

## کاربرد رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکف در پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین شرق استان مازندران

شریف جوراییان شوشتری<sup>۱</sup>، عباس اسماعیلی ساری<sup>۲</sup>، سید محسن حسینی<sup>۳\*</sup>، مهدی غلامعلی فرد<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۳. استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۴. استادیار و بورسیه هیئت علمی گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۲/۱۵)

### چکیده

این تحقیق با هدف پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین (جنگل، کشاورزی، مناطق مسکونی و باغ) شرق استان مازندران با استفاده از رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکف در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۸۰ تغییرات کاربری سرزمین منطقه مشخص شد. پتانسیل انتقال با استفاده از رگرسیون لجستیک مدل‌سازی شد. بدین صورت که از هفت متغیر (مدل رقومی ارتفاعی، فاصله از مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی، جنگل، رودخانه و جاده و متغیر کیفی پوشش اراضی) و هفت زیرمدل (جنگل به کشاورزی، جنگل به مسکونی، جنگل به باغ، کشاورزی به مسکونی، کشاورزی به باغ، باغ به مسکونی، باغ به کشاورزی) استفاده شد. تغییرات کاربری سرزمین با استفاده از زنجیره مارکف و مدل پیش‌بینی سخت برای سال ۱۳۸۵ پیش‌بینی شد. نقشه پیش‌بینی شده با مدل با نقشه واقعیت زمینی ۱۳۸۵ صحت‌سنجی شد. درنهایت، تغییرات کاربری سرزمین برای سال ۱۳۹۲ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد، طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰، سطح چشمگیری از اراضی جنگلی و باغی کاسته شده و در مقابل به اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی افزوده شده است. مقادیر موفقیت‌خشی، موفقیت، خطا و هشدار خطا به ترتیب ۰/۱، ۸۹/۸، ۰/۱، ۹/۸ و ۰/۳ درصد و کل خطای پیش‌بینی مدل ۱۰/۱ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده پذیرفتنی بودن مدل است. همچنین، نتایج پیش‌بینی نشان داد مساحت اراضی جنگلی و کشاورزی در سال ۱۳۹۲ در مقایسه با ۱۳۸۵ کاهش و مناطق مسکونی و باغ افزایش خواهند یافت.

### واژگان کلیدی

ارزیابی صحت، پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین، رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکف، سنجش از دور.

## ۱. مقدمه

حساس‌اند و می‌توانند تغییرات پوشش سرزمین در آینده را با توجه به سناریوهای گوناگون شناسایی کنند. به‌هرحال، با توجه به قابلیت‌های روش‌های مدل‌سازی از جمله رگرسیون لجستیک، استفاده از آنها به‌تازگی رایج شده است. به‌طوری‌که Schneider و Pontius (2001) از رگرسیون لجستیک و ارزیابی چندمعیاره برای توسعه مدلی استفاده کردند که در آن موقعیت و کمیت جنگل‌زدایی در حوزه آبخیز Ipswich پیش‌بینی پذیر باشد. از تصاویر سال‌های ۱۹۷۱-۱۹۸۵ برای واسنجی و از تصاویر سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۹۱ برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. مقدار (ROC) Relative Operating Characteristic در مدل ۰/۷ و بالاترین ضریب کاپا ۰/۹۳ به‌دست آمد. مهم‌ترین متغیر نیز نزدیکی به مناطق مسکونی تشخیص داده شد. Fang و همکاران (2005) رشد شهر Peoria در آمریکا را در دوره زمانی هفت‌ساله با ترکیب رگرسیون لجستیک و سلول‌های خودکار شبیه‌سازی کردند. رگرسیون لجستیک وزن متغیرهای مؤثر در مدل را برای تهیه نقشه پیش‌بینی احتمال تغییرات کاربری سرزمین به‌دست آورد.

Wu و همکاران (2006) از ترکیب مدل رگرسیونی و مارکف برای بررسی و مدل‌سازی تغییرات کاربری سرزمین در Beijing چین استفاده کردند. نتایج آنها نشان‌دهنده رشد چشمگیر کاربری شهری و کاهش مراتع طی سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۱ بوده است. این تغییرات بیش از همه در مناطق شهری و حومه آنها رخ داده است. ضمن آنکه با استفاده از مدل‌سازی مارکوف و مدل رگرسیونی تغییرات کاربری زمین را برای دوره زمانی ۲۰ سال آینده پیش‌بینی کردند. Lo و Hu (2007) از رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی رشد در آتلانتا طی دوره زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۷ استفاده کردند و دو گروه عامل اثرگذار شامل تراکم جمعیت، دسترسی به جاده‌ها و مراکز شهری با نسبت امتیازی کوچک‌تر از یک و فاصله از مراکز بزرگ فروشگاهی، جنگل‌ها، علفزارها را با نسبت امتیازی بزرگ‌تر از یک تشخیص دادند. Oñate-Valdivieso و Sendra (2010) تغییرات کاربری سرزمین در حوزه آبخیز Catamayo Chira را با استفاده از رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی کردند. آنها از تصاویر ماهواره

مدیریت اصولی کاربری سرزمین مستلزم در اختیارداشتن اطلاعات دقیق و به‌هنگام در قالب نقشه است. با توجه به تغییرات گسترده و غیراصولی کاربری سرزمین از جمله تخریب منابع طبیعی در سال‌های اخیر، بررسی چگونگی تغییرات پوشش سرزمین طی دوره‌های زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امری ضروری است. از طرفی داده‌های ماهواره‌ای تکرارپذیر و به‌هنگام است و همچنین سطح وسیعی را پوشش می‌دهد و همین خصوصیات کاربرد آنها را افزایش داده است. در سال‌های اخیر، به‌دلیل کارایی مناسب داده‌های ماهواره‌ای و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، بررسی تغییرات کاربری سرزمین و مدل‌سازی و پیش‌بینی این تغییرات برای آینده مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. پایش تغییرات کاربری سرزمین در ارتباط با اکولوژی، جنگل‌زدایی، شهرنشینی، مدیریت پایدار منابع طبیعی، شناسایی و مدل‌سازی اثرهای تغییرات آب و هوا انجام می‌شود (Russell-Smith et al., 2003; Lo & Quattrochi, 2003; Fraser et al., 2005).

همراه با روند شهرنشینی سریع، مقدار زیادی از اراضی طبیعی مانند جنگل‌ها و تالاب‌ها به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی تبدیل شده‌اند. تغییرات سریع کاربری سرزمین تأثیرهای عمیقی روی محیط‌های طبیعی و انسانی گذاشته است. برای مثال، توسعه کشاورزی و سازه‌ها سبب جنگل‌زدایی، فرسایش خاک، تخریب حوزه آبخیز، کاهش تنوع زیستی و آلودگی می‌شود. گذشته از این، تغییرات مربوط به استفاده از زمین‌های کشاورزی و شتاب شهرنشینی به افزایش سطوح نفوذناپذیر منجر شده است که سبب توسعه شبکه حمل و نقل و تجمع آلودگی‌های غیرنقطه‌ای همراه با رواناب سطحی می‌شود. به‌واسطه این اثرهای بزرگ، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین به مبحث مهمی در مدیریت محیط‌زیست و آمایش سرزمین تبدیل شده است (Yu, et al., 2011).

مدل‌های تغییرات کاربری سرزمین ابزارهایی برای تحلیل دلایل و پیامدهای تغییرات کاربری سرزمین به‌منظور درک بهتر عملکرد سیستم‌های کاربری سرزمین، مدیریت کاربری سرزمین و شناسایی زون‌های

کردند. از نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ برای آشکارسازی تغییرات منطقه استفاده کردند. با برقراری رگرسیون لجستیک بین نقشه تغییرات پوشش به‌منزله متغیر وابسته و نقشه‌های فاصله از حاشیه جنگل، جاده، روستا، آبراهه و شیب زمین به‌مثابه متغیرهای مستقل، نقشه احتمال تغییر پوشش گیاهی را تهیه کردند. نتایج آنها نشان داد که متغیرهای فاصله از حاشیه جنگل، جاده، روستا و شیب زمین با تغییر پوشش جنگل رابطه معکوسی دارند.

از طرفی، نکا و بهشهر از جمله شهرهای صنعتی و جذاب برای گردشگران در استان مازندران‌اند، اما سیلی که در سال ۱۳۸۷ در این منطقه (نکا) آمد و سبب خسارت‌های جانی و مالی زیادی شد نشان داد که مدیریت کاربری سرزمین در این منطقه غیراصولی است و بایستی در این زمینه اصلاحات و بازبینی‌هایی صورت گیرد. Talebi Amiri و همکاران (2009) تخریب سیمای سرزمین نکا را بررسی و تحلیل کردند و نتایج آنها نشان داد، ضمن سیل خیزبودن منطقه، روند تخریب سیمای سرزمین افزایشی است. در همین راستا، این تحقیق با هدف پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین شرق استان مازندران برای سال ۱۳۹۲، با استفاده از رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکف در مدل LCM، انجام شد. استفاده از رویکرد رگرسیون لجستیک در مدل‌سازی پتانسیل انتقال و زنجیره مارکف در پیش‌بینی تغییرات و یکپارچه‌سازی آنها از مهم‌ترین جنبه‌های نوآوری تحقیق حاضر است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

نکا و بهشهر از جمله شهرهای مهم و صنعتی استان مازندران به‌شمار می‌روند و رشد و توسعه نسبتاً سریعی داشته‌اند. نکا در ۲۰ کیلومتری شرق ساری و نزدیک خلیج میانکاله واقع شده است. بهشهر از شمال با دریای خزر، از غرب با شهرستان نکا، از جنوب با شهرستان دامغان و از شرق با شهرستان گلستان هم‌جوار است. این دو شهر از نواحی جذاب برای گردشگر در استان و دارای سواحل زیبایند.

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۱۲۵۴۳ هکتار و

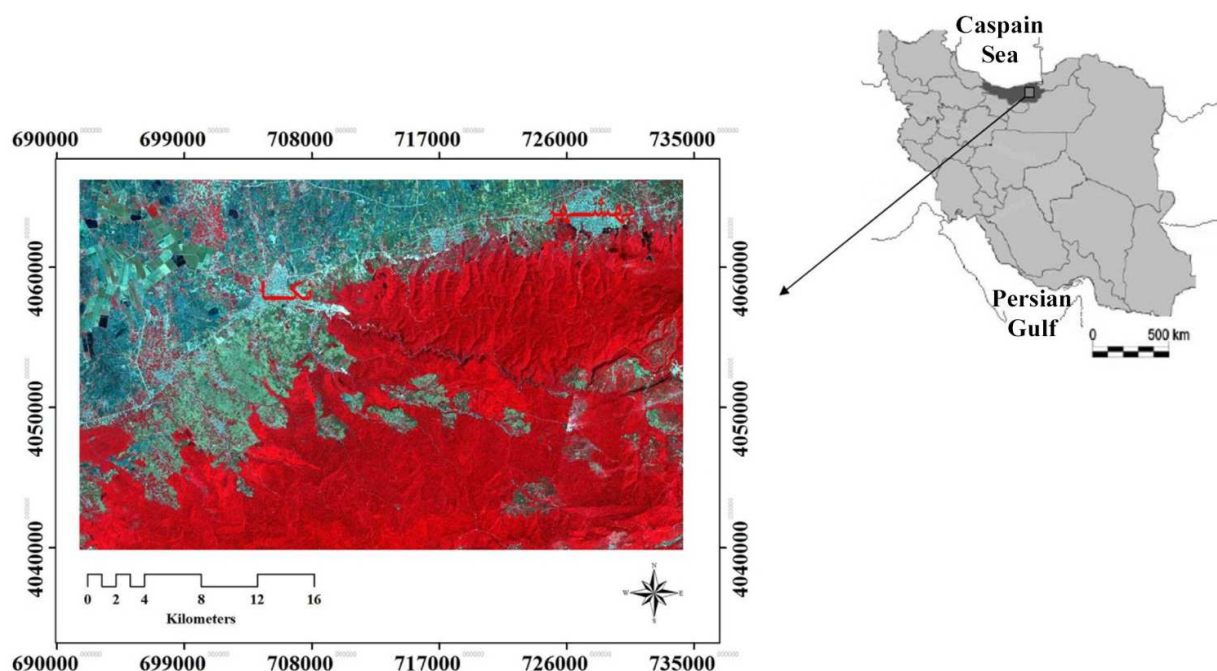
Landsat مربوط به سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۶ برای مدل‌سازی پوشش سرزمین سال ۲۰۰۱ استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده با روش رگرسیون لجستیک در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی با نقشه واقعیت زمینی سال ۲۰۰۱ مطابقت بیشتری داشت. Arsanjani و همکاران (2013) مدل‌سازی رشد توسعه شهر تهران را برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ با استفاده از مدل ترکیبی شامل رگرسیون لجستیک، مارکف و سلول‌های خودکار بررسی کردند. آنها به صحت ۸۹ درصد دست یافتند که نشان‌دهنده دقت بالای مدل بود و همچنین، بیان داشتند که رشد زیادی در دهه‌های آینده در حاشیه غربی تهران رخ خواهد داد.

Bagheri و Shataee (2010) از رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی کاهش گستره جنگل در حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان استفاده کردند. برای بررسی ارتباط مکانی کاهش جنگل با عوامل فیزیوگرافی و انسانی از رگرسیون لجستیک با متغیرهای توپوگرافی شیب، جهت، ارتفاع و متغیرهای انسانی فاصله از جاده، روستا و مقدار جمعیت استفاده کردند. ضریب ROC در این مطالعه ۰/۷۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده توافق نسبی مدل به‌دست‌آمده با نقشه کاهش گستره جنگل است.

Kamyab و همکاران (2010) توسعه شهر گرگان را طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۱، با استفاده از رگرسیون لجستیک، پیش‌بینی کردند و بیان داشتند که زمین‌های مرتعی و زراعی نقش مهمی در تبدیل به اراضی مسکونی در گرگان دارند. Goldavi (2011) برای مدل‌سازی تغییرات کاربری سرزمین در گرگان از رگرسیون لجستیک و Geomod استفاده کرد. برای این منظور، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ آشکارسازی تغییرات کاربری سرزمین منطقه را بررسی و سپس تغییرات را برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ پیش‌بینی کرد. نتایج آشکار کرد که منطقه در آینده با رشد مناطق شهری و کاهش اراضی جنگلی همراه خواهد بود. معیار کاپا نیز نشان از اجرای موفق هر دو مدل برای مدل‌سازی تغییرات کاربری سرزمین داشت. Zare Garizi و همکاران (2012) مدل‌سازی الگوی مکانی احتمال تغییر پوشش گیاهی در حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان را با استفاده از رگرسیون لجستیک بررسی

کیلومتری جنوب شرقی گرگان است که با جهت شرقی غربی از شهر نکا عبور کرده، در ۲۲ کیلومتری شمال غربی شهر نکا وارد دریای خزر می‌شود ( Gholami *et al.*, 2009). اقلیم منطقه با توجه به منحنی آمبروترمیک نیمه مرطوب معتدل و نیمه مرطوب سرد است (Talebi Amiri *et al.*, 2009). کمترین ارتفاع منطقه ۱۲- متر و بیشترین آن ۱۲۸۳ متر بالای سطح دریا است.

با مختصات جغرافیایی ۵۳° ۸' تا ۵۳° ۳۶' طول شرقی و ۳۶° ۲۹' تا ۳۶° ۴۳' عرض شمالی در شرق استان مازندران قرار گرفته است (شکل ۱). کاربری‌های موجود در منطقه شامل جنگل‌های هیرکانی، رودخانه نکا، زمین‌های کشاورزی، باغ و مسکونی است. رودخانه نکا یکی از رودخانه‌های مهم و پرآب استان مازندران است و سرآغاز این رودخانه از کوه بزرگی در ۳۶



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و تصویر ترکیب رنگی کاذب منطقه

تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شوند ( Eastman, 2006). برای این مرحله با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده سازمان نقشه برداری کشور (<http://www.ncc.org.ir>) نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شدند (Rafiee *et al.*, 2009). چهار کلاس کاربری سرزمین در منطقه تعریف شدند: جنگل پهن برگ، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغ. سپس نمونه‌های تعلیمی به شیوه رقومی کردن روی صفحه رقومی شدند. در مرحله دوم، نمونه‌های تعلیمی تفکیک شدند و مرحله سوم طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است (Eastman, 2006) که از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شد (Schulz *et al.*, 2010). در نهایت، برای حذف قطعات کوچک و ساده‌سازی تصاویر حاصل از طبقه‌بندی‌ها از فیلتر مد (Mode) استفاده شد.

## ۱.۲. تولید نقشه‌های پوشش سرزمین

در این تحقیق برای تهیه نقشه‌های پوشش سرزمین منطقه از تصاویر ماهواره Landsat سنجنده‌های TM (۲۴ خرداد ۱۳۶۶) و ETM+ (۸ مرداد ۱۳۸۰ و ۷ شهریور ۱۳۸۵) استفاده شد (جدول ۱). از آنجاکه تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد ولی نمایش داده‌های حاصل از اسکنرها در تک‌باندها با استفاده از گام‌های خاکستری ( Gray Level) است، تصویر رنگی کاذب (False Color) هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲۳۴ تولید شد (Khoi & Murayama, 2010). از روش طبقه‌بندی نظارت شده برای تهیه نقشه‌های پوشش سرزمین استفاده شد. اولین گام در انجام دادن یک طبقه‌بندی نظارت شده تعریف مناطقی است که به مثابه نمونه‌های

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در تحقیق

فرمت	تعداد باندها	اندازه پیکسل	ماهواره	سنجنده	تاریخ
TIFF	۷	۳۰	Landsat-5	TM	۱۳۶۶/۳/۲۴
TIFF	۸	۲۸/۵	Landsat-7	ETM+	۱۳۸۰/۵/۸
TIFF	۸	۲۸/۵	Landsat-7	ETM+	۱۳۸۵/۶/۷

مرحله هفت زیرمدل برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از رگرسیون لجستیک در نظر گرفته شدند. زیرمدل‌ها عبارت‌اند از: جنگل به اراضی کشاورزی، جنگل به مناطق مسکونی، جنگل به باغ، اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی، کشاورزی به باغ، باغ به مناطق مسکونی و باغ به اراضی کشاورزی. متغیرهای استفاده‌شده در مدل عبارت‌اند از: مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، فاصله از مناطق مسکونی در ۱۳۶۶، فاصله از زمین‌های کشاورزی در ۱۳۶۶، فاصله از جنگل در ۱۳۶۶، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و متغیر کیفی پوشش اراضی. تمام متغیرهای بالا کمی‌اند و برای استفاده از متغیر کیفی در مدل از روش زیر استفاده شد. نقشه انتقال از کل کاربری‌ها (All) به مناطق مسکونی، کشاورزی و باغ از ۱۳۶۶ به ۱۳۸۰ تولید شد. سپس با استفاده از ابزار تغییر شکل Evidence Likelihood و نقشه پوشش سرزمین سال ۱۳۶۶ متغیرهای کیفی تولید شدند (Eastman, 2006). متغیرهای فاصله از مناطق مسکونی و جاده‌ها متغیرهای پویا در نظر گرفته شدند و مجدداً در پنج مرحله محاسبه شدند. خروجی این قسمت یک نقشه پتانسیل تغییرات برای هر تغییر- به‌مثابه بیانی از پتانسیل وابسته به زمان برای تغییرات- بود. همچنین، جدولی را به‌دست می‌دهد که شامل ضرایب تمام متغیرها و مقدار Relative Operating Characteristic (ROC) است. مقدار ROC بین ۰/۵-۱ است و همبستگی بین انتقال‌ها و متغیرها را نشان می‌دهد (Oñate-Valdivieso & Sendra, 2010).

#### ۵.۲. پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین

احتمال انتقال محاسبه‌شده از هر کاربری به کاربری دیگر با استفاده از زنجیره مارکف محاسبه شد. در مدل مارکف حالت سیستم در زمان ۲ می‌تواند براساس حالت سیستم در زمان ۱ پیش‌بینی شود و در نتیجه آن ماتریس احتمالات انتقال به‌مثابه پایه مدل‌سازی

#### ۲.۲. ارزیابی صحت نقشه‌های پوشش سرزمین

صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با استفاده از ماتریس خطا ارزیابی شد (Congalton, 1991; Foody, 2002). ۲۳۰ نقطه با استفاده از GPS و بازدید از منطقه به‌دست آمدند. صحت نقشه‌های تولیدشده پوشش سرزمین سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ با تفسیر تصاویر ترکیب رنگی کاذب و مناطقی که طی زمان تغییر نکرده بودند ارزیابی شدند (به‌ترتیب ۲۰۱، ۲۰۴ و ۲۲۲ نقطه واقعیت زمینی). سپس ضرایب کاپا در هر طبقه، کاپای کلی و خطای Commission و Omission محاسبه شدند (Yuan et al, 2005).

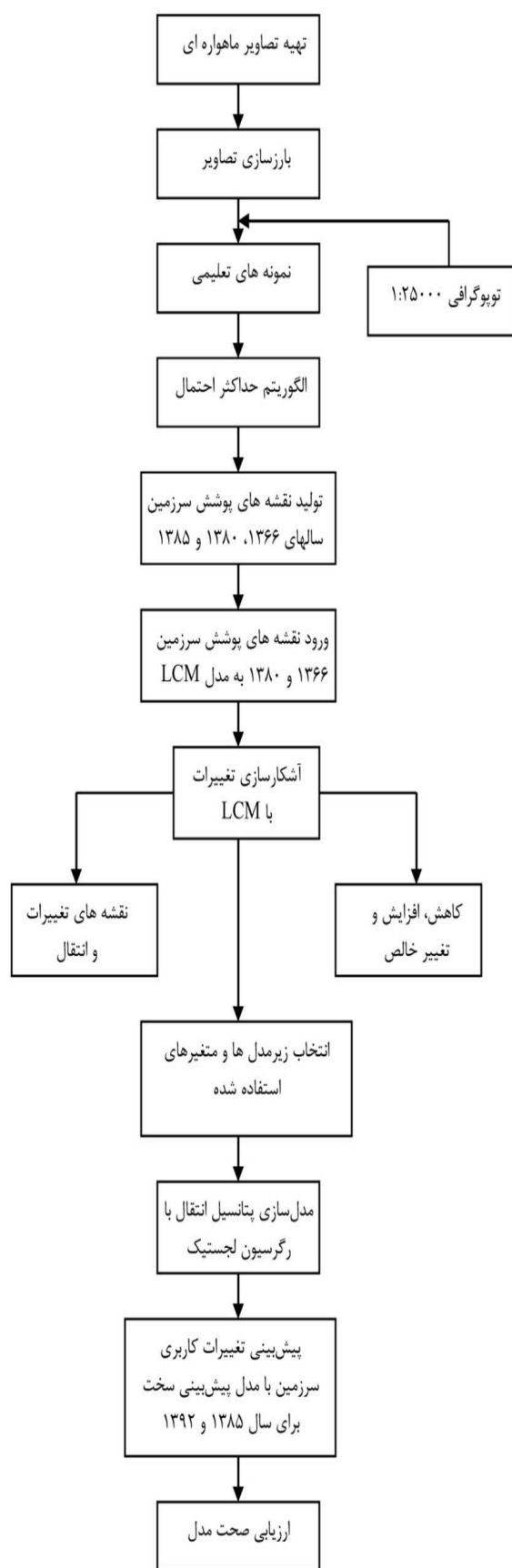
#### ۳.۲. آشکارسازی تغییرات با استفاده از LCM

در این تحقیق، نقشه‌های پوشش سرزمین تولیدشده سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰ به‌مثابه ورودی مدل (Land Change Modeler) برای تحلیل تغییرات منطقه و پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین سال ۱۳۸۵ انتخاب شدند. مدل LCM به دو نقشه پوشش سرزمین متعلق به زمان‌های گوناگون به‌مثابه ورودی نیاز دارد (Kim, 2010).

در این تحقیق، کاهش‌ها و افزایش‌ها در هر کاربری (Gain and Losses)، تغییر خالص (Net Change)، مناطق بدون تغییر (Persistence) و تغییرات ویژه (Exchange)، انتقال (Transition) از هر کاربری به کاربری دیگر در طبقات گوناگون پوشش سرزمین به‌صورت نقشه و نمودار با قسمت آنالیز تغییرات مدل ارزیابی شد (تمام خروجی‌های این مرحله رستری‌اند) (Václavík & Rogan, 2009).

#### ۴.۲. مدل‌سازی پتانسیل انتقال

برای انتخاب زیرمدل‌هایی که بالاترین صحت را داشته باشد، ضروری است که مدل چندین مرتبه با سناریوهای گوناگون اجرا شود. بعد از انجام دادن این



شکل ۲. مراحل انجام دادن تحقیق

پیش بینی تغییر کاربری سرزمین ارائه شود ( Eastman, 2006). سپس مدل سازی برای سال ۱۳۸۵ با استفاده از مدل پیش بینی سخت (Hard Prediction) اجرا شد (Eastman, 2006; Khoi & Murayama, 2010). در نهایت، برای پیش بینی تغییرات پوشش سرزمین سال ۱۳۹۲ از نقشه های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ استفاده شد.

### ۶.۲. صحت مدل

خطا و صحت پیش بینی مدل براساس نقشه های پوشش سرزمین ۱۳۸۰ واقعیت زمینی، ۱۳۸۵ واقعیت زمینی و ۱۳۸۵ حاصل از پیش بینی محاسبه شد. نقشه خروجی تولید شده شامل چهار نوع پیکسل است: موفقیت خنثی (Null Success) (صحیح به علت اینکه نقشه واقعیت زمینی و نقشه پیش بینی شده ثابت بوده)، موفقیت (Hit) (صحیح به علت اینکه نقشه واقعیت زمینی و نقشه پیش بینی شده تغییر کرده)، خطا (Miss) (خطا به علت اینکه نقشه واقعیت زمینی تغییر کرده و نقشه پیش بینی شده ثابت مانده) و هشدار خطا (False Alarm) (خطا به علت اینکه نقشه واقعیت زمینی ثابت بوده و نقشه پیش بینی شده تغییر کرده). کل خطای پیش بینی مدل از مجموع خطا و هشدار خطا محاسبه شد (Chen & Jr Pontius, 2010). مراحل اجرای کار در شکل ۲ نشان داده شده است.

### ۳. نتایج

#### ۱.۳. نقشه های پوشش سرزمین

طبقه بندی تصاویر با استفاده از طبقه بندی کننده حداکثر احتمال (Maximum Likelihood) نشان داد چهار طبقه کاربری اراضی شامل جنگل، اراضی کشاورزی، اراضی مسکونی و باغ در منطقه مورد مطالعه وجود دارد.

#### ۲.۳. ارزیابی صحت نقشه های پوشش سرزمین

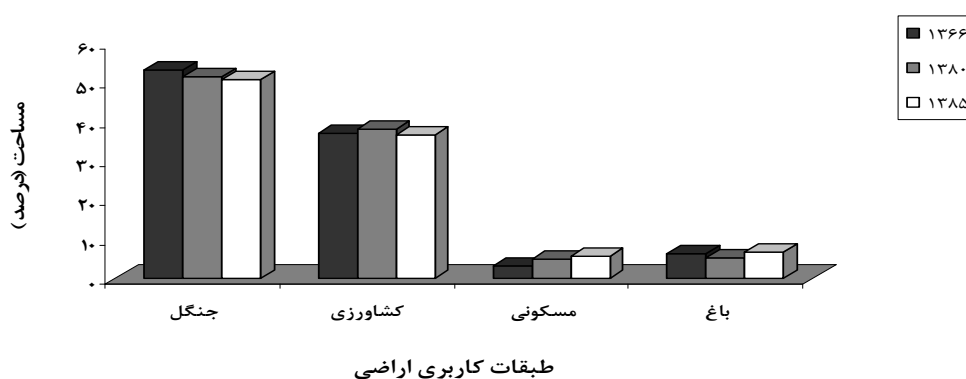
برای تعیین ارزیابی صحت، نقشه های تولید شده با داده های واقعیت زمینی مقایسه و نتایج ماتریس خطا به صورت جدول ۲-۴ حاصل شد. کاپای کلی در نقشه های طبقه بندی شده سال های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۸۹/۲ درصد، ۸۶/۲ درصد و ۸۵/۶ درصد به دست آمد (جدول ۲).

در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳.۳. آشکارسازی تغییرات با استفاده از LCM  
نتایج نشان داد که کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه دچار تغییرات چشمگیری شده‌اند. مساحت هر کاربری

جدول ۲. ماتریس خطای نقشه‌های پوشش اراضی

کاپا	خطای Commission	داده‌های واقعیت زمینی					
		جنگل	کشاورزی	مسکونی	باغ		
نقشه طبقه‌بندی شده ۱۳۶۶	جنگل	۶۸	۲	۰	۰	۰/۰۲	۰/۹۳
	کشاورزی	۱	۳۹	۴	۰	۰/۱۱	۰/۷۶
	مسکونی	۰	۵	۴۳	۰	۰/۱۰	۰/۸۸
	باغ	۲	۲	۰	۳۵	۰/۱۰	۱/۰۰
خطای Omission		۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۰		
کاپای کلی				۰/۸۹			
نقشه طبقه‌بندی شده ۱۳۸۰	جنگل	۵۳	۰	۱	۰	۰/۰۱	۰/۷۳
	کشاورزی	۵	۴۲	۰	۲	۰/۱۴	۰/۸۶
	مسکونی	۰	۱	۵۲	۰	۰/۰۱	۰/۹۷
	باغ	۸	۴	۰	۳۶	۰/۲۵	۰/۹۳
خطای Omission		۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۵		
کاپای کلی				۰/۸۶			
نقشه طبقه‌بندی شده ۱۳۸۵	جنگل	۸۴	۲	۰	۰	۰/۰۲	۰/۸۹
	کشاورزی	۳	۴۳	۷	۵	۰/۲۵	۰/۸۵
	مسکونی	۰	۰	۳۳	۰	۰/۰۰	۰/۷۹
	باغ	۳	۳	۰	۳۹	۰/۱۳	۰/۸۵
خطای Omission		۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۱۱		
کاپای کلی				۰/۸۵			



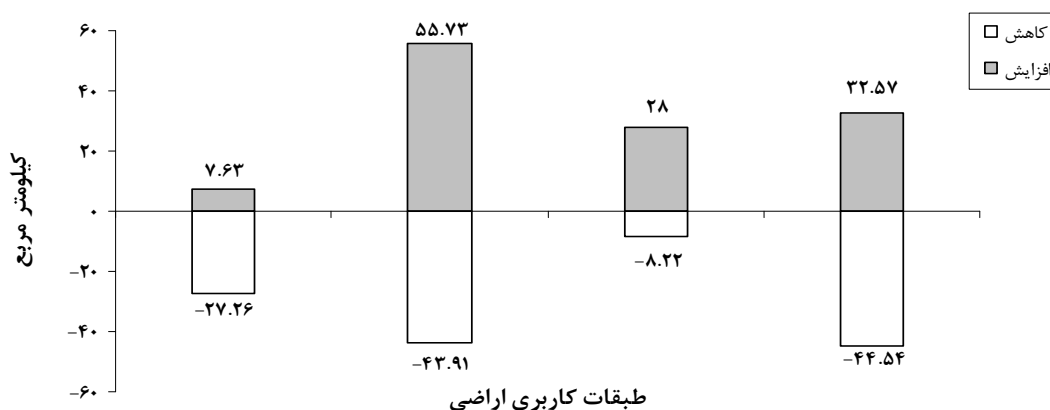
شکل ۳. مساحت هر کاربری به درصد در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵

طی این دوره ۱۱۹۷ هکتار کاهش نشان دادند. طی این دوره، مقدار تغییر خالص از جنگل به اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغ به ترتیب ۱۰۰۹، ۴۲ و ۹۱۲ هکتار بوده است. مقدار تغییر خالص از اراضی کشاورزی و باغ

طی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۰، ۱۹۶۴ هکتار از وسعت جنگل کاسته شده است. به ترتیب ۱۱۸۲ و ۱۹۷۸ هکتار به وسعت اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی بین ۱۳۶۶-۱۳۸۰ اضافه شده است. باغ‌ها نیز

می‌دهد، اراضی جنگلی ۷۰۰ هکتار افزایش و ۲۷۰۰ هکتار کاهش داشته‌اند. ماتریس انتقال که مقدار انتقال از یک کاربری به نوع دیگر را طی این دوره نشان می‌دهد در جدول ۳ آورده شده است.

به مناطق مسکونی و توسعه یافته نیز به ترتیب ۱۴۳۰ و ۵۰۶ هکتار بوده است. ۱۶۰۲ هکتار نیز مقدار تغییر خالص از باغ به اراضی کشاورزی بوده است. مطابق شکل ۴، که کاهش و افزایش در کاربری‌های گوناگون را نشان



شکل ۴. کاهش و افزایش در کاربری‌ها (به ترتیب از چپ به راست: جنگل، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و باغ) برحسب کیلومتر مربع بین ۱۳۶۶-۱۳۸۰

جدول ۳. ماتریس انتقال بین ۱۳۶۶-۱۳۸۰ (هکتار)

۱۳۶۶-۱۳۸۰	۱۳۸۰			
۱۳۶۶	جنگل	اراضی کشاورزی	مناطق مسکونی	باغ
جنگل	۵۷۲۸۹/۸	۱۵۳۸/۳	۵۴/۵	۱۱۳۳/۲
اراضی کشاورزی	۵۲۹	۳۷۳۶۴/۳	۱۹۸۸/۴	۱۸۷۳/۶
مناطق مسکونی	۱۲/۲	۵۵۸/۸	۲۸۴۲/۳	۲۵۰/۶
باغ	۲۲۱/۳	۳۴۷۵/۹	۷۵۷	۲۷۰۲/۲

همبستگی بین انتقال‌ها و متغیرها در دامنه ۰/۸۹-۰/۹۹ به دست آمد که نشان‌دهنده ارتباط بالا بین انتقال‌ها و متغیرهاست.

#### ۴.۳. مدل‌سازی پتانسیل انتقال

نتایج مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌های گوناگون به یکدیگر با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابق این جدول،

جدول ۴. نتایج رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی پتانسیل انتقال در مدل LCM

زیرمدل	مقدار ROC
از جنگل به کشاورزی	۰/۹۷
از جنگل به مسکونی	۰/۹۳
از جنگل به باغ	۰/۹۳
از کشاورزی به باغ	۰/۸۹
از کشاورزی به مسکونی	۰/۹۳
از باغ به مسکونی	۰/۹۴
از باغ به کشاورزی	۰/۹۹



را از نقشه واقعی زمینی این سال نشان دادند. باغ نیز بین سایر کاربری‌ها بیشترین اختلاف را با نقشه واقعی زمینی سال ۱۳۸۵ داشت.

نتایج مدل‌سازی برای سال ۱۳۹۲ نشان داد مساحت کاربری جنگل و اراضی کشاورزی در این سال در مقایسه با سال ۱۳۸۵ کاهش (به ترتیب ۵۱ و ۷۰ هکتار) و کاربری مسکونی و باغ افزایش (به ترتیب ۳۲ و ۹۰ هکتار) خواهند یافت. مساحت هر کاربری به درصد نیز در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین، نقشه پیش‌بینی شده پوشش سرزمین سال ۱۳۹۲ در شکل ۷ نشان داده شده است.

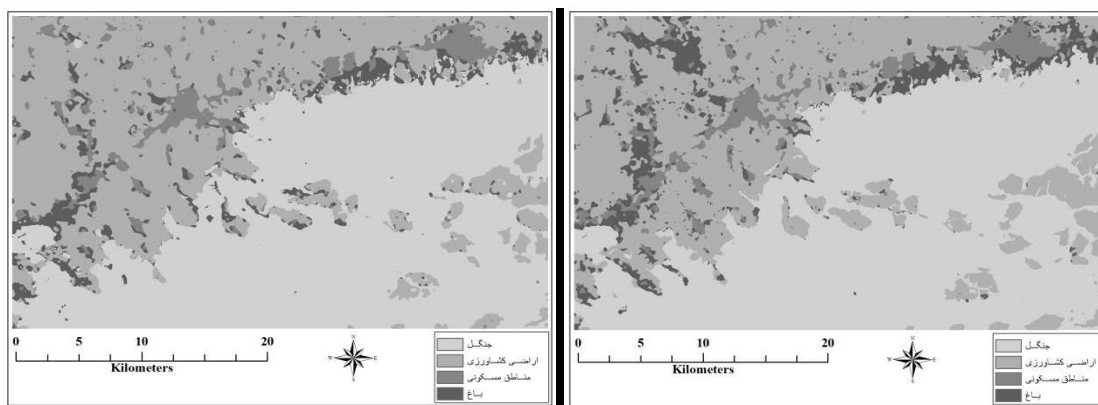
### ۵.۳. پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین

احتمال انتقال از یک کاربری در سال ۱۳۸۰ به نوع دیگر در سال ۱۳۸۵ با زنجیره مارکف محاسبه شد. بیشترین احتمال انتقال از جنگل به باغ، اراضی کشاورزی به باغ و باغ به اراضی کشاورزی بود (جدول ۵).

نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۸۵ با استفاده از تغییرات رخ داده طی سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۸۰ به دست آمده است. در شکل ۵ نقشه مدل‌سازی شده با نقشه واقعی زمینی سال ۱۳۸۵ مقایسه شده است. در نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۸۵ کاربری جنگل و کشاورزی وسعت بیشتری و مناطق مسکونی و باغ وسعت کمتری

جدول ۵. احتمال انتقال محاسبه شده با زنجیره مارکف

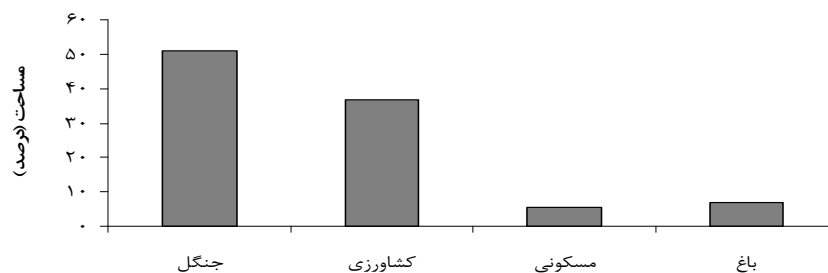
	۱۳۸۵			
۱۳۸۰	جنگل	اراضی کشاورزی	مناطق مسکونی	باغ
جنگل	۰/۹۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰	۰/۰۱
اراضی کشاورزی	۰/۰۰۴	۰/۹۴	۰/۰۱	۰/۰۲
مناطق مسکونی	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۹۰	۰/۰۴
باغ	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۵۸



(ب)

(الف)

شکل ۵. نقشه واقعی سال ۱۳۸۵ (الف) در مقایسه با نقشه پیش‌بینی شده با رگرسیون لجستیک (ب)

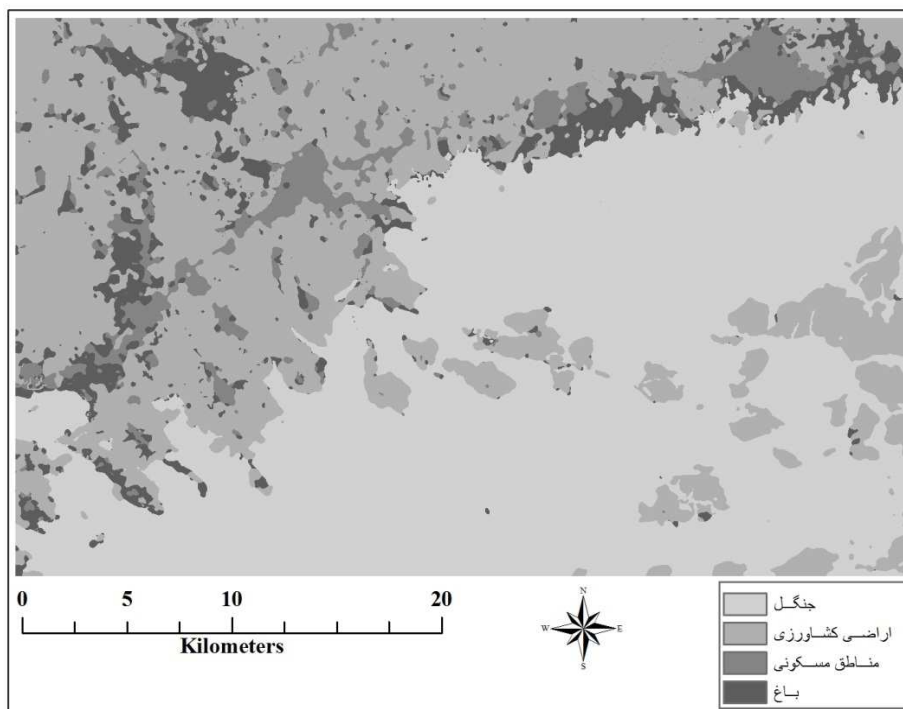


شکل ۶. مساحت هر کاربری به درصد در سال ۱۳۹۲

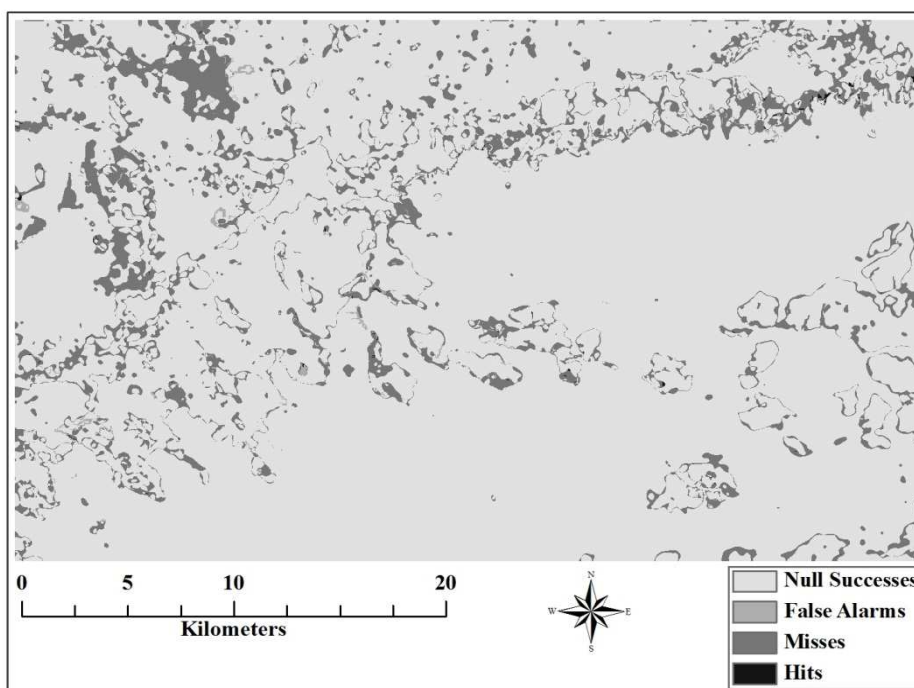
### ۶.۳. ارزیابی صحت

نتایج حاصل از ارزیابی مدل براساس نقشه‌های پوشش سرزمین ۱۳۸۰، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۵ واقعی زمینی و به صورت زیر است. مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار

خطا به ترتیب ۸۹/۸ درصد، ۰/۱ درصد، ۹/۸ درصد و ۰/۳ درصد بودند (شکل ۸). توزیع مکانی این چهار نوع خطا و صحت نیز در شکل ۸ نشان داده شده است. بیشترین مقدار Misses در قسمت شمال غربی منطقه وجود داشت.



شکل ۷. نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۲



شکل ۸. خطا و صحت پیش‌بینی مدل مبنی بر نقشه‌های پوشش اراضی ۱۳۸۰ واقعی، ۱۳۸۵ واقعی و ۱۳۸۵ پیش‌بینی شده

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکف در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین در شرق استان مازندران استفاده شد. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات نشان داد که ۱۹۶۳ هکتار جنگل زدایی طی سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۸۰ رخ داده است. طی این دوره بیشترین مقدار تغییر کاربری جنگل تبدیل به اراضی کشاورزی (۱۰۰۹ هکتار) بوده است. اغلب این تخریب‌ها در اطراف زمین‌های کشاورزی قبلی به علت در دسترس بودن آنها رخ داده است. از دیگر دلایل تخریب اراضی جنگلی می‌توان به چرای دام (با تغییر ترکیب پوشش گیاهی) و جاذبه‌های گردشگری (با قطع کردن شاخه‌های درختان برای هیزم از سوی گردشگران) اشاره کرد. نتایج پیش‌بینی برای سال ۱۳۸۵ نشان داد که کاربری باغ در مقایسه با تصویر واقعیت زمینی بیشترین تفاوت را نسبت به سایر کاربری‌ها داشته است. در توضیح این تفاوت می‌توان به این نکته اشاره کرد که روند تغییرات طی دوره واسنجی (۱۳۶۶-۱۳۸۰) با دوره پیش‌بینی (۱۳۸۰-۱۳۸۵) متفاوت بوده و طی دوره پیش‌بینی در قسمت شمال غربی منطقه مقدار زیادی از اراضی کشاورزی به باغ تغییر کاربری یافته‌اند. بنابراین، در تصویر پیش‌بینی شده با مدل اراضی باغی در قسمت شمال غربی منطقه وجود نداشتند. بالابودن هزینه‌های تولید، قیمت کم محصول برنج، نبود حمایت کافی، وجود دلال‌ها و واسطه‌ها و مکانیزه‌نبودن تولید، گرانی نهاده‌های کشاورزی و ادوات بسیار گران را می‌توان از جمله دلایل تبدیل و تغییر کاربری اراضی شالیزاری به باغ در منطقه عنوان کرد. همچنین، نتایج پیش‌بینی نشان داد که مساحت اراضی جنگلی و کشاورزی در سال ۱۳۹۲ نسبت به ۱۳۸۵ کاهش و مناطق مسکونی و باغی افزایش خواهد یافت. بنابراین، هرچه سریع‌تر باید به فکر راه‌چاره‌ای برای جلوگیری از روند نامطلوب تبدیل و تغییر کاربری اراضی کشاورزی باشیم، زیرا تداوم این تبدیل نه تنها سبب کاهش سطح کشت و تولید می‌شود، بلکه زمینه را برای تغییر کاربری سرزمین و تبدیل ایران به یکی از بزرگ‌ترین

واردکننده‌های محصول برنج فراهم می‌کند. البته پوشش سرزمین در سال ۱۳۹۲ شباهت درخور توجهی با نقشه کاربری سرزمین سال ۱۳۸۵ دارد که به علت پویایی کم متغیرهاست. Kamyab و همکاران (2010) نیز به بررسی پیش‌بینی توسعه شهر گرگان با استفاده از رگرسیون لجستیک پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که کاربری‌های مرتعی و کشاورزی بیشترین پتانسیل را برای تبدیل به کاربری مسکونی دارند و همچنین اعلام داشتند که روش رگرسیون لجستیک در مقایسه با روش‌های خودکار توانایی واردسازی متغیرهای بیشتری را داراست.

از مزایای این تحقیق بر سایر پژوهش‌ها این است که صحت پیش‌بینی مدل با استفاده از مقادیر موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار خطا ارزیابی شد. زیرا Pontius و Milnllones (2011) طبق تحقیقاتی گزارش کردند که برای ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل مقادیر فوق توانایی و دقت بهتری از ضریب کاپا دارند و استفاده از کاپا را منسوخ اعلام کردند. در تحقیق حاضر مقدار موفقیت خنثی، موفقیت، خطا و هشدار خطا به ترتیب ۸۹/۸ درصد، ۰/۰۸ درصد، ۹/۸ درصد و ۰/۳ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده انطباق بالای تصویر پیش‌بینی شده با مدل با تصویر واقعیت زمینی است. بیشتر بودن مقادیر خطا و هشدار خطا از موفقیت به این معنی است که فرآیند تغییرات طی دوره واسنجی با دوره پیش‌بینی متفاوت بوده است (Chen & Jr, 2010). در ضمن، در تحقیق حاضر مقدار خطای حاصل از پیش‌بینی مدل حدود ۱۰ درصد بود که نشان‌دهنده کارایی و توانایی بالای مدل مورد استفاده است. تعداد پیکسل‌های موفقیت (۱۰۲۷) نسبت به هشدار خطا (۴۴۳۱) ۲۳ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده پذیرفتنی بودن مدل مورد استفاده است (Eastman, 2006b). با عنایت به مجموعه نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود در مدل‌سازی تغییرات کاربری سرزمین حوزه‌های آبخیز کشور از LCM استفاده شود.

نتایج این تحقیق در ارزیابی و برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین در راستای رسیدن به توسعه پایدار و حفاظت از تنوع زیستی منطقه مفید است.

## سپاسگزاری و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه تربیت مدرس به دلیل فراهم کردن زمینه و بستر لازم برای انجام دادن این پژوهش علمی و کاربردی سپاسگزاری می شود. همچنین از زحمات و حمایت های جناب آقای مهندس سید محمود

قاسمپوری (هیئت علمی گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس) تقدیر و تشکر می شود. از آقای سید حمزه حسینی کهنوج نیز برای مطرح کردن پیشنهادهای مفید در جهت بهتر شدن مقاله قدردانی می شود.

## References

1. Arsanjani, J.J., Helbich, M., Kainz, W., Darvishi Boloorani, A (2013) "Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 265-275.
2. Bagheri, R., Shataee, S (2010) "Modeling forest areas decreases, using logistic regression (case study: Chehel-Chay catchment, Golestan province)," *Iranian Journal of Forest*, 2: 243-252 (in Persian).
3. Chen, H., Pontius Jr, R.G 2010. Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable. *Landscape Ecology* 25, 1319-1331.
4. Clarke, K., Gaydos, L. and Hoppen, S (1997) "A self-modifying cellular automaton model of historical urbanisation in the San Francisco Bay area," *Environmental Planning*, 24: 247-261.
5. Congalton, R.G (1991) "A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data," *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
6. Eastman, J.R (2006a) IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
7. Eastman, J.R (2006b) IDRISI Andes, Tutorial, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
8. Fang, S., Gertner, G.Z., Sun, Z., Anderson, A.A (2005) "The impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl," *Landscape and Urban Planning*, 73: 294-306.
9. Foody, G.M (2002) "Status of land cover classification accuracy assessment," *Remote Sensing of Environment*, 80: 185-201.
10. Fraser, R.H., Abuelgasim, A., Latifovic, R (2005) "A method for detecting large-scale forest cover change using coarse spatial resolution imagery," *Remote Sensing of Environment*, 95: 414-427.
11. Gholami, M., Mokhayer, B., Bozorgnia, A., Sahafi, H (2009) "Prevalence and intensity of parasitic infection from (*Leuciscus cephalus*) and (*Capoeta capoeta gracilis*) of the Neka River," *Marine Science and Technology Journal*, 4: 59-66 (in Persian).
12. Goldavi, S (2011) "Comparision of logistic regression and Geomod in land cover change modeling and vegetation and effect of change on water (case study: Gorgan)," M.Sc thesis. Department of Environment. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 114 (in Persian).
13. Hu, Z., Lo, C.P (2007) "Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression," *Computers, Environment and Urban Systems*, 31: 667-688.
14. Kamyab, H., Salman Mahiny, A., Hosseini, M., Gholamalifard, M (2010) "Adopt a data-driven approach using logistic regression to model the urban growth in Gorgan," *Journal of Environmental Studies*, 36: 89-96 (in Persian).
15. Khoi, D.D., Murayama, Y (2010) "Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam," *Remote Sensing*, 2: 1249-1272.
16. Kim, O.S (2010) "An Assessment of Deforestation Models for Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD)," *Transactions in GIS*, 14: 631-654.
17. Lo, C.P., Quattrochi, D.A (2003) "Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69: 1053-1063.
18. Oñate-Valdivieso, F., Sendra, J.B (2010) "Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling," *Journal of Hydrology*, 395: 256-263.
19. Pontius Jr, R.G. Millones, M (2011) "Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment," *International Journal of Remote Sensing*, 32: 4407-4429.
20. Rafiee, R., Salman Mahiny, A., Khorasani, N (2009) "Assessment of changes in urban green

- spaces of Mashad city using satellite data," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11: 431-438.
21. Russell-Smith, J., Yates, C., Edwards, A., Allen, G.E., Cook, G.D., Cooke, P., Craig, R., Heath, B., Smith, R (2003) "Contemporary fire regimes of northern Australia, 1997-1380: change since Aboriginal occupancy, challenges for sustainable management," *International Journal of Wildland Fire*, 12: 283-297.
  22. Schneider, L., Pontius, R.G (2001) „Modeling land use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85: 83-94.
  23. Schulz, J.J., Cayuela, C., Echeverria, C., Salas, J., Rey Benayas, J.M (2010) "Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008)," *Applied Geography*, 30: 436-447.
  24. Talebi Amiri, S., Azari Dehkord, F., Sadeghi, H., Soofbaf, R (2009) "Study on Landscape Degradation in Neka Watershed Using Landscape Metrics," *Environmental Sciences*, 6: 133-144 (in Persian).
  25. Václavík, T., Rogan, J (2009) "Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in Central Europe: A case study of the greater Olomouc region, Czech Republic," *GIScience & Remote Sensing*, 46: 54-76.
  26. Woudsma, C., Jensen, J.F., Kanaroglou, P., Maoh, H (2007) "Logistics land use and the city: A spatial-temporal modeling approach," *Transportation Research Part E*, 44: 277-297.
  27. Wu, Q., Li, H., Wang, R., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B., Wang, Z (2006) „Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS," *Landscape and Urban Planning*, 78: 322-333.
  28. Yu, W., Zang, S., Wu, C., Liu, W., Na, X (2011) "Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China," *Applied Geography*, 31: 600-608.
  29. 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.
  30. Zare Garizi, A., Bardi Sheikh, V., Sadodin, A., Salman Mahiny, A (2012) "Application of logistic regression in modeling of probability of spatial pattern of vegetation change (Case Study: Chehel-Chay in Golestan province)," *Geographic Space*, 12: 55-68 (in Persian).