomial logistic model and some country-specific policy prescriptions. Forest Policy and Economics, 7: 1-24.
14. Mas, J.F., H. Puig, J.L. Palacio and A. Sosa-Lopel. 2004. Modeling deforestation using GIS and artificial Neural Networks. Environmental Modeling and Software, 19: 461-471.
15. Matthew, L., J. Robert, R.J. Smith and L.W. Nigel. 2004. Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. Biodiversity and Conservation, 21: 13-26.
16. Miriam, S.W. and V.S. Taylor. 2010. Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize. Applied Geography, 30 pp.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]

17. Miranda, A.L., J.T. Garza, P.J. Jimenez, O.A. Aguirre and M.A. Gonzalez. 2012. Modeling susceptibility to deforestation of remaining ecosystems in North central Mexico with logistic regression, Journal of Forestry Research, 23: 345-354.
18. Mesgari, S. and A. Ranjbar. 2003. Analysis and estimation of deforestation using satellite imagery and GIS, Proceedings of Map India, the 6th Annual International Conference and Exhibition, New Delhi, India, 3: 13-28.
19. Norris, J.R. 1997. Markov Chains., Cambridge University press. 237 pp.
20. Peterson, L.k., K.M. Bergen, D.G. Brown, L. Vashcchuk and Y. Blam. 2009. Forested land cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region. Forest Ecology and Management, 257: 911-922.
21. Rafieyan, A., A.A. Darvishsefat and M. Namyranian. 2007. Forest area change detection using ETM+ data between 1994 and 2001 in the Northern Forest of Iran. Journal of Science and technology of Agriculture and Natural Resources, 10: 277-286 (In Persian).
22. Ranjbar, A. and M.S. Mesgari. 2012. Evaluation of the logistic regression model using remote sensing Arasbaran deforestation in GIS (Case study: forest Arasbaran). Journal of Geography and Planning, 16: 155-171 (In Persian).
23. Sakyeh, Y. and S. Dejhkam. 2011. Cellular automata method in environmental modeling land use changes, Fifth National Conference and Exhibition on Environmental Engineering, Tehran, Iran (In Persian).
24. Salmanmahini, A. and H. Kamyab. 2012. Applied Remote Sensing and GIS with Idrisi. 2nd Edition. Publication of Mehrmahdis. Tehran, Iran, 596 pp (In Persian).
25. Soroudi, M. and S.A. Jozi. 2013**.** Application of remote sensing and markov in investigation and prediction of change in vegetation cover (Case study: District 1 of Tehran Municipality)**.** Journal of Environmental Studies, 39: 113-122 (In Persian)**.**
26. Schulz, J.J., L. Cayuela, C. Echeverria and S. Salas. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of central Chile (1975-2008). Applied Geography, 30: 436-447.
27. Zare Garizi, A., V. Sheikh, A. Sadoddin and A. Mahiny. 2012. Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20: 273-285 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]

Application of an Integrated CA-Markov Model in Simulating Spatiotemporal Changes in Forest Cover: A Case Study of Malekshahi County Forests, Ilam Province

Vahid Mirzaei Zadeh[1], Ali Mahdavi[2], Abdolali Karmshahi[3] and Ali Akbar Jaefarzadeh[4]

1 and 3- Gradated M.Sc. Student and Assistant Professor, University of Ilam
2- Associate Professor, University of Ilam. (Corresponding author: a_amoli646@yahoo.com)
4- Graduated M.Sc. Student, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University
Received: December 2, 2013 Accepted: January 31, 2015

Abstract

In order to optimize the planning and management of natural resources and the environment, it is essential to know the status of land cover changes over the past decades. Modeling land cover change can provide valuable information for better understanding of this process, determining of effective factors and forecasting of regions subject to change. This study aimed to determine and simulate the distribution and amount of reduced forest cover changes in Malekshahi County in Ilam province using Fusion CA-Markov model during the years 1976 to 2010. To simulate forest cover changes, Landsat MSS of 1976 and LISSIII of 2007 and 2010 images were processed and classified. To investigate the relationship between forest cover changes and human and environmental factors and land conversion utility maps, the logistic regression method was used. Then the land cover and land use map in 2021 was simulated using a combined model of Markov chain and automated cells based on observed changes between 1976 to 2010. To validate the model, simulation maps of forest cover in 2010 were created using CA-Markov model and classified images of 1976 to 2007 years. Comparison of simulated maps with real map from 2010 showing the high capability of classifying these models to simulate forest cover changes in Zagros forests (kappa index = 0.83). The results of the model indicate significant reductions in Malekshahi county forest resources.

Keywords: Spatial-temporal Simulation, Automated cell, Markov chain, Logistic Regression, Malekshahi

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-21]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1394.3.5.5.3]