DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107279

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۲، صفحهٔ ۲۸۵-۲۷۳، (۱۳۹۱)

شبیه‌سازی مکانی- زمانی تغییرات گستره جنگل در آبخیز چهل‌چای استان گلستان با استفاده از مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکف

آرش زارع گاریزی[1*]، واحدبردی شیخ[2]، امیر سعدالدین[2] و عبدالرسول سلمان ماهینی[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه یزد. پست الکترونیک: arash.zare86@gmail.com
۲- استادیار، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استادیار، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
٤- دانشیار، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۳

چکیده

اهمیت پوشش و کاربری اراضی به‌عنوان یک عامل پویا و مؤثر بر شرایط زیستی ایجاب می‌کند که همواره اطلاعات کمی و کیفی دقیقی از آن تهیه و تغییرات مربوط به آن در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت تعیین گردد. مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی، اطلاعات ارزشمندی را برای ادراک بهتر فرایند تغییر، تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی مناطق در معرض تغییر فراهم می‌آورد. در تحقیق حاضر از مدل تلفیقی CA-Markov برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگلی در آبخیز چهل‌چای مینودشت استفاده شد. این مدل که تلفیقی از سلول‌های خودکار و زنجیره مارکف است، با افزودن مشخصه مجاورت مکانی به مدل تصادفی زنجیره مارکف، پوشش اراضی را برای سالهای آینده پیش‌بینی می‌کند. از تصاویر سنجنده TM سال ۱۹۸۷، نقشه کاربری سال ۲۰۰۱ و تصویر +ETM سال ۲۰۰۹ برای تهیه نقشه پوشش جنگلی آبخیز چهل‌چای و ارزیابی تغییرات آن در طی زمان استفاده گردید. به‌منظور بررسی ارتباط تغییرات پوشش جنگل با برخی عوامل محیطی و انسانی و تهیه نقشه‌های شایستگی تبدیل اراضی، رابطه رگرسیون لجستیک بین نقشه تغییرات پوشش جنگلی به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل مؤثر به‌عنوان متغیرهای مستقل، برقرار گردید. سپس پوشش و کاربری اراضی سال ۲۰۰۹ با استفاده از مدل CA-Markov و بر مبنای تغییرات مشاهده شده بین سالهای ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱، پیش‌بینی شد. اعتبارسنجی مدل با مقایسه نقشه شبیه‌سازی شده با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۹ انجام شد. ضریب صحت استخراج شده، نشان‌دهنده قابلیت بالای این مدل برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگلی در آبخیز چهل‌چای می‌باشد (شاخص کاپا = ۰/۹۲). در نهایت با فرض ادامه روند کنونی، نقشه پوشش جنگلی آبخیز مورد نظر برای سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی گردید که نتایج بیانگر کاهش قابل توجه مناطق جنگلی است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات گستره پوشش جنگلی، رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکف، سلول‌های خودکار، آبخیز چهل‌چای.

مقدمه

تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی یکی از عوامل مهم در تغییر رژیم هیدرولوژیک، فرایندهای فرسایشی و وضعیت تنوع زیستی می‌باشد. با پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مؤثر می‌توان در راستای هدایت اکوسیستم به سمت مطلوب گام برداشت. تغییر کاربری و پوشش اراضی فرایند دینامیک و پیچیده‌ای است که از تلاقی سیستم‌های طبیعی و انسانی بدست می‌آید و اثرهای مستقیمی بر آب، خاک و هوا دارد. وقوع این پدیده پیامدهای اقتصادی،

اجتماعی و زیست‌محیطی در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی به همراه خواهد داشت (Koomen *et al*., 2007). بنابراین در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع طبیعی و محیط زیست آگاهی از نسبت تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی و عوامل ایجاد کننده آن از ضروریات محسوب می‌شود. در این زمینه داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن ویژگیهایی مانند پوشش وسیع، به‌هنگام بودن، تکراری بودن، توان تفکیک طیفی، رادیومتریک و مکانی بالا، فرمت رقومی و امکان پردازش رایانه‌ای، از قابلیت بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و کاربری اراضی برخوردار هستند (Jensen, 2007).

مدل‌سازی الگوی مکانی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی اطلاعات ارزشمندی را جهت ادراک بهتر فرایند تغییر، تعیین عوامل مؤثر و پیش‌بینی مناطق در معرض تغییر فراهم می‌آورد. استفاده از مدل‌های تغییر کاربری ابزار مناسبی برای پیش‌بینی الگوی مکانی تغییرات کاربری اراضی در طی زمان محسوب می‌شود. مدل‌های تغییر کاربری را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم بندی نمود: مدل‌های تخمین تجربی (Empirical estimation models)، مدل‌های شبیه‌سازی پویا (Dynamic simulation models) و مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر قاعده (Rule-base simulation models) (He & Lo, 2007).

مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکف (CA-Markov) ترکیبی از مدل زنجیره مارکف (از دسته مدل‌های تخمین تجربی) و مدل سلول‌های خودکار (Cellular automata) (از دسته مدل‌های شبیه‌سازی پویا) می‌باشد. در حقیقت این مدل با افزودن مشخصه مجاورت مکانی (Spatial contiguity) به مدل تصادفی زنجیره مارکف، کاربری اراضی را برای سالهای آینده شبیه‌سازی می‌کند.

در سالهای اخیر، به‌دلیل 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 انجام شده است. Mahiny & Turner (2003) تغییرات پوشش گیاهی در حوضه رودخانه بوروا در استرالیا را با دو رویکرد رگرسیون لجستیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که هر دو روش توانایی خوبی در مدل‌سازی تغییرات پوشش را دارند ولی شبکه عصبی عملکرد نسبتاً بهتری داشته است. Pirbavaghar (2004) به بررسی تغییرات گسترهٔ جنگلهای شمال کشور در ارتباط با عوامل توپوگرافی و مناطق انسان ساخت پرداخت. نتایج تحقیق نشان داد که ارتباط معکوسی بین شیب و میزان تخریب جنگل وجود دارد و مناطق جنگلی تخریب شده عمدتاً در اطراف جاده‌ها و مناطق مسکونی هستند. همچنین با افزایش ارتفاع تا منطقه میان‌بند، تخریب کاهش و در ارتفاعات بالا (مناطق ییلاقی) تخریب افزایش می‌یابد. Bagheri & Shatae joibari (2010) 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 مدل 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 مقدار تخریب افزایش یافته و همچنین تخریب در اطراف روستاهای پرجمعیت بیشتر بوده است. Peterson *et al*. (2009) به مدل‌سازی تغییرات الگوی مکانی پوشش جنگلی در حوضه دریاچه بایکال در جنوب سیبری پرداختند. آنها از مدل تلفیقی CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات تحت دو سناریوی مدیریتی جنگل (دوره قبل و بعد از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی) استفاده کردند. نتایج نشان داد که برای سال ۲۰۰۱ نسبت قطع جنگل، ۷٤٪ کمتر از میزان پیش‌بینی شده در صورت ادامه سیاست‌های مدیریتی اتحاد

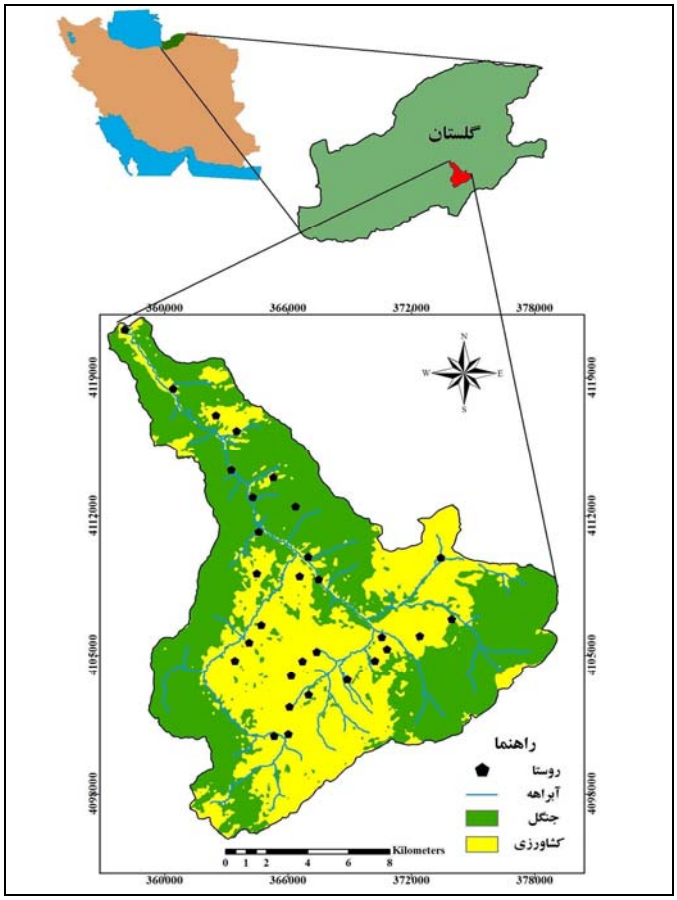
جماهیر شوروی بوده است و مساحت جنگلهای سوزنی برگ نیز ۱٤٪ بیشتر از مقدار مدل‌سازی‌شده برای این سال می‌باشد.

حوضه چهل‌چای از حوضه‌های مهم و در عین حال بحرانی از نظر تغییر کاربری اراضی و کاهش سطح عرصه‌های جنگلی در استان گلستان به‌شمار می‌رود و به همین دلیل برای بررسی بیشتر، مورد توجه مسئولان و بخش‌های تحقیقاتی قرار گرفته است. اهداف این پژوهش عبارتند از: ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی در آبخیز چهل‌چای استان گلستان، بررسی برخی عوامل مؤثر در تغییر پوشش و ارزیابی قابلیت مدل CA-Markov در پیش‌بینی تغییرات و شبیه‌سازی تغییرات آینده کاربری اراضی در این منطقه.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

آبخیز چهل‌چای از لحاظ تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان مینودشت قرارگرفته است. براساس اطلاعات طرح تفصیلی- اجرایی حوضه چهل‌چای (Anonymous, 2005)، مساحت این آبخیز برابر ۲۵٦۸۰/۵۳ هکتار می‌باشد و در بین ´۲۳ °۵۵ تا ´۳۸ °۵۵ طول شرقی و ´۵۹ °۳٦ تا ´۱۳ °۳۷ عرض شمالی واقع شده است. میزان متوسط بارندگی سالانه منطقه برابر ۷٦٦/۵ میلی‌متر است. سطح این حوضه را جنگل و اراضی زراعی پوشانده است. شکل۱ موقعیت آبخیز چهل‌چای را در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد.



شکل۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز چهل‌چای در ایران و استان گلستان

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های زیر استفاده گردید: تصویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ به شماره گذر و ردیف ۳٤-۱٦۲ مربوط به تاریخ ۲۳ ژوئن سال ۱۹۸۷، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۱ آبخیز چهل‌چای (تهیه شده توسط اداره منابع طبیعی استان گلستان)، تصویر سنجنده +ETM ماهواره لندست ۷ به شماره گذر و ردیف ۳٤-۱٦۲ مربوط به تاریخ ۱٦ جولای سال ۲۰۰۹ و نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی منطقه. داده‌های ماهواره‌ای به فرمت GeoTIFF در هفت باند طیفی تهیه شدند که از باند ٦ به‌دلیل اندازه تفکیک مکانی بالا (٦۰ متر) و عدم پرداختن به ویژگیهای حرارتی پدیده‌ها در این تحقیق، استفاده نشد.

پردازش تصاویر و تهیه نقشه تغییرات پوشش جنگلی

یکی از راه‌های تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فرایند طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد. در این تحقیق با بررسی نقشه‌هایی که قبلاً تهیه شده‌اند و انجام بازدیدهای میدانی مشخص گردید که کاربریهای عمده آبخیز چهل‌چای جنگل و کشاورزی می‌باشند. بنابراین در تهیه نقشه کاربری اراضی برای آبخیز این دو طبقه در نظر گرفته شد. ابتدا به تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای اقدام گردید. سپس به‌دلیل کوهستانی بودن منطقه، همچنین به‌منظور تأکید بر دقت زیاد هندسی تصاویر، روش تصحیح هندسی ارتو با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و انتخاب ۲۵ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب در سطح حوضه بکار گرفته شد و تصاویر با دقت بالایی (RMSE < 12m) تصحیح گردید. به‌منظور کنترل نهایی دقت هندسی تصاویر، خطوط رقومی مربوط به جاده‌ها و شبکه آبراهه از نقشه‌های رقومی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ بر روی تصاویر انداخته شد که انطباق دقیق جاده‌ها و آبراهه‌ها در روی تصاویر با خطوط وکتوری نشان‌دهنده دقت بالای تصحیح هندسیِ انجام شده بود. پس از تصحیح هندسی و پیش پردازش‌های اولیه، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سالهای ۱۹۸۷ و ۲۰۰۹ با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر درستنمایی (Maximum likelihood) طبقه‌بندی گردید، سپس میزان صحت نقشه‌های تهیه شده، با مقایسه نقشه‌ها با اطلاعات واقعیت زمینی و تجزیه و تحلیل ماتریس خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده از تصاویر سال ۱۹۸۷ و ۲۰۰۹ به‌ترتیب با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۷۳ و انجام عملیات میدانی (زمان عملیات: مهر و آبان سال ۱۳۸۸) انجام شد. نقشه‌های واقعیت زمینی به‌روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی تهیه شدند و تعداد نقاط نمونه‌برداری برای هر طبقه کاربری، با استفاده از توزیع دوجمله‌ای (یا تقریب توزیع دوجمله‌ای با توزیع نرمال) بدست آمد (Congalton, 1991). به‌منظور ایجاد نقشه‌ای که نشان‌دهنده موقعیت مکانی تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی سالهای ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱ باشد از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی (Post classification comparison) استفاده شد. بدین ترتیب، تصویر نقاط تغییر پوشش با مقایسه پیکسل به پیکسل و دسته‌بندی مجدد پیکسل‌هایی که در سال ۱۹۸۷ مربوط به کاربری خاصی بوده‌اند و در سال ۲۰۰۱ به کاربری دیگری تغییر یافتند، تهیه شد.

مدل زنجیره مارکف

زنجیره مارکف، دنباله‌ای از فرایندهای تصادفی است که در آن نتیجه هر فرایند در هر زمان، تنها به نتیجه فرایند در زمان مجاور آن بستگی دارد (Norris, 1997). هر زنجیره مارکف به‌وسیله تعدادی از وضعیت‌ها (States) و احتمالات تغییر بین وضعیت‌ها (Transition probabilities) مشخص می‌شود. فرایند تصادفی

$X=[X_t, t\in N]$ یک زنجیره مارکف نامیده می‌شود، اگر برای هر $t\in N$ و $j\in S$ (که در آن، S یک مجموعه قابل شمارش است)، شرط زیر صادق باشد (Hakimipoor, 1997):

$$P[X_{t+1}=j|X_1=j_1, X_2=j_2,\ldots, X_t=j_t]=P[X_{t+1}=j|X_t=j_t]$$

در عبارت فوق، P احتمال شرطی است و بیان می‌کند که نتیجه هر فرایند در زمان t+1 تنها به شرایط در زمان t بستگی دارد. احتمال شرطی P_{ij}، $P[X_{t+1}=j|X_t=i]$ برای $i,j\in S$، احتمال تغییر وضعیت سیستم از حالت i به j نامیده می‌شود که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد (Hakimipoor, 1997):

$$P_{ij}=P[X_{t+1}=j|X_t=i]=\frac{N[X_t=i, X_{t+1}=j]}{N[X_t=i]}$$

در رابطه فوق $N[X_t=i, X_{t+1}=j]$، تعداد تغییرات از وضعیت i به وضعیت j و $N[X_t=i]$ تعداد کل دوره‌های قرار گرفته در وضعیت i می‌باشد. معمولاً P_{ij} را با توجه به وضعیت‌های یک سیستم با یک آرایش مربعی مرتب می‌کنند و نتیجه آن ماتریس مربع P است که ماتریس تغییر وضعیت زنجیره مارکف X نامیده می‌شود:

$$P=\begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 0 & 1 & 2 & \ldots & n \end{array} \\ \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \ldots & P_{0n} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \ldots & P_{1n} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & \ldots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n0} & P_{n1} & P_{n2} & \ldots & P_{nn} \end{bmatrix} \end{array}$$

مدل‌های مبتنی بر زنجیره مارکف قادرند اطلاعات پیچیده را در قالب ماتریس تغییر وضعیت گردآوری کنند. از این‌رو با کمک زنجیره مارکف می‌توان سیستم‌های بسیار پیچیده و مرکب را که در آن فرایندهای زیربنایی قابل شناسایی نیستند مدل‌سازی نمود (Balzter, 2000). در مطالعات تغییر کاربری اراضی روش مارکف این امکان را فراهم می‌آورد تا توزیع مساحتی کاربری زمین در انتهای یک دورهٔ زمانی را با استفاده از توزیع کاربری در ابتدای دوره و همچنین یک ماتریس تغییر وضعیت که نشان‌دهندهٔ تغییرات کاربریها در طول دورهٔ زمانی مورد نظر است پیش‌بینی نمود. ماتریس احتمال تغییر کاربریها با توجه به تغییرات مشاهده شده در گذشته محاسبه می‌گردد و در پیش‌بینی تغییرات کاربری برای آینده بکار می‌رود (Brown *et al*., 2000).

مدل سلول‌های خودکار

سلول‌های خودکار (اتوماتای سلولی) مدل‌های دینامیک گسسته‌ای هستند که در شبیه‌سازی گستره وسیعی از فرایندهای طبیعی و انسانی کاربرد دارند. مفاهیم سلول‌های خودکار بر پایه تئوری پیچیدگی بنا نهاده شده است و در آن چندین مؤلفه ساده برای ایجاد الگوهای پیچیده با هم همکاری می‌کنند. در مدل سلول‌های خودکار، فضا به صورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود؛ هر سلول یک اتوماتون با حالت‌های محدود می‌باشد و می‌تواند $k>1$ مقدار مختلف به خود بگیرد. سلول‌های اتوماتای سلولی در زمان‌های گسسته به‌طور همزمان و برطبق یک قانون محلی به‌هنگام می‌شوند. مقدار هر سلول براساس مقادیر سلول-های همسایه و خود آن سلول تعیین می‌گردد. اجزای

روش CA شامل چهار مؤلفه L، S، N و F می‌باشد. مؤلفه L مربوط به شبکه سلولی است که این شبکه از سلول‌های منفرد تشکیل شده و اجزای آن می‌توانند هر شکل هندسی داشته باشند ولی مهمترین و پرکاربردترین شکل آن شبکه مربعی معمولی است. مؤلفه S یک مجموعه متناهی از مقادیر منتسب به سلول‌ها است که این مقادیر بیانگر وضعیت سلول‌ها در یک زمان خاص می‌باشد (مثلاً طبقات مختلف نقشه کاربری در یک سال معین). مؤلفه N مجموعه‌ای از سلول‌های همسایه تاثیرگذار بر سلول مورد بررسی می‌باشد. مؤلفه آخر یعنی F بیانگر تابع انتقال وضعیت است. این مؤلفه، وضعیت سلول‌ها را قبل و بعد از به‌هنگام شدن با توجه به شرایط همسایگی تعیین می‌کند (Azarmehr *et al*., 2010).

مدل CA-Markov

مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکف و تخصیص چندمنظوره اراضی (Multi-Objective Land Allocation (MOLA)) است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی بکار می‌رود. در ابتدا با بکارگیری مدل زنجیره مارکف احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربریها و بر مبنای تغییرات مساحتی به‌وقوع پیوسته بین زمان t_0 و t_1 محاسبه می‌گردد. خروجی مدل مارکف (ماتریس تغییر وضعیت کاربریها) به‌لحاظ ماهیت غیرمکانی است، یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربریهای زمین وجود ندارد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربریها (نقشه پوشش و کاربری اراضی) در زمان t+1 تکنیک سلول‌های خودکار به‌همراه این مدل بکار گرفته می‌شود. بدین صورت که نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه-های شایستگی تبدیل (Transision suitability maps) پوشش و کاربری با اعمال فیلتر مجاورت (Contiguity filter) و طی فرآیند تخصیص چندمنظوره اراضی تهیه می‌گردد (Eastman, 2006). در حقیقت مدل CA-Markov مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربریها را به مدل زنجیره مارکف اضافه می‌کند (Khoshgoftar *et al*., 2010).

در این پژوهش، مدل‌های موجود در نرم‌افزار Idrisi 32 برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در آبخیز چهل‌چای بکار گرفته شد. از نقشه‌های کاربری زمین سالهای ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ برای پیش‌بینی کاربری اراضی در سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۲۰ استفاده گردید. توضیحات بیشتر در مورد اطلاعات ورودی و مراحل اجرای مدل در ادامه ارائه شده است.

- **داده‌های کاربری زمین**: نقشه‌های کاربری زمین مربوط به سالهای ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱ برای استخراج ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربریها با استفاده از روش زنجیره مارکف مورد استفاده قرار گرفت.

- **نقشه‌های شایستگی تبدیل کاربری**: این نقشه‌ها، شایستگی تبدیل هر سلول تصویر را از یک کاربری به هر یک از کاربریهای دیگر نشان می‌دهند. مقادیر پیکسل‌های نقشه‌های شایستگی به‌صورت گسسته در دامنه صفر تا ۲۵۵ قرار دارد که عدد صفر بیانگر عدم شایستگی و عدد ۲۵۵ نشان‌دهنده حداکثر شایستگی برای تبدیل کاربری از یک طبقه به طبقات دیگر است. این نقشه‌ها، به‌صورت تجربی با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری در یک منطقه تهیه می‌شوند (Eastman, 2006) و می‌توان آنها را با رویکردهای استقرایی (مانند ارزیابی چندمعیاره) و استنتاجی (مانند رگرسیون لجستیک) تهیه نمود (Cabral & Zamyatin, 2006). در این مطالعه از رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه‌های شایستگی تبدیل کاربریها استفاده شد. در برقراری رابطه رگرسیون لجستیک، نقشه تغییرات پوشش جنگلی به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های رقومی فاصله تا حاشیه جنگل، فاصله تا جاده، فاصله تا

روستا، فاصله تا آبراهه و شیب زمین به‌عنوان متغیرهای مستقل به کار گرفته شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل رگرسیونی، ۱۰٪ درصد (۱۸٤۱۳ پیکسل) از کل پیکسل-های تصویر که به‌صورت تصادفی- سیستماتیک انتخاب شدند در برازش مدل رگرسیون لجستیک استفاده گردید، سپس مدل با دو شاخص $Pseudo\text{-}R^2$ و ROC (Relative Operating Characteristic) مورد ارزیابی قرار گرفت. $Pseudo\text{-}R^2$ مساوی با یک بیانگر برازش کامل و $Pseudo\text{-}R^2$ برابر با صفر به معنای عدم وجود رابطه معنادار بین متغیرهای مستقل و وابسته است. در مطالعات مکانی $Pseudo\text{-}R^2$ بزرگتر از ۰/۲ را می‌توان نشانگر یک برازش نسبتا خوب دانست (Clark & Hosking, 1986). شاخص ROC از روی منحنی ROC محاسبه می‌گردد. هنگامی که بین دو نقشه تطابق کامل وجود داشته باشد شاخص ROC برابر با یک خواهد بود و در مواردی که تطابق مکانی نقشه‌ها کاملاً تصادفی باشد مقدار ROC برابر با ۰/۵ می‌شود (Pontius & Schneider, 2001).

- فیلتر سلول‌های خودکار برای تغییر وضعیت سلول‌ها براساس همسایگی آنها: هدف از اعمال این فیلتر، وزن‌دهی سلول‌های نقشه‌های شایستگی بر مبنای فاصله آنها از کاربری فعلی است. فیلتر سلول‌های خودکار به‌صورت یک پنجره متحرک بر 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 آنها از کاربری فعلی به‌هنگام نمود. در این تحقیق فیلترهایی با اندازه‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و در نهایت از فیلتر مجاورت ۵×۵ استفاده شد.

- تعداد تکرار اجرای مدل سلول‌های خودکار برای پیش‌بینی کاربری زمین در سال مورد نظر: تعداد تکرار برابر با تعداد دوره‌های زمانی (سالهای) بین آغاز و پایان پیش‌بینی است. با در نظر گرفتن سال ۲۰۰۱ به‌عنوان سال پایه، ۸ تکرار برای پیش‌بینی کاربری زمین در سال ۲۰۰۹ و ۱۹ تکرار برای پیش‌بینی کاربری زمین در سال ۲۰۲۰ لازم است. در هر تکرار پیکسل‌های نقشه‌های شایستگی با اعمال فیلتر مجاورت با توجه به کاربری فعلی وزن‌دهی شده و مقادیر جدیدی اختیار می‌کنند. سپس فرایند MOLA برای تخصیص مکان کاربریها بر مبنای شایستگی تبدیل سرزمین به آن کاربریها و آستانه مساحتی تعیین شده توسط آنالیز زنجیره مارکف بکار گرفته می‌شود.

نتایج

بعد از پیش‌پردازش و انجام تصحیحات اولیه، برای تهیه نقشه پوشش جنگلی در سالهای ۱۹۸۷ و ۲۰۰۹ تصاویر ماهواره‌ای مربوط به این سالها مورد طبقه‌بندی قرار گرفت. مشخصه‌های آماری ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده، در جدول۱ ارائه شده‌اند.

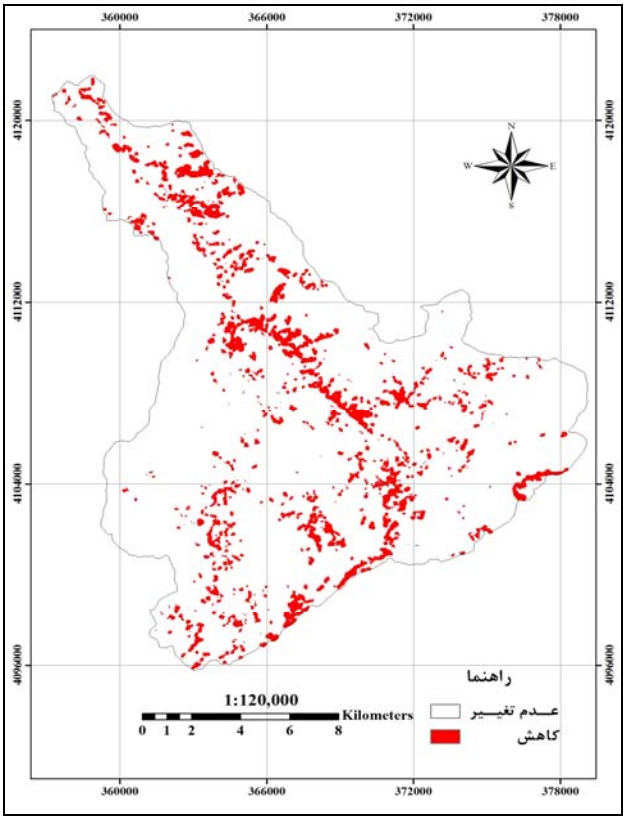
جدول۱- نتایج ارزیابی صحتِ نقشه‌های کاربری حاصل از طبقه‌بندی تصاویر

نوع و سال تصویر	طبقه پوشش	صحت کاربر	صحت تولید کننده	خطای تداخل	خطای حذف	صحت کلی	ضریب کاپا
TM 1987	جنگل	۰/۸۸	۰/۸٤	۰/۱۲	۰/۱٦	۰/۸٤	۰/۷۹
	غیر جنگل	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۱۷	۰/۱۲		
ETM+ 2009	جنگل	۱	۰/۹	۰	۰/۱	۰/۹۵	۰/۸۹
	غیر جنگل	۰/۸۹	۱	۰/۱۱	۰		

نتایج طبقه‌بندی تصاویر نشان داد که در سال ۱۹۸۷ از کل سطح حوضه حدود ۱۵۱۲۵ هکتار را جنگل پوشانده و اراضی غیر جنگلی مساحتی حدود ۱۰۵۵۵ هکتار را تشکیل می‌دهند (جدول۲). در سال ۲۰۰۱ میلادی، مساحت اراضی جنگلی در حدود ۱٤٥۷۳ هکتار بوده است. نتایج مقایسه دو نقشه مربوط به ابتدا و انتهای دوره زمانی مورد نظر نشان داد که در طی این دوره ۱۳٤۲ هکتار (حدود ۹ درصد) از سطح عرصه‌های جنگلی منطقه کاسته شده و به میزان ۷۹۰ هکتار به سطح جنگل افزوده شده است که این افزایش به‌دلیل اجرای پروژه‌های جنگل‌کاری توسط اداره کل منابع طبیعی استان گلستان در سطح حوضه می‌باشد و البته مقداری از آن نیز به خطای طبقه‌بندی مربوط می‌شود. میزان و موقعیت مناطق کاهش پوشش جنگلی در آبخیز چهل‌چای در شکل۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشهود است، تغییرات کاربری به‌صورت پراکنده تقریباً در تمامی قسمت‌های حوضه دیده می‌شود.

جدول۲- میزان تغییرات مساحت طبقات کاربری اراضی در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱

طبقات کاربری	مساحت سال ۱۹۸۷ (هکتار)	مساحت سال ۲۰۰۱ (هکتار)	تفاضل مساحت (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به مساحت آبخیز	نرخ تغییر (هکتار در سال)
جنگل	۱۵۱۲۵/۱۷	۱٤٥۷۲/۹۱	-٥٥۲/۲٦	-۲/۱٥	-۳۹/٤٥
غیرجنگل	۱۰٥٥٥/۳٦	۱۱۱۰۷/٦۲	٥٥۲/۲٦	۲/۱٥	۳۹/٤٥
جمع	۲٥٦۸۰/٥۳	۲٥٦۸۰/٥۳	-	-	-



شکل۲- نقشه کاهش گستره پوشش جنگلی آبخیز چهل‌چای بین سالهای ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱

پس از تعیین میزان و موقعیت مناطق کاهش پوشش جنگلی، از رگرسیون لجستیک برای تعیین ارتباط برخی از عوامل مؤثر با این پدیده استفاده شد. برای ارزیابی مدل از شاخص‌های Pseudo-R^2 و ROC استفاده گردید. مقدار Pseudo-R^2 برابر ۰/۲۹۹۱ محاسبه شد، بنابراین می‌توان برازش مدل را نسبتاً خوب در نظر گرفت. میزان شاخص ROC نیز ۰/۸۹۵٤ بدست آمد که نزدیکی این عدد به یک، حکایت از قابلیت بالای مدل در تبیین تغییرات پوشش اراضی دارد. جدول۳ نتایج مدل رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد.

رابطه رگرسیونی نشان داد که متغیرهای فاصله تا حاشیه جنگل، فاصله تا جاده، فاصله تا روستا و شیب زمین با تغییر پوشش جنگلی رابطه معکوسی داشته‌اند ولی فاصله تا آبراهه رابطه مستقیمی با تغییر کاربری داشته است.

جدول۳- نتایج مدل رگرسیون لجستیک

متغیر مستقل	ضریب	p-value
فاصله تا حاشیه جنگل	-۰/۰۱۸۸	<۰/۰۰۱
شیب زمین	-۰/۰۰٦۸	۰/۰۳
فاصله تا جاده	-۰/۰۰۱۳	<۰/۰۰۱
فاصله تا روستا	-۰/۰۰۰۸٤	۰/۰۱
فاصله تا آبراهه	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰٤
عرض از مبدأ	-۰/۳۹۱	<۰/۰۰۱

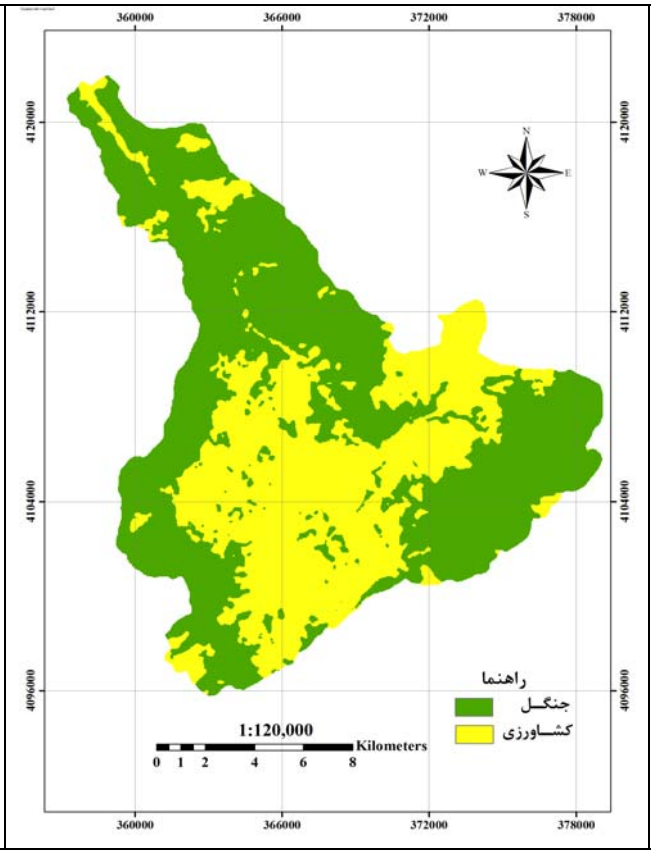
به‌منظور تعیین اهمیت متغیرهای مستقل، سعی شد هر کدام از متغیرها از رابطه رگرسیون حذف و میزان تأثیر آن بر معیارهای ارزیابی مدل مورد بررسی قرار گیرد. در این رابطه نتایج نشان داد که متغیرهای فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از جاده، فاصله تا روستا، شیب زمین و فاصله تا آبراهه به‌ترتیب بیشترین اهمیت را در ارتباط با تغییر پوشش جنگلی در آبخیز چهل‌چای داشته‌اند.

در مرحله بعد ماتریس احتمال تبدیل کاربریها با استفاده از آنالیز زنجیره مارکف بر مبنای تغییرات مشاهده شده در فاصله زمانی سالهای ۲۰۰۱-۱۹۸۷ بدست آمد (جدول٤)، سپس نقشه پوشش و کاربری اراضی سال ۲۰۰۹ با مدل CA-Markov پیش‌بینی گردید (شکل۳).

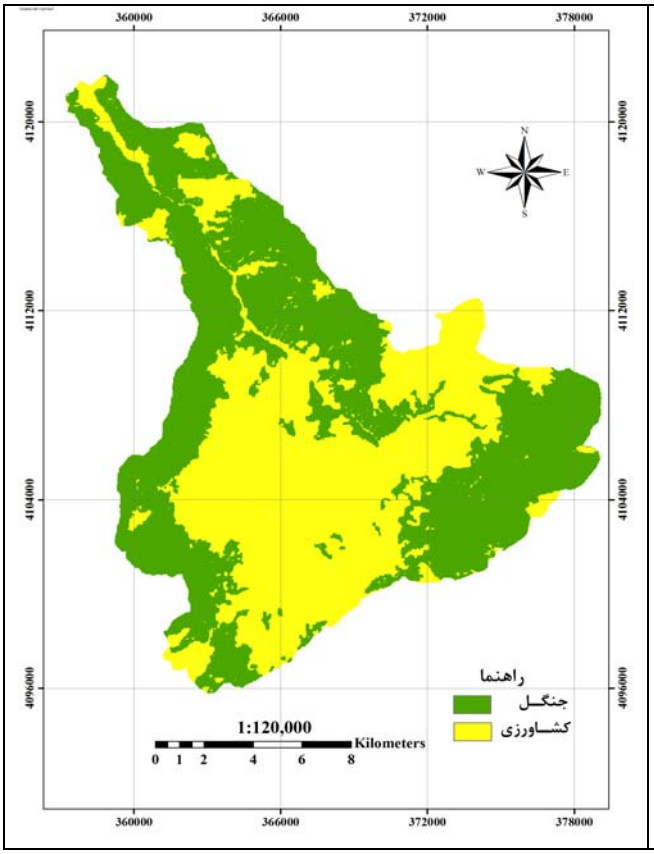
برای اعتبارسنجی مدل، نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی شبیه‌سازی شده سال ۲۰۰۹ با نقشه واقعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همان سال مورد مقایسه قرار گرفت. ضریب کاپا برابر با ۰/۹۲ محاسبه گردید که بیانگر قابلیت بالای مدل CA-Markov برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی در آبخیز چهل-چای می‌باشد.

جدول٤- ماتریس احتمال تبدیل پوشش و کاربری زمین آبخیز چهل‌چای در فاصله زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱

		سال ۲۰۰۱	
		جنگل	غیرجنگل
سال ۱۹۸۷	جنگل	۰/۷۸	۰/۲۲
	غیرجنگل	۰/۱۲	۰/۸۸



شکل۳- نقشه پوشش گیاهی/کاربری اراضی آبخیز چهل‌چای سال ۲۰۰۹



شکل٤- نقشه پوشش گیاهی/کاربری اراضی آبخیز چهل‌چای سال ۲۰۲۰

در نهایت با فرض ثابت ماندن راهبردها و سیاست‌های کنونی بهره‌برداری و مدیریت اراضی، نقشه پوشش اراضی آبخیز چهل‌چای با استفاده از مدل مورد نظر برای سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی شد (شکل٤). براساس این پیش‌بینی در سال ۲۰۲۰ مساحت کاربریهای جنگل و غیرجنگل به‌ترتیب برابر ۱۳۲۸۵ و ۱۲۳۹۵ هکتار خواهد بود.

بحث

بررسی وضعیت کاربری اراضی آبخیز چهل‌چای در دو دهه گذشته نشان می‌دهد که در طی این سالها به‌رغم اقدامات گسترده جنگل‌کاری، سطح وسیعی از جنگلهای طبیعی منطقه کاسته شده و به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. هرچند بررسی تفصیلی علل وقوع تغییرات کاربری اراضی در آبخیز چهل‌چای خارج از قلمرو این تحقیق بوده است ولی سعی شد ارتباط تعدادی از متغیر-های مؤثر، با الگوی مکانی تغییرات پوشش جنگلی در قالب رابطه رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار گیرد. رابطه متغیر فاصله تا حاشیه جنگل با متغیر وابسته یعنی تغییر پوشش جنگلی معکوس است. این بدان معناست که بیشترین تغییرات پوشش در حاشیه جنگل اتفاق افتاده است و هر چه از حاشیه جنگل دورتر شویم از میزان تغییرات کاسته می‌شود. مناطق نزدیک به جاده و مراکز مسکونی نیز به‌دلیل سهولت دسترسی، نسبت به مناطق دوردست تغییرات بیشتری را متحمل شده‌اند. موارد فوق با نتایج تحقیقات Pirbavaghar (2004) و Bagheri & Shatae Joibari (2010) مطابقت دارد. فاصله تا آبراهه رابطه مستقیمی با کاهش پوشش جنگلی داشته است یعنی با دور شدن از آبراهه‌ها تغییرات کاربری افزایش می‌یابد.

لازم به ذکر است که متغیرهای مستقل بکار رفته در رگرسیون لجستیک تنها برخی از متغیرهایی هستند که در تغییرات کاربری اراضی در آبخیز چهل‌چای نقش داشته‌اند. باید توجه داشت که متغیرهای بیوفیزیکی و اقتصادی- اجتماعی دیگری (نظیر شاخص‌های توپوگرافی، نوع خاک و جمعیت مناطق مسکونی) نیز وجود دارند که ممکن است بر تغییرات کاربری تأثیر داشته باشند، اما در این تحقیق به‌دلیل عدم دسترسی به اطلاعات کافی امکان استفاده از این متغیرها در مدل‌سازی فراهم نشد ولی در مطالعات تفصیلی‌تر متناسب با هدف تحقیق می‌توان از آنها استفاده نمود.

مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی حکایت از آن دارد که در صورت ادامه روند کنونی انتظار می‌رود که در ۱۰ سال آینده شاهد کاهش حدود ۱۱۰۰ هکتار از سطح اراضی جنگلی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی باشیم. در صورت تحقق چنین تغییراتی فرسایش خاک، رانش زمین، سیل‌خیزی و نمود شواهد بیابان‌زایی در آبخیز چهل‌چای مینودشت که در حال حاضر به‌عنوان بحرانی‌ترین آبخیز استان گلستان مورد توجه مدیران و مسئولان محلی و استانی می‌باشد به‌شدت تشدید خواهد شد.

ارزیابی میزان تطابق نقشه پیش‌بینی شده و واقعی با شاخص کاپا نشان می‌دهد که CA-Markov مدلی مناسب جهت شبیه‌سازی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی در آبخیز چهل‌چای می‌باشد و قادر است وضعیت آینده کاربری اراضی را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند. به‌رغم شبیه‌سازی نسبتاً رضایت‌بخش مدل لازم است به نکاتی مهم در کاربرد مدل نیز اشاره شود تا با رعایت آن امکان شبیه‌سازی دقیق‌تر فراهم گردد. نقشه‌های شایستگی تبدیل اراضی اثر تعیین کننده‌ای در تخصیص موقعیت مکانی کاربریها دارد از این‌رو معیارهای تعیین شایستگی و روش تهیه این نقشه‌ها، نتایج شبیه‌سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نکته دیگر اینکه، شرایط همسایگی برای طبقات نقشه کاربری توسط فیلتر مجاورت تعریف می‌شود، ولی باید در نظر داشت که ممکن است یک فیلتر خاص به خوبی معرف همبستگی مکانی (Spatial dependence) طبقات نقشه کاربری نباشد. بنابراین در مسیر تحقیقات آینده به‌منظور کاهش عدم قطعیت در نتایج مدل پیشنهاد می‌گردد که، نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی و سایر اطلاعات مکانی ورودی مدل با دقت و حساسیت بالایی تهیه شوند؛ در تهیه نقشه‌های شایستگی تبدیل اراضی فاکتورهای مهم و مؤثر در نظر گرفته شود و همچنین سایر رویکردهای تهیه این نقشه‌ها (مانند روش ارزیابی چندمعیاره) نیز مورد آزمون قرار گیرد. در تعریف روابط مکانی پیکسل‌های نقشه پوشش انواع مختلف فیلترهای همسایگی مورد آزمایش قرار گیرد.

از آنجا که نقشه‌های پوشش گیاهی و استفاده از اراضی به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزیهای مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزیهای آینده منطقه که با تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی مرتبط است مورد توجه قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

References

- Anonymous, 2005. Watershed Management and Detailed Implementation Plan for the Chehelchay Watershed. Golestan province watershed management bureau, 502 p.
- Azarmehr, M.R., Mesgary, M.S. and Karimi, M., 2010. Using GIS and CA method in spatio-temporal simulation of Malaria propagation. Proceedings of Geomatics 89 (National Conference & Exhibition), 10 p.
- Bagheri, R. and Shatae Joibari, Sh., 2010. Modeling forest areas decreases, using logistic regression (case study:

Chehl-Chay catchment, Golestan province). Iranian Journal of Forest, 2 (3): 243-252.
- Balzter, H., 2000. Markov chain models for vegetation dynamics. Ecological Modelling, 126: 139-154.
- Brown, D.G., Pijanowski, B.C. and Duh, J.D., 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. Journal of Environmental Management, 59: 247-263.
- Cabral, P. and Zamyatin, A., 2006. Three land change models for urban dynamics analysis in Sintra-Cascais area. 1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing, Humboldt-Universität zu Berlin, 2-3 March, 8 p.
- Clark, W.A. and Hosking, P.L., 1986. Statistical Methods for Geographers. New York: John Wiley & Sons, 518 p.
- Congalton, R., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 37: 35-46.
- Eastman, J.R., 2006. Idrisi for windows user's guide ver.32. Clark University, 328 p.
- Hakimipoor, A., 1997. Managerial Decision Making. The Publication of Astan Quds Razavi, 200 p.
- He, Z. and Lo, C., 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. Computers, Environment and Urban Systems, 31 (6): 667-688.
- Jensen, J.R., 2007. Remote Sensing of The Environment: An Earth Resource Perspective. Pearson Prentice Hall, 592 p.
- Khoshgoftar, M.M., Talei, M. and Malekpour, P., 2010. Spatio-temporal modeling of urban sprawl: an approach based on integrating cellular automata and Markov chains. Proceedings of Geomatics 89 (National Conference & Exhibition), 9 p.
- Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. and Scholten, H.J., 2007. Modelling Land-use Change, Progress and Applications. Netherlands, Springer, 410 p.
- Mahiny, A.S. and Turner, B.J., 2003. Modeling past change in vegetation through remote sensing and GIS: A comparison of neural networks and logistic regression methods. Proceeding of Geocomputation conference, Southampton, UK, 24 p.
- Norris, J.R. 1997. Markov Chains. Cambridge University Press, 237 p.
- Peterson, L.K., Bergen, K.M., Brown, D.G., Vashchuk, L. and Blam, Y., 2009. Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region. Forest Ecology and Management, 257: 911-922.
- Pirbavaghar, M., 2004. Investigating forest extent changes and related topographic and human factors (case study: eastern forests of Gilan). M.Sc. Thesis, University of Tehran, 136 p.
- Pontius, R.G. and Schneider, L.C., 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems & Environment, 85 (1-3): 239-248.

Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model

A. Zare Garizi [1*], V. Sheikh [2], A. Sadoddin [2] and S. Mahiny [3]

1- Corresponding author, PhD student of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran. E-mail: arash.zare86@gmail.com
2- Assistant professor, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran
3- Associate professor, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, I.R. Iran

Abstract

The importance of land-use/ land-cover (LULC) as a dynamic factor and effective on environmental conditions, makes it necessary to get precise quantitative and qualitative information from it and to identify its changes through short time periods. Modeling LULC changes provides useful information for better understanding of the changes process, determining driving forces and predicting areas under change conditions. In this study, the integrated CA-Markov model was used to simulate forest cover changes in the Chehelchay Water catchment at minodasht area of Golestan province of Iran. CA-Markov is a combined Cellular Automata/Markov chain land cover prediction procedure that adds an element of spatial contiguity to the stochastic Markov chain analysis. Landsat images of 1987 and 2009 and land-use map of 2001 were used to derive forest extent maps of the Chehelchay Water catchment and characterize changes through time. To investigate the relationships between forest extent changes and some environmental and human-related factors and to produce transition suitability maps, a logistic regression analysis was applied between forest extent changes as response variable and the deriving factors as explanatory variables. Future LULC types for 2009 were then predicted using CA–Markov model, based on the land-cover changes between 1987 and 2001. In order to evaluate the modeling results, prediction for 2009 was compared with the observed 2009 land cover map. The computed accuracy coefficient indicated high efficiency of CA-Markov for simulating forest extent changes in the Chehelchay Water catchment (Kappa = 0.92). Finally, assuming current trends in LULC changes continue, forest cover map for the year 2020 was developed. The results indicate that there will be a notable decrease in forest area.

Keywords: Forest extent changes, Logistic regression, Markov chains, Cellular Automata, the Chehelchay Watershed.