

# آشکار سازی<sup>۱</sup> و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Markov مطالعه موردی: محور کلانشهر تهران دماوند

ناصر شفیع‌ی ثابت<sup>۲</sup>

علیرضا شکیبا<sup>۳</sup>

اشکان محمدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۶/۲۰

\*\*\*\*\*

## چکیده

مدل سازی تغییرات کاربری اراضی، ابزاری ضروری برای تجزیه و تحلیل‌های محیط زیستی، برنامه‌ریزی و مدیریت محسوب می‌گردد. در حال حاضر آشکار سازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ابزاری سودمند برای درک تغییرات زیست محیطی در رابطه با فعالیت‌های انسانی به حساب می‌آیند. ناحیه مورد مطالعه یکی از مناطق ایران است که هدف تجاوز ساخت و سازهای بی رویه و بدون برنامه قرار گرفته است. توسعه شهری و رشد جمعیت منجر به تغییرات الگوی فضایی شده و کاربری بخش زیادی از منابع طبیعی را تحت تأثیر قرار داده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۲، ۲۰۱۸ برای طبقه‌بندی و آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده شده است. پس از رفع خطاهای تصاویر ماهواره‌ای چهار کلاس عارضه، ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی، پوشش گیاهی، کوه و مرتع و راه، جهت بررسی تغییرات در نظر گرفته شد. عملیات میدانی و برداشت عوارض نمونه، با گیرنده‌های GPS دو فرکانسه در محدوده مورد مطالعه انجام شد. سپس این عوارض به نرم افزار معرفی و با روش ماشین‌های بردار پشتیبان<sup>۵</sup> طبقه‌بندی روی تصاویر سه دوره انجام و میانگین دقت کلی و میانگین ضریب کاپا<sup>۶</sup> در این روش به ترتیب ۹۶/۶۲٪، ۸۵/۳۳٪ محاسبه گردید. بیشترین تغییرات مربوط به کلاس کاربری‌های مسکونی و غیر مسکونی و راه می‌باشد. بیشترین تغییرات مربوط به ساخت و ساز مسکونی ۹/۰۶ درصد و راه ۱ درصد می‌باشد، که این روند رو به افزایش سبب کاهش دو کلاس عارضه کوه و مرتع و پوشش گیاهی به ترتیب به میزان ۹/۰۷ و ۰/۱ درصد شده است. در ناحیه مورد مطالعه اکثر پوشش‌های گیاهی و زمین‌های کشاورزی تبدیل به شهرک‌های صنعتی و ویلاهای تفریحی شده است. در راستای چنین تغییراتی زنجیره مارکوف توانایی خوبی برای پیش‌بینی احتمال تغییرات را دارد و بر پیش‌بینی‌های تغییرات کاربری اراضی متمرکز است در حالی که اتوماتای سلولی به عنوان یک روش قدرتمند در تشخیص تغییرات مؤلفه مکانی فضایی است. به این منظور جهت پیش‌بینی تغییرات در کمیت و فضا از مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده گردید و نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۵۰ شبیه سازی شد. نتایج نشان داد که مدل‌های مارکوف اطلاعات مفیدی در اختیار ما قرار می‌دهد که می‌تواند برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی در آینده مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: آشکار سازی، مدل زنجیره مارکوف، مدل سلول‌های خودکار، تغییرات کاربری اراضی

\*\*\*\*\*

1- Change Detection

۱- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- دانشیار مرکز مطالعات سنجش از دور، دانشگاه شهید بهشتی

۳- دانشجوی دکتری دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول) a.map1978@yahoo.com

5- SVM

6- Overall Accuracy

## ۱- مقدمه

موجب برهم زدن نظم فضایی بویژه در پیرامون شهرهای بزرگ می‌شود نگرانی‌های بسیاری را در پی داشته است (شفیعی ثابت، ۱۳۹۳)

تهران به مثابه یکی از این گونه‌های کلانشهری برای رشد و توسعه، نه تنها در مقیاس ملی، بلکه در مقیاس ناحیه‌ای نیز از طریق ادغام روستاها و اراضی کشاورزی، به منابع طبیعی و انسانی به نحوی ناپایدار و سلطه‌آمیز، دست‌اندازی می‌کند. به این ترتیب، روابط و مناسبات حاکم بین این کلانشهر و روستاهای پیرامونی از ماهیتی نابرابر، نامتعادل و سلطه‌آمیز برخوردار است. نظر به پویایی تغییرات کاربری اراضی و اثرات گسترده آن بر محیط زیست درک چگونگی این تغییرات چه از نظر الگوی مکانی و چه از نظر کمیت، ضروری به نظر می‌رسد. پایش این چنین تغییرات ما را در درک درستی از روند توسعه در گذشته و الگوهای رشد در آینده یاری می‌دهد، در حالی که مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییرات نقش بسزایی در درک پیامدهای تغییرات آبی و تحولات احتمالی آینده ایفا می‌کند (جوکار و دیگران، ۲۰۱۳: ۲۰۱۳). در این راستا تکنولوژی سنجنش از دور و ارائه اطلاعات بروز تصاویر با قدرت تفکیک متوسط از جمله ماهواره لندست<sup>۵</sup> در حوزه علوم زمین<sup>۶</sup> نقش بسزایی دارد (تابیبوک<sup>۷</sup> و دیگران، ۲۰۱۲) (پتیکو دوکو، ۲۰۱۳). با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان مقدار گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیر مناسب هدایت کرد، (گراس<sup>۸</sup> و دیگران، ۲۰۰۹، صص ۴۳-۱۳). تاکنون روش‌های گوناگونی جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی بکار گرفته شده است، مدل‌های تجربی و آماری مانند زنجیره مارکوف و مدل رگرسیون (هیو و لو<sup>۹</sup>، ۲۰۰۷: ۲۶۹)، مدل‌های پویا از جمله ماشین‌های سلولی و مدل‌های تلفیقی (واز<sup>۱۰</sup> و دیگران، ۲۰۰۱: ۶). وضعیت سلول در مدل‌های شهری معمولاً

پیشرفت‌های سریع در خصوص مدل‌های مکانی امکان طراحی و شبیه‌سازی الگوی‌های مکانی را برای تغییرات کاربری اراضی<sup>۱</sup> بطور فزاینده‌ای افزایش داده است. یکی از رویکردهایی که بطور معمول در شبیه‌سازی مدل برای تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود تئوری سلول‌های خودکار در چارچوب سیستم‌های اطلاعات مکانی<sup>۲</sup> می‌باشد (کوکباس و دیگران، ۲۰۰۶: ۹۵۳-۹۲۱) (پيجانوسکی و دیگران، ۲۰۲۰: ۵۷۵-۵۵۳). اساساً روش‌های شبیه‌سازی شامل دو جنبه هستند، ۱. تعداد سال‌های پیش‌بینی ۲. شبیه‌سازی برای الگوهای مکانی در آینده. مدل‌ها بر پایه شبیه‌سازی الگوهای مکانی برای درک و توضیح فرآیند تغییرات کاربری اراضی و روند اثرگذاری آنها استفاده می‌شوند. هر دو مدل سلول‌های خودکار<sup>۳</sup> و زنجیره مارکوف<sup>۴</sup> نتایج بسیار خوبی در مطالعه تغییرات کاربری اراضی را ارائه می‌دهند در حالی که دارای معایبی نیز هستند. مدل مارکوف بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است اما این مدل به تنهایی قابلیت پیش‌بینی الگوهای مکانی در تغییرات کاربری اراضی را ندارد. مدل سلول‌های خودکار با محاسبات فضایی قدرتمند می‌تواند برای شبیه‌سازی تنوع فضایی سیستم به طور مؤثر استفاده شوند. ترکیب مدل زنجیره مارکوف با سلول‌های خودکار یک رویکرد قوی در مدل‌سازی دینامیک تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی و سنجنش از دور می‌باشد. (کامسکو و دیگران، ۲۰۰۹: ۴۳۵-۴۴۷) مدل مارکوف و سلول‌های خودکار مزایای سری زمانی و فضایی را مورد استفاده قرار داده و الگوی مکانی پویایی را پیش‌بینی می‌کنند. از طرفی گسترش شتابان شهری از مهم‌ترین پدیده‌های مکانی-فضایی است که در بسیاری از کشورهای جهان و از جمله ایران به دلیل اثرات زیان‌باری که در محیط زیست بر جای می‌گذارد و تغییر و تحولاتی که

5- Landsat  
6- Earth Sciences  
7- Taubenböck et al  
8- Patino and Duque  
9- Gross et al  
10- Hu and Lo  
11- Vaz et al

1- Land Use Change (LUC)  
2- GIS  
3- CA  
4- MARKOV Chain

را برای سال‌های آینده شبیه‌سازی می‌کند (مس و دیگران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴، ص. ۹۴). همچنین در مطالعه‌ای اثرهای تغییرات کاربری اراضی در گذشته و آینده بر روی منطقه حفاظت شده‌ای در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA-Markov بررسی گردید. نتایج این مطالعه در منطقه توسعه کشاورزی، مناطق شهری و رها سازی کاربری‌های گذشته را نشان داد. در پژوهشی دیگر در پیرامون شهر همدان آشکار شد، اراضی کشاورزی (زرعی و باغی) نسبت به سایر اراضی بیشترین میزان تغییر را داشته‌اند. ساخت و سازهای بی رویه اراضی شهری و مسکونی، کاهش سطح اراضی زراعی و باغی و افزایش اراضی رها شده در اثر بی آبی را در پی داشته است. گسترش راه‌ها و حمل و نقل عمومی باعث گردید تا انتقال جمعیت بین نواحی روستایی و شهر همدان با سهولت بیشتری و در زمان کمتری انجام گیرد. هجوم جمعیت و خزش گسسته شهر همدان به سکونتگاه‌های روستایی پیرامونی به ویژه در ناحیه مورد مطالعه، باعث کاهش شدید اراضی کشاورزی و در نتیجه ناپایداری کشاورزی، مسائل عدیده زیست محیطی و اجتماعی - اقتصادی شده است. همچنین، باعث تغییر عملکرد اقتصادی روستاها از حالت تولیدی کشاورزی به شکل غیر تولیدی و عمدتاً خدمات کاذب شده که پیامدهای منفی فضایی و اجتماعی - اقتصادی فراوانی به دنبال داشته است (شفیعی ثابت و خاکسار، ۱۳۹۶).

نتایج مطالعه دیگری در منطقه کردستان عراق با استفاده از مدل CA-Markov دو سناریو را مورد بررسی قرار داد. سناریو اول بر این اساس بود که اگر تحریم سازمان ملل متحد در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۸، تا سال ۲۰۲۳ ادامه پیدا می‌کرد روند تغییرات استفاده از کاربری اراضی چگونه می‌بود؟ و سناریو دوم در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷، تغییرات کاربری اراضی را پس از اتمام تحریم‌های سازمان ملل مورد بررسی قرار می‌داد. هر دو سناریو در ۴ کلاس عارضه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بطور کلی نشان داد که در ۶ سال آینده روند به سمت مناطق

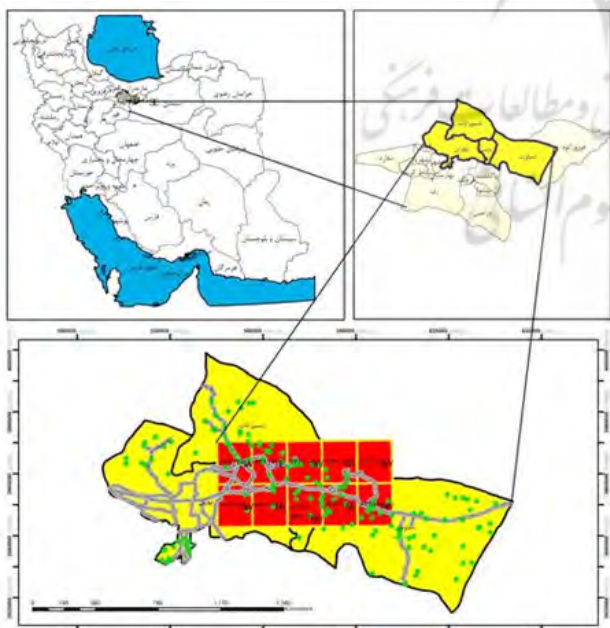
با توجه به طبقه‌بندی کاربری اراضی، ارزش زمین و پوشش زمین می‌باشد. بر اثر روابط متقابل بین سلول مورد آزمایش و همسایه آن و تحت تأثیر قوانین انتقال، سلول به وضعیت‌های مختلف تغییر پیدا می‌کند. در یک شبکه همسایگی معمولاً سلول‌هایی که نزدیکترین سلول به سلول مرکزی هستند ممکن است ارزش آن را در گام بعدی تحت تأثیر قرار دهد (رضازاده، میراحمدی، ۱۳۸۱: ۵۰). از مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در سال ۲۰۱۶ در کشور بنگلادش استفاده و روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه شهری چیتاگونگ طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۱ با داده‌های لندست TM بررسی شد. پس از پردازش و تصحیح تصاویر و طبقه‌بندی آنها با کمک سنجش از دور و مقایسه نقشه‌ها و پژوهش‌های قدیمی در دسترس، نتایج بدست آمده نشان داد ۲۷ درصد از مساحت منطقه مد نظر دستخوش تغییر شده است و پژوهشگران بهره‌گیری از فناوری GIS و RS را برای برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت پایدارتر در بهره‌مندی از مناطق شهری توصیه کردند (اقبال و دیگران، ۲۰۱۶: ۸). در این راستا در هندوستان نیز با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹، نقشه کاربری اراضی منطقه اوتاراکنند تهیه و پس از طبقه‌بندی و صحت‌سنجی با مقایسه نتایج بدست آمده مشخص شد اراضی جنگلی و کشاورزی کاهش داشته و اراضی مسکونی نیز به میزان چشمگیری در کمتر از یک دهه افزایش پیدا کرده است (کلدیپ و کمیش، ۲۰۱۱: ۴۰). زنجیره ماکوف را جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با هدف بررسی توازن رشد شهری و حفاظت از محیط زیست استفاده می‌کنند (لی و دیگران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴: ۶۲-۳۷). لی و دیگران این پیش‌بینی را تا سال ۲۰۴۹ انجام دادند. نتیجه این پیش‌بینی افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی کشاورزی و پوشش جنگلی بوده است. مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف با افزودن مشخصه مجاورت مکانی به مدل تصادفی زنجیره مارکوف، کاربری اراضی

۲- مواد و روش‌ها  
 ۲-۱ ناحیه مورد مطالعه

در واقع ملاک انتخاب قلمرو مورد مطالعه در محور تهران - پردیس - دماوند، تغییرات ایجاد شده در اثر خزش شهری در فضاها و روستاهای پیرامونی کلانشهر تهران در این محور (ناحیه عملکردی)، از لبه شرقی شهر تهران تا دماوند است. این محدوده به طور تقریبی در ۱۰ شیت نقشه استاندارد ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور که قطع بندی هر شیت آن ۷/۵ درجه طول جغرافیایی در ۷/۵ درجه عرض جغرافیایی است، قرار می‌گیرد.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

موقعیت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
نقطه شمال غرب	۵۱/۵۰	۳۵/۸۲۶
نقطه جنوب غرب	۵۰/۷۵	۳۶/۶۲۵
نقطه شمال شرق	۵۲/۱۲۵	۳۵/۷۸۶
نقطه جنوب شرق	۵۲/۱۲۵	۳۵/۶۲۵



نگاره ۱: موقعیت ناحیه مورد مطالعه در استان و کشور

پایدار و همگن بر می‌گردد این وضعیت در منطقه مورد مطالعه تأثیر مثبتی دارد. (کمال حمد و همکاران، ۲۰۱۸).

در پژوهشی دیگر در حوضه آبریز رودخانه مالاکا الگوی فضایی شبیه سازی شده با استفاده از مدل CA-Markov برای ارزیابی تغییرات کیفی و کمی کاربری اراضی در طول سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۵ و در نهایت پیش‌بینی روند این تغییرات برای سال ۲۰۲۹ صورت گرفت.

ساخت و سازهای صنعتی و غیر صنعتی در منطقه مورد مطالعه مناطق ارزشمند کشاورزی را مورد خطر جدی قرار داده که نتجتاً باعث افزایش آلودگی در رودخانه مالاکا شده است.

یافته‌ها نشان می‌دهد مقرراتی توسط دولت باید وضع شود که در طراحی، برنامه ریزی و توسعه سیاست‌های کاربری اراضی برای حفاظت از کیفیت آب رودخانه مؤثر واقع شود. (راهل حمد، میکو بالترز، ۲۰۱۷)

بدین ترتیب، مطالعات صورت گرفته در زمینه آشکار سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی ابعاد و پیامدهای مختلف محیط زیستی و اجتماعی - اقتصادی آن را عمدتاً در سکونتگاه‌های روستایی پیرامون کلانشهرها و شهرهای بزرگ آشکار کرد.

بررسی مقدار و روند تخریب منابع در سال‌های گذشته و پیش‌بینی این تغییرات در سال‌های آینده مسلماً گام مهمی در مهار و کنترل تغییرات غیر اصولی، برنامه ریزی و استفاده بهینه از منابع سرزمین می‌باشد، این پژوهش به آشکار سازی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تلفیق زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار تا سال ۲۰۵۰ میلادی در شرق کلانشهر تهران با استفاده از سه دوره تصاویر ماهواره لندست با فاصله زمانی ۱۶ ساله پرداخته است و بدنبال آن است که روند تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۵۰ در پیرامون کلانشهر تهران را بررسی کند. با پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص کرده و این تغییرات را در مسیر مناسب هدایت کرد.



**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)**  
**آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از ... / ۱۷۹**

شماره ۳). روش انتخاب نمونه‌ها به روش اتفاقی<sup>۲</sup> انجام شده است. با استفاده از گیرنده GPS دو فرکانسه و اتصال به سامانه هدی سازمان نقشه برداری، با دقت  $\pm 1$  سانتیمتر نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه برداشت گردید. نمونه‌های تعلیمی به دو دسته تقسیم می‌شوند، دسته اول برای استفاده در طبقه‌بندی و دسته دوم برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شده‌اند. برای اینکه شیفت بین داده‌های زمینی برداشت شده و تصاویر ماهواره‌ای وجود نداشته باشد از پیکسل‌های مجاور داده‌های زمینی برداشت شد تا مشکلات تصحیح هندسی این داده‌ها نیز حل شود. از آنجا که مناطق نمونه<sup>۳</sup> پایه طبقه‌بندی را تشکیل می‌دهند، تلاش شد این نمونه‌ها با دقت انتخاب شوند. جدول شماره ۳ ویژگی‌های هر طبقه را بیان می‌کند.

**جدول ۳: کلاس عارضه‌های استفاده شده در طبقه‌بندی**

نوع کاربری	اراضی تحت پوشش
ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی	شامل همه اراضی مسکونی، تجاری، درمانی، آموزشی، صنعتی
پوشش گیاهی	شامل جنگل، پارک‌ها و درختان موجود و اراضی تحت کشت در محدوده مورد مطالعه
کوه و مرتع	شامل خاک لخت، اراضی آیش و بدون کشت، تپه‌ها
راه	راه‌های ارتباطی

**۳- روش تحقیق**

**۳-۱- تصحیح هندسی تصاویر**

تصحیح هندسی که برای انجام این تحقیق صورت گرفته به روش تصحیحات سیستماتیک شامل دو مرحله زمین مرجع نمودن و تهیه داده‌های وکتوری از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه ۱:۲۵۰۰۰ ناحیه مورد مطالعه بوده است. نکته مهمی که باید ذکر شود این است که تصاویر ماهواره‌ای دارای فرمت رستر است و پیکسل‌های این تصاویر سطر و ستون‌هایی

**۲-۲- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در پژوهش**

**۲-۲-۱- داده‌های ماهواره‌ای**

تصاویر مورد استفاده در این تحقیق برای استخراج کاربری اراضی و پوشش زمین شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست می‌باشند. به دلیل قدمت سری‌های زمانی، توان تفکیک طیفی و مکانی، مناسب برای مطالعات تغییرات پوشش زمین و همچنین رایگان بودن، این تصاویر در این تحقیق استفاده شده‌اند. تصاویر لندست مورد استفاده شامل تصاویر اخذ شده از سه دوره اصلی ۱۹۸۶، ۲۰۰۲، ۲۰۱۸ جهت طبقه‌بندی و آشکارسازی استفاده شده است. جزئیات تصاویر مورد استفاده برای استخراج کاربری اراضی و پوشش زمین در جدول شماره ۲ قابل ملاحظه می‌باشد.

**جدول ۲: تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده برای آشکارسازی**

**تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه**

ردیف	ماهواره	سنجنده	تاریخ برداشت	سین	زمان
۱	لندست ۵	TM	۱۹۸۶	۱۶۴×۳۵	۱۹۸۶/۰۶/۱۸
۲	لندست ۷	ETM	۲۰۰۲	۱۶۴×۳۵	۲۰۰۲/۰۶/۰۹
۳	لندست ۸	OLI	۲۰۱۸	۱۶۴×۳۵	۲۰۱۸/۰۶/۲۶

مأخذ، سازمان زمین شناسی آمریکا<sup>۱</sup>

**۲-۲-۲- داده‌های زمینی**

گام اول در طبقه‌بندی نظارت شده، تعیین نوع و تعداد طبقه‌هاست. طبقه‌بندی نظارت شده بر پایه پیش‌شناخت دقیق طبقه‌بندی‌های مورد نظر استوار است. این پیش‌شناخت‌ها به منزله نمونه تعلیمی در طبقه‌بندی‌ها بکار می‌روند. در این پژوهش با توجه به بازدهی‌های انجام گرفته از منطقه و تفاوت بازتاب تصاویر ماهواره‌ای و نیز پژوهش‌های انجام گرفته، کاربری اراضی و پوشش زمین محور مورد مطالعه در ۴ گروه با عنوان اراضی مسکونی و غیر مسکونی- پوشش گیاهی- کوه مرتع و راه تعریف شده است (جدول

2- Random Sampling Method

3- Training Site

1- USGS

در این رابطه DNbi درجه خاکستری پیکسل در باند I ام تصویر چند طیفی، DNp درجه خاکستری پیکسل در تصویر با قدرت بالاتر، DNfi عدد به دست آمده برای پیکسل در تصویر خروجی است. به این ترتیب اطلاعات مکانی بیشتری به تصویر چند طیفی اضافه شده و حاصل، تصویر با کیفیت بصری قوی تر است.

### ۳-۴- تصحیح رادیومتریک

قبل از بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست در تجزیه تحلیل رقومی، کیفیت آنها از نظر وجود خطای هندسی، راه‌شدگی، زیر هم قرار نگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های تکراری خطای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابر مورد بررسی قرار گرفت و محدوده مورد مطالعه از تصاویر جدا و روی آنها تصحیحات کالیبراسیون، اتمسفری به روش FLAASH انجام شد. انتخاب مدل مناسب اتمسفری بر اساس عرض جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه بوده است.

### ۳-۵- انتخاب کلاس عوارض و آنالیز تصاویر

با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه، اهداف تحقیق و قابلیت تصاویر مورد استفاده شده براساس قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریک آنها، چهار کاربری ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی، پوشش گیاهی، کوه و مرتع و راه مد نظر قرار گرفت. انتخاب باند مناسب برای طبقه‌بندی و بر اساس ارزیابی منحنی‌های انعکاس طیفی برای هر کدام از کلاس‌های کاربری اراضی و همچنین ارزیابی هیستوگرام‌های همبستگی باندها نسبت به هم انجام شد. از نمودار دو باندی پراکنش پیکسل‌ها در دو باند مختلف استفاده گردید، تا با تغییر این باندها درک خوبی از بازتاب کلاس‌ها و روابط بین آنها و تفکیک‌پذیری آنها بدست آید. ویژگی‌های بافت از طریق ماتریس GLCM استخراج و آنالیز اجزای اصلی<sup>۲</sup> انجام شد. اصل و اساس روش GLCM به عنوان یکی از روش‌های قدرتمند آماری در آنالیز بافت،

می‌سازند که هیچ گونه ارتباطی با مختصات زمینی ندارند. بنابراین، برای زمین مرجع نمودن باید نقاطی به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب در نظر گرفته شود و داده‌های رقومی از تصاویر تهیه شود تا بدین وسیله بتوان به شناسایی اراضی به تفکیک نوع کاربری پرداخت و همچنین بتوان مساحت هریک از این کاربری‌ها را محاسبه نمود. تعداد ۱۵ نقطه چک از نقشه‌های رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و در تصحیح هندسی تصاویر استفاده شد. دقت مسطحاتی نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ معادل ۵-۴ متر می‌باشد. نقاط کنترل به نحوی انتخاب گردید که کل محدوده را پوشانده و در روی تصویر واضح و بر روی زمین قابل شناسایی باشند. علاوه بر این، بیش از ۳۰ نقطه کنترل زمینی (GCP) توسط گیرنده GPS و نقشه‌های پایه برداشت شد. میزان خطای RMS در عملیات زمین مرجع سازی حدود ۰/۵۶ پیکسل تعیین شد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول است.

### ۳-۲- بارزسازی بیشتر تصاویر

به منظور بارزسازی بیشتر تصاویر ETM و TM، عملیات ترکیب داده‌ها انجام شد تا قدرت تفکیک مکانی تصاویر فوق افزایش یابد. عملیات ترکیب تصاویر چند طیفی با باند سیاه و سفید (PAN) به منظور افزایش قدرت مکانی با استفاده از «الگوریتم بروی» و در محیط نرم افزار «ERDAS» انجام شد (Krieger, 1999).

### ۳-۳- تلفیق تصاویر

«روش بروی» یکی از سریع‌ترین روش‌های تلفیق تصاویر با قدرت تفکیک مختلف است. در این روش ابتدا باندهای تصویر چند طیفی، نرمال سازی شده، سپس با تصویر با قدرت تفکیک بالاتر ضرب می‌شوند. «روش بروی» بر اساس رابطه ۱ محاسبه شده است:

$$\text{رابطه (۱): } DN_{fi} = \frac{DN_{bi}}{DN_{b1} + DN_{b2} + DN_{b3}} DN_p$$

در رابطه (۲)،  $x_i$  و  $y_i$  به ترتیب بردار ویژگی و برچسب کلاس مربوط به پیکسل  $i$ -ام بوده،  $w$  و  $b$  به ترتیب، ضرایب معادله ابر صفحه مورد نظر و مقدار ثابت آن هستند. کمینه کردن عبارت اول، یعنی  $\frac{1}{2} \|w\|^2$ ، باعث بیشینه کردن فاصله بین نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی کلاس‌ها (به عبارت دیگر؛ بردارهای پشتیبان آن) و ابرصفحه مرزی می‌شود که قدرت تعمیم طبقه‌بند از داده‌های آموزشی به داده‌های آزمایشی را بالا می‌برد. در عبارت دوم نیز وجود پارامتر  $C$  برای بالا بردن هزینه طبقه‌بندی اشتباه نمونه آموزشی است ( $\xi_i$ )، فاصله نمونه آموزشی  $x_i$  از ابرصفحه مرزی است در صورتی که اشتباه طبقه‌بندی شده باشد). بعد از انتخاب الگوریتم و اجرای آن نقشه‌های طبقه‌بندی کلاس عوارض ذکر شده برای سه دوره ۱۹۸۶، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ تهیه گردید.

### ۳-۷- ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده

برآورد دقت طبقه‌بندی معمولاً براساس پارامترهای آماری است که از ماتریس خطا استخراج می‌شوند. ماتریس خطا که ماتریس ابهام<sup>۳</sup> نیز نامیده می‌شود از مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی حاصل می‌شود. برچسب هر پیکسل معلوم با برچسب پیکسل متناظر در طبقه‌بندی مقایسه می‌شود و نتایج یکسان یا یکدیگر جمع شده و برچسب‌هایی هم که با هم همخوانی ندارند نیز محاسبه می‌شوند، در نتیجه اعداد قرار گرفته بروی قطر اصلی ماتریس تعداد پیکسل‌هایی را مشخص می‌کند که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. دقت کلی و ضریب کاپا دو پارامتری می‌باشند که از ماتریس ابهام حاصل می‌شوند و اغلب برای مقایسه دقت طبقه‌بندی روش‌های مختلف استفاده می‌شود.

### ۳-۸- ماتریس خطا<sup>۴</sup>

ماتریس خطاها، ماتریسی است که حاصل مقایسه نمونه‌های مطمئن و نقشه موضوعی بدست آمده می‌باشد.

این است که از روابط بین دو پیکسل همسایه در محدوده معین، استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن یک پنجره همسایگی با اندازه مناسب در اطراف هر پیکسل و انتخاب یکی از جهات معین، روابط درجات خاکستری پیکسل‌ها از فضای تصویر به فضای ماتریس هم‌وقوعی منتقل می‌شوند. PCA روشی است که در آن، فضای تصویر (داده اولیه) به یک مجموعه بطور قابل ملاحظه‌ای ساده‌تر و کوچکتر برای تفسیر تبدیل می‌شود. این مجموعه، که اجزای اصلی نامیده می‌شود، از متغیرهای ناهمبسته‌ای تشکیل شده که بیشترین اطلاعات موجود در فضای اصلی تصویر را نمایش می‌دهد. به همین دلیل، از انتقال PCA به‌طور گسترده در کاربردهایی مانند فشرده‌سازی، ادغام و طبقه‌بندی تصاویر استفاده می‌شود. نتایج حاصله از مراحل فوق را با هم Stack و یک بردار ویژگی باندی ایجاد شد.

### ۳-۶- طبقه‌بندی نظارت شده

در این تحقیق الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان<sup>۱</sup> به عنوان روش طبقه‌بندی مطلوب انتخاب شد، که ورودی آن بردارهای ویژگی و محدوده آموزشی است. ماشین‌های بردار پشتیبان که به اختصار SVM نامیده می‌شود، یکی از طبقه‌بندهای خطی (باینری) است که اولین بار توسط (بوستر و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۲). (کورتز، واپنیک، ۱۹۹۵) معرفی شده است. طبقه‌بندهای خطی بر این مبنا استوارند که در آن‌ها هر نمونه ورودی به یکی از دو کلاس ۱ یا -۱ طبقه‌بندی می‌شوند. در واقع SVM یک طبقه‌بند دو کلاسی خطی است که با در نظر گرفتن مجموعه نمونه‌های آموزشی  $S = \{(F(x))_i, y_i | i=1, n\}$  و انتقال آن به فضای هیلبرت  $H$  توسط نگاشت  $F$ ، داده‌ها را توسط یک ابرصفحه براساس معادله بهینه‌سازی زیر از یکدیگر جدا می‌کند.

رابطه (۲)

$$\text{Min} \left\{ \frac{1}{2} \|w\|^2 + c \sum_{i=1}^k \xi_i \right\}$$

$$y_i (w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i \quad i = 1, \dots, k$$

3- Confusion Matrix

4- Error Matrix

1- Support Vector Machine

2- Boser et al

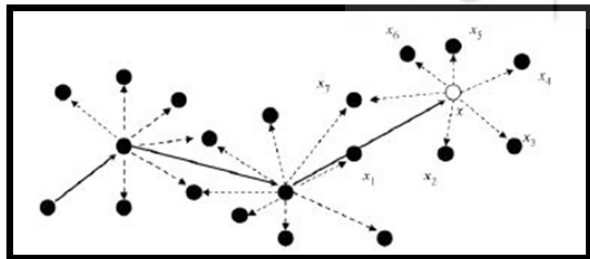
### ۳-۱۰- ضریب کاپا

این فاکتور برای اعتبارسنجی کل نقشه استفاده می‌شود. ضریب کاپا بر اساس ساختار تکنیک‌های چند متغیره گسسته<sup>۳</sup> که برای ارزیابی ماتریس خطاها استفاده می‌شود بنا شده، که اکثر محققان سنجش از دور روی آن اتفاق نظر و آن را به عنوان یک روش استاندارد قبول دارند. در این روش فرض بر گسسته بودن است. و توزیع مقادیر بر عکس روش فوق که نرمال بود در این روش به صورت بینومیل<sup>۴</sup> یا غیر نرمال می‌باشد. روش فوق، توسط انجمن محققین سنجش از دور در سال ۱۹۸۱ میلادی ارائه گردید. این فاکتور به عنوان معیاری است که می‌تواند از طریق انجام مقایسه، دقت نقشه تولید شده از روی تصاویر ماهواره‌ای، با داده‌های مرجع زمینی را ارائه دهد.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \times x_{+i})} \quad \text{رابطه (۳)}$$

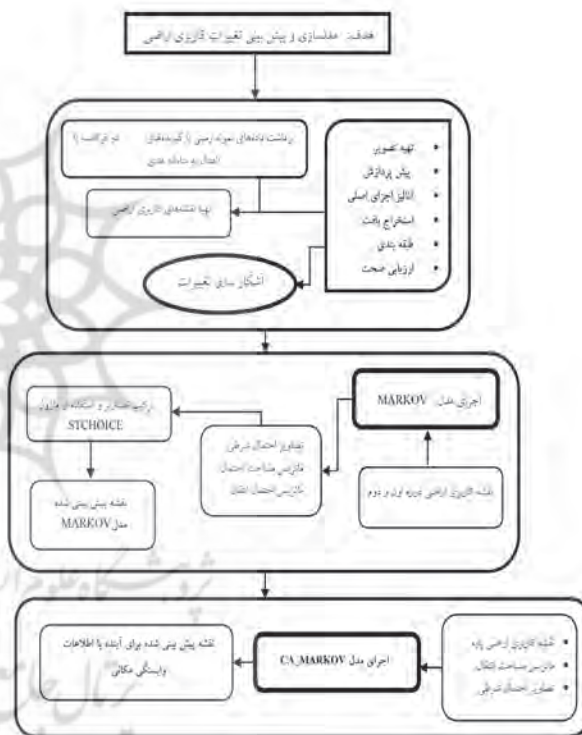
### ۳-۱۱- مدل زنجیره‌ای مارکوف<sup>۵</sup>

تئوری زنجیره‌ای مارکوف به تازگی برای شبیه‌سازی تغییرات مکانی پیشنهاد شده است. در این روش فرض شده است که زنجیره مارکوف در فضا، در یک مسیر تصادفی یا تعیین شده حرکت می‌کند و در مورد وضعیت هر موقعیت، با استفاده از همسایگان شناخته شده نزدیکش در جهات مختلف تصمیم‌گیری می‌کند. در نتیجه به تدریج وضعیت تمام نقاط ناشناخته مشخص خواهد شد. (هارتر و دیگران، ۲۰۰۹: ۲۴)



نگاره ۳: نمایی از تئوری‌های میدان‌های تصادفی زنجیره مارکوف

این ماتریس برای اعتبارسنجی نقشه‌های موضوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد و یک ساختار مربعی \$k \times k\$ دارد. ستون‌های این ماتریس نشان دهنده داده‌های رفرنس زمینی<sup>۱</sup> و ردیف ماتریس نشان دهنده داده‌های طبقه‌بندی شده می‌باشد. قطر اصلی ماتریس نشان دهنده آن دسته از پیکسل‌هایی هستند که به صورت دقیق<sup>۲</sup> فرآیند طبقه‌بندی روی آنها انجام شده است. بقیه اعداد در ماتریس منهای قطر اصلی آن دسته از پیکسل‌هایی هستند که به اشتباه در کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی شده‌اند.



نگاره ۲: چارچوب مفهومی پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

### ۳-۹- دقت کلی

دقت کلی از طریق تقسیم مجموع پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده بر مجموع کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده بدست می‌آید. لازم به یادآوری است که پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در قطر اصلی ماتریس خطا جای دارند.

3- Discrete multivariate techniques applied to error Matrix

4- Binomial

5- Markov

1- Ground Reference

2- Accurate



جدول ۴: مساحت کاربری‌های اراضی و پوشش زمین طی سه دوره مورد بررسی

	۱۹۸۶		۲۰۰۲		۲۰۱۸	
	مساحت (HEC)	درصد	مساحت (HEC)	درصد	مساحت (HEC)	درصد
ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی	۳۲۳۰/۳۷	۳/۱	۶۲۵۳/۷۴	۶/۰۱	۱۲۶۴۵/۳۶	۱۲/۱۶
پوشش گیاهی	۱۱۸۳۳/۸۳	۱۱/۳۸	۱۱۱۲/۹۳	۱۰/۶۲	۱۰۸۲۵/۳۸	۱۰/۴
کوه و مرتع	۸۸۶۹۳/۲۹	۸۵/۲۲	۸۵۶۰۷/۲۸	۸۲/۲۶	۷۹۳۹۶/۵۶	۷۶/۱۵
راه	۳۱۴/۸۲	۰/۳	۱۱۵۰/۱۱	۱/۱۱	۱۳۳۶/۶۸	۱/۲۹

وزن دهی مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد. بنابراین برای مرتفع ساختن مشکلات این دو روش از روش CA-MARKOV استفاده می‌شود. (کلارک، ۲۰۰۶)

#### ۴- نتایج

۴-۱- تهیه نقشه کاربری اراضی و دقت طبقه‌بندی تصاویر  
 مساحت نقشه‌های کاربری‌های اراضی و پوشش زمین برای سه دوره ۱۹۸۶، ۲۰۰۲، ۲۰۱۸ در جدول شماره ۴ ارائه شده است. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر از ماتریس خطا استفاده شد که نتایج به همراه ضرایب کاپا در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

مساحت کلی محدوده مورد مطالعه برابر ۱۰۳۹۹۵/۷۲ هکتار می‌باشد. ارزیابی نتایج طبقه‌بندی به روش ماشین‌های بردار پشتیبان<sup>۳</sup> حاکی از آن است که بالاترین ضریب کاپا و دقت کلی به دلیل قوی تر بودن قدرت تفکیک رادیومتریکی تصاویر مربوط به سال ۲۰۱۸ است. (جدول شماره ۵)

جدول ۵: دقت کلی و شاخص کاپا برای سه تصویر مورد استفاده در طبقه بندی

سال	نقشه کاربری تهیه شده	
	شاخص کاپا	دقت کلی
۱۹۸۶	٪۸۴	٪۹۷/۵۱
۲۰۰۲	٪۷۸	٪۹۴/۶۲
۲۰۱۸	٪۹۴	٪۹۷/۷۵

مطالعات تغییرات صورت گرفته نشان دهنده این است که در دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۲ بیشترین تغییرات ساخت

#### ۳-۱۲- مدل سلول‌های خودکار<sup>۱</sup>

سلول‌های خودکار مدل‌های دینامیک گسسته‌ای هستند که در شبیه‌سازی گستره وسیعی از فرآیندهای طبیعی و انسانی کاربرد دارند. در مدل‌های سلول خودکار فضا به صورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود.

سلول‌های اتوماتای سلولی در زمان‌های گسسته بطور همزمان و بر طبق یک قانون محلی به هنگام می‌شوند. مقدار هر سلول بر اساس سلول‌های همسایه و خود آن سلول تعیین می‌گردد. (وربرگ و دیگران، ۲۰۰۴: ۲۱ و مسینا و دیگران، ۲۰۰۱: ۱۵۶)

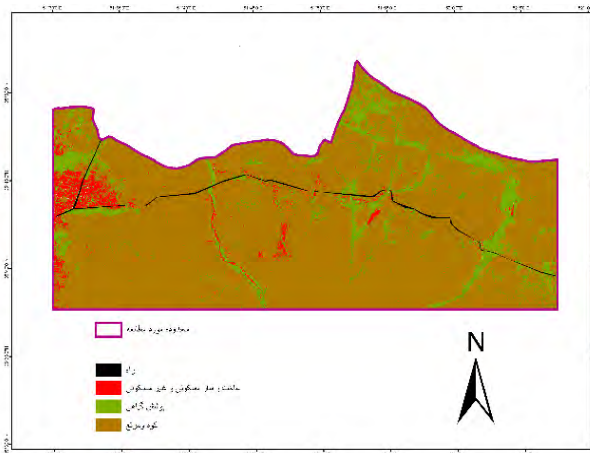
#### ۳-۱۳- مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار<sup>۲</sup>

با اجرای مدل مارکوف چند تصویر احتمال ایجاد می‌شود. این تصاویر که از ماتریس احتمال انتقال بدست آمده‌اند احتمال اینکه هر نوع پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کنند.

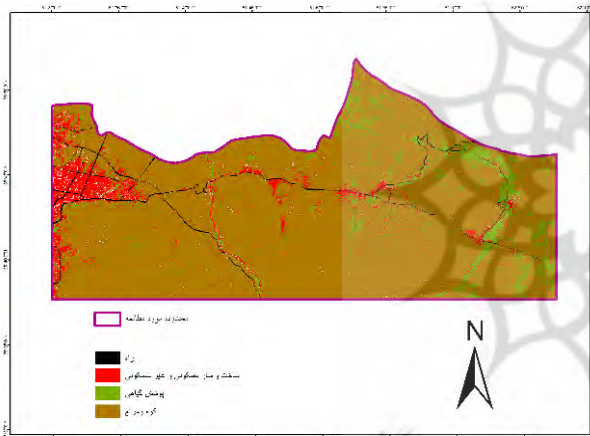
اگرچه احتمالات انتقال در هر کاربری دارای دقت زیادی است اما اطلاعاتی از توزیع مکانی مربوط به کاربری‌ها وجود ندارد. بنابراین مدل تصادفی مارکوف فاقد هر گونه اطلاعات وابستگی مکانی است و در مقابل شبکه خودکار عاملی است که توانایی تغییر وضعیتش را بر اساس بکارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد دارا است. از فیلتر CA برای توسعه یک فاکتور

1- CA

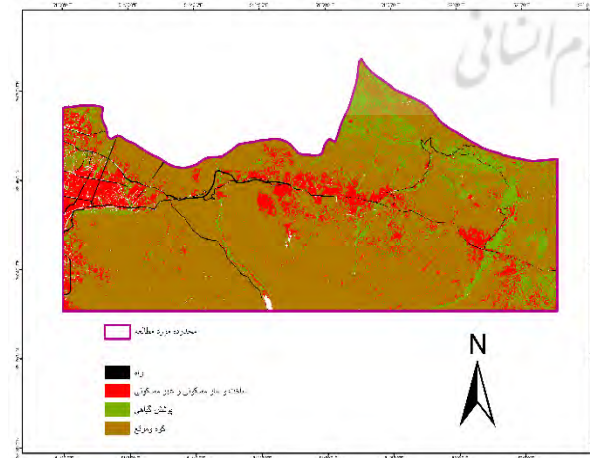
2- CA\_Markov



نگاره ۴: نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۹۸۶



نگاره ۵: نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۰۲



نگاره ۶: نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۲۰۱۸

و سازه‌های مسکونی و غیر مسکونی است، در واقع این مقدار از کلاس عارضه کوه و مرتع از بین رفته است. به گونه‌ای که مساحت ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی از ۳/۱ درصد در سال ۱۹۸۶ به ۶/۰۱ درصد در سال ۲۰۰۲ رسیده در عین حال کوه و مرتع ۲/۹۶ درصد و پوشش گیاهی ۰/۷۶ درصد کاهش داشته است. به همین ترتیب در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ نیز شاهد افزایش ۶/۱۵ درصدی ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی و کاهش ۶/۱۱ درصدی کوه و مرتع و ۰/۲۲ درصدی پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه هستیم. میزان تغییرات کلاس عارضه راه در دوره زمانی اول ۰/۸۱ درصد و در دوره دوم ۰/۱۸ درصد افزایش داشته است.

بطور کلی در طول دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی و راه افزایش و کوه و مرتع و پوشش گیاهی کاهش پیدا کرده‌اند. بر اثر برون ریزی جمعیت در دهه‌های اخیر و ساخت و سازه‌های بدون برنامه، کاربری‌های پوشش گیاهی و مرتع در محدوده مورد مطالعه به ساخت و سازه‌های مسکونی و خصوصاً صنعتی در مناطق جاجرود، کمرد، خرم دشت، شمس آباد، مهرآباد، پردیس و سیاسنگ تبدیل شده است.

#### ۴-۲- آشکار سازی تغییرات

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، آشکار سازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی سه دوره زمانی مورد مطالعه انجام شد. این تغییرات شامل کاهش‌ها، افزایش‌ها و تغییرات خالص برای هر کلاس و انتقال یک کلاس به کلاس‌های دیگر است.

برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها طی دوره ۳۲ ساله، نقشه‌های طبقه‌بندی شده به محیط نرم افزار ArcGIS وارد گردید. با مقایسه این نقشه‌ها و جداول تقاطعی بدست آمده، نقشه و درصد تغییرات هر کلاس مشخص و محاسبه شده است. نتایج تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۰۲، ۱۹۸۶ در نگاره‌های شماره ۴، ۵، ۶ ارائه شده است.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)  
 آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده ... / ۱۸۵

جدول ۶: مساحت‌های کاربری‌های اراضی و پوشش زمین تبدیل شده به یکدیگر در محدوده زمانی در ناحیه مورد مطالعه

		۱۹۸۶-۲۰۰۲	۱۹۸۶-۲۰۱۸
		مساحت (Hec)	مساحت (Hec)
بدون تغییر	بدون تغییر	۹۲۰۸۱/۹۷	۸۷۸۷۱/۴۱
ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی	پوشش گیاهی	۳/۲۴	۲۷/۳۶
	کوه و مرتع	۱۰۲/۸۷	۳۲۷/۶
	راه	۳۶/۱۶	۱۰۲/۸۷
پوشش گیاهی	ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی	۹۵۵/۲۶	۱۱۲۴/۷۳
	کوه و مرتع	۵۱۱۹/۴۷	۲۷۱۲/۵۱
	راه	۲/۷۹	۱۴۴/۳۶
کوه و مرتع	ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی	۴۱۱۹/۲۱	۷۸۲۳/۴۳
	پوشش گیاهی	۱۲۳۴/۹۸	۳۵۵۱/۲۴
	راه	۱۱۷	۲۸۹/۵۳
راه	ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی	۰	۰
	پوشش گیاهی	۰	۰
	کوه و مرتع	۰/۰۹	۰

۳-۴- مدل سازی تغییرات بوسیله مدل‌های سلول خودکار و مارکوف در سال ۲۰۵۰

پس از تولید نقشه‌های کاربری اراضی، از نقشه‌های سال ۱۹۸۶ و ۲۰۱۸ به عنوان نقشه‌های کاربری اراضی دوره اول و دوره دوم برای اجرای مدل مارکوف استفاده شد. پس از انجام مدل‌سازی، ۴ تصویر احتمال شرطی، ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال تولید شد. (تصاویر احتمال شرطی)

جدول ۷: مساحت پیش‌بینی شده چهار کلاس عارضه در سال ۲۰۵۰ با مدل CA-MARKOV

ردیف	کلاس عارضه‌ها	مساحت به هکتار	درصد
۱	ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی	۱۴۸۱۲/۱۱۰	۱۴/۲۴
۲	پوشش گیاهی	۶,۹۹۲/۸۲۰	۶/۷۲
۳	کوه و مرتع	۷۳۸۵۸/۵۹۰	۷۱/۰۲
۴	راه	۸۳۳۲/۲۰۰	۸/۰۱

که در نهایت با استفاده از ماژول STCHOICE نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۵۰ بدون اطلاعات وابستگی مکانی به صورت دانه دانه‌ای ایجاد شد. (نگاره ۸)

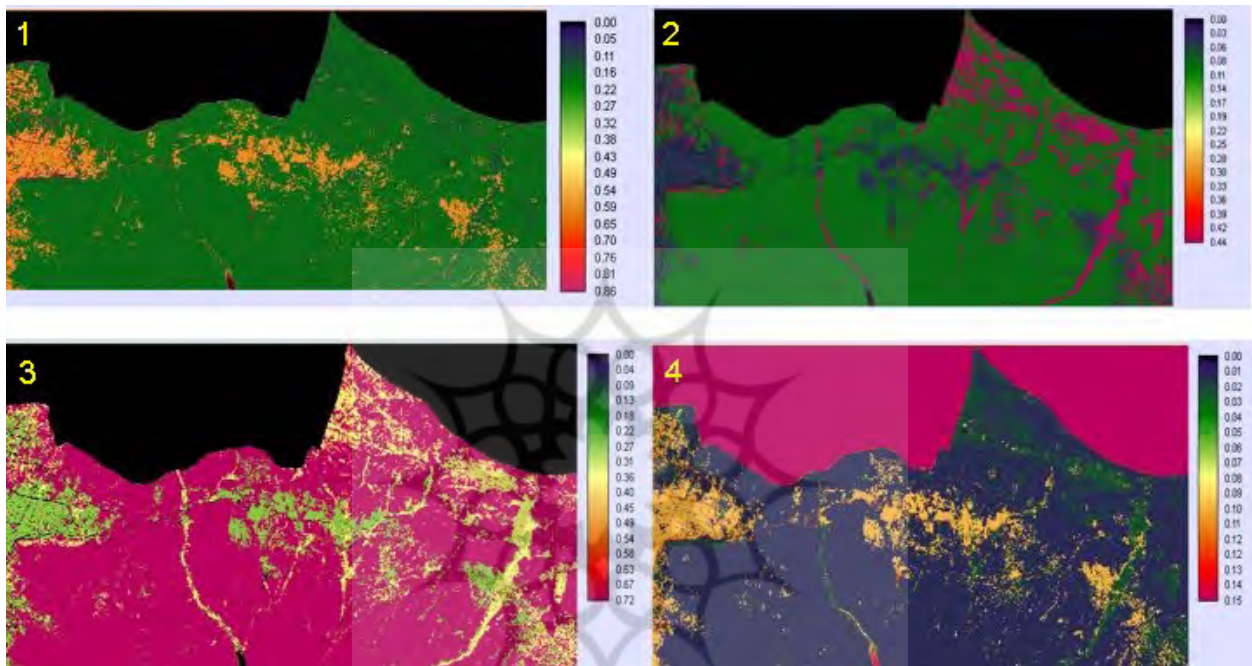
با توجه به اینکه در مدل مارکوف به تنهایی نتیجه مطلوب بدلیل نداشتن مؤلفه مکانی حاصل نمی‌شود با ترکیب مدل



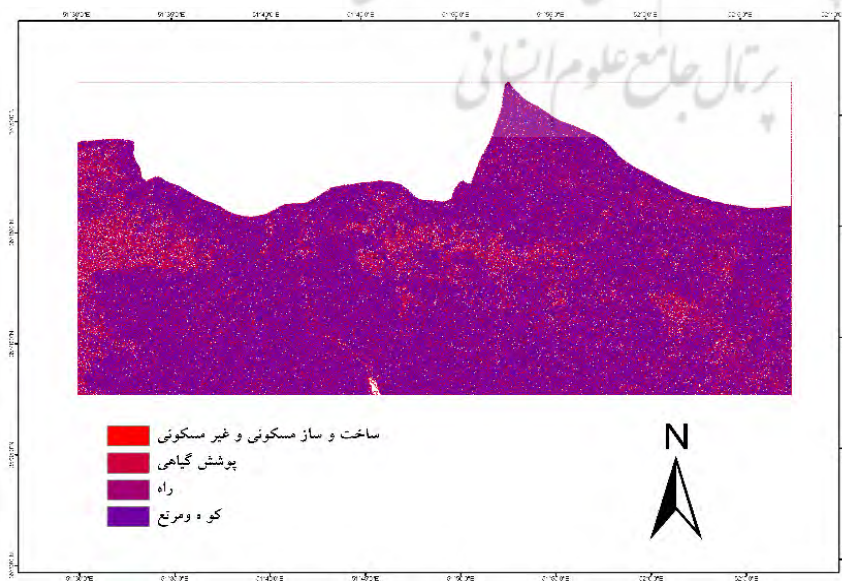
۵. بحث و نتیجه گیری

اشراف کلی تصاویر ماهواره‌ای بر پدیده‌ها و منابع زمین استفاده از آنها در تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی نقش عمده‌ای بازی می‌کند. کاربرد این تصاویر در زمینه‌های مختلف می‌تواند قابلیت و محدودیت‌های این داده‌ها را مشخص کند. نکته مهم بررسی قابلیت این داده‌ها با توجه به

امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امروزه به عنوان راهکاری مناسب در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، همچنین به عنوان یکی از منابع عرصه‌های مهم برنامه ریزی کاربری‌های اراضی شهری و روستایی مطرح است. به دلیل

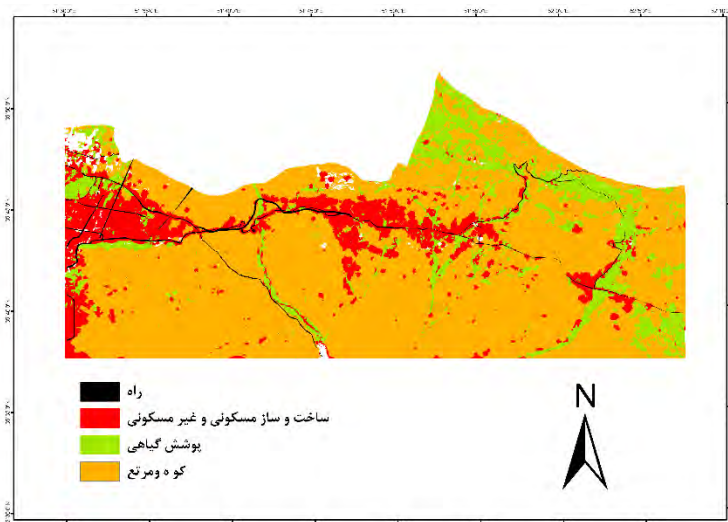


نگاره ۷: تصویر ۱ احتمال شرطی بودن کلاس ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی، تصویر ۲ احتمال شرطی بودن کلاس پوشش گیاهی تصویر ۳ احتمال شرطی بودن کلاس کوه و مرتع تصویر ۴ احتمال شرطی بودن راه



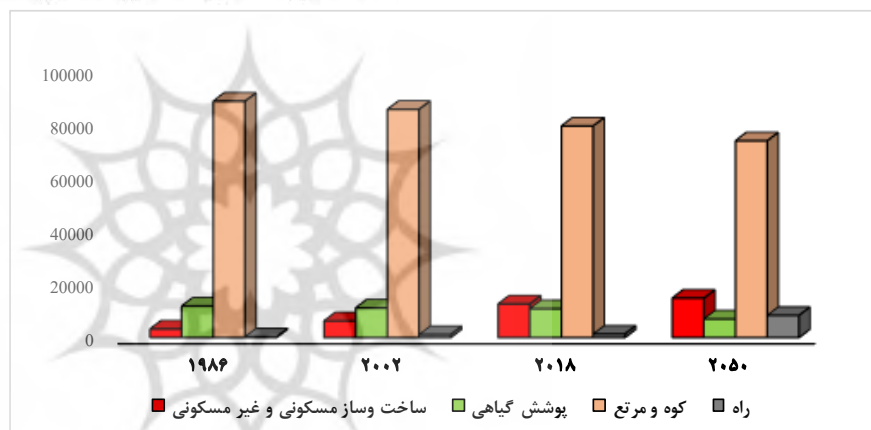
نگاره ۸: نقشه کاربری اراضی پیش بینی شده سال ۲۰۵۰ با مدل زنجیره مارکوف





نگاره ۹: نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال ۲۰۵۰ با مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

نگاره ۱۰: نمودار مساحت‌های ۴ کلاسه کاربری اراضی در سه دوره زمانی و یک دوره پیش‌بینی شده سال ۲۰۵۰



پیشرفت‌های روزافزون قابلیت‌های طیفی و مکانی آنهاست. آگاهی از نوع و درصد کاربری و پوشش‌های مختلف، نیازی بنیادی جهت شناخت و مدیریت یک منطقه است. یکی از منابع اطلاعات مؤثر، مفید و قابل کاربرد در شناسایی پوشش‌های زمین و تغییرات آن، داده‌های سنجنش از دور است. در این میان تصاویر دوره‌ای ماهواره‌ای لندست یکی از مهم‌ترین منابع داده‌ای برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین و گسترش کشاورزی و رشد شهری است. استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای بوسیله طبقه‌بندی، از پرکاربردترین روش‌های موجود است و از آنجا که داده‌های سنجنش از دور به سادگی در محیط GIS وارد می‌شود می‌توان از آن بطور خیلی گسترده در مدل‌سازی GIS استفاده کرد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست

در سه دوره زمانی ۱۹۸۶، ۲۰۰۲، ۲۰۱۸ جهت آشکار سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها تا سال ۲۰۵۰ بهره گرفته شد. در این روش برای مدل‌سازی از دو مقطع زمانی مختلف استفاده گردید. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، و بررسی صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی، نقشه‌های تولید شده در دوره پایه و دوره آخر برای ورود به مدل زنجیره مارکوف استفاده شد. خروجی زنجیره مارکوف به صورت یک ماتریس احتمال انتقال، یک ماتریس احتمال مساحت و ۴ تصویر احتمال شرطی است. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که در این تحقیق از روش زنجیره مارکوف و تلفیق آن با سلول‌های خودکار استفاده گردید. این روش بر اساس داده‌های موجود در نقشه کاربری اراضی بنا شده است. فرآیند مارکوف در

پیشرفت‌های روزافزون قابلیت‌های طیفی و مکانی آنهاست. آگاهی از نوع و درصد کاربری و پوشش‌های مختلف، نیازی بنیادی جهت شناخت و مدیریت یک منطقه است. یکی از منابع اطلاعات مؤثر، مفید و قابل کاربرد در شناسایی پوشش‌های زمین و تغییرات آن، داده‌های سنجنش از دور است. در این میان تصاویر دوره‌ای ماهواره‌ای لندست یکی از مهم‌ترین منابع داده‌ای برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین و گسترش کشاورزی و رشد شهری است. استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای بوسیله طبقه‌بندی، از پرکاربردترین روش‌های موجود است و از آنجا که داده‌های سنجنش از دور به سادگی در محیط GIS وارد می‌شود می‌توان از آن بطور خیلی گسترده در مدل‌سازی GIS استفاده کرد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست

که مساحت ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی از ۳/۱ درصد در سال ۱۹۸۶ به ۶/۰۱ درصد در سال ۲۰۰۲ رسیده در عین حال کوه و مرتع ۲/۹۶ درصد و پوشش گیاهی ۰/۷۶ درصد کاهش داشته است. به همین ترتیب در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ نیز شاهد افزایش ۶/۱۵ درصدی ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی و کاهش ۶/۱۱ درصدی کوه و مرتع و ۰/۲۲ درصدی پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه هستیم. میزان تغییرات کلاس عارضه راه در دوره زمانی اول ۰/۸۱ درصد و در دوره دوم ۰/۱۸ درصد افزایش داشته است. بطور کلی در طول دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی و راه افزایش و کوه و مرتع و پوشش گیاهی کاهش پیدا کرده‌اند. از طرفی مساحت محور راه‌های اصلی در محدوده مورد مطالعه در سال ۱۹۸۶ از ۳۱۴/۸۲ به ۱۳۳۶/۶۸ افزایش یافته است. نتایج این مطالعه گویای رشد توسعه مناطق شهری و متقابلاً کاهش کلاس‌های دیگر کاربری اراضی بوده و این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت. استفاده از داده‌های ماهواره لندست و تکنیک پردازش تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش نشان دهنده کارایی بالای تکنیک بکار رفته در زمینه آشکارسازی و مدل‌سازی رشد شهری است و سنجش از دور و GIS به آسانی می‌توانند با مدل‌های CA و MARKOV همراه شوند و اطلاعات بروز و ابزارهای پردازش مکانی قدرتمندی را در مدل‌سازی ایجاد نمایند. همچنین تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی در اجرای مدل‌های ارزیابی تغییرات مکانی - زمانی کاربری اراضی، به منظور آگاهی از نوع و درصد کاربری اراضی و میزان تغییرات آنها در منابع طبیعی و بخش‌های دیگر بسیار کارآمد است. نتایج حاصل از تحقیق کمک فراوانی به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان شهری جهت درک چشم انداز پیش رو و نیل به توسعه پایدار شهری می‌نماید.

با توجه به اینکه در حال حاضر آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزاری سودمند برای درک تغییرات زیست محیطی در رابطه

جایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده سیستم را بتوان به صورت کلی براساس وضعیت ماقبل سیستم مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال تغییرات کاربری از زمان یک به زمان دو انجام می‌گیرد که پایه‌ای برای نقشه سازی دوره‌های آینده است. بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل CA-Markov می‌تواند تغییرات آینده کالبد شهر را با توجه به شرایط محیط طبیعی نشان دهد. یعنی با توجه به وضعیت یک سلول در زمان حال با برقرار بودن شرایط محیطی کنونی وضعیت آن را در آینده پیش‌بینی کند. لذا با استفاده از این مدل می‌توان روند تخریب محیط طبیعی در گذشته و تغییرات آن در آینده را شبیه‌سازی کرد. در پدیده‌های شهری نوعی عدم قطعیت وجود دارد که منجر به فقدان صحت و دقت مورد نیاز در تصمیم‌گیری‌ها خواهد شد. مدل‌سازی فرایندهای مکانی نتایج واقع بینانه‌تری را برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌سازد. نتایج حاصل از پیش‌بینی ترکیب زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در این تحقیق نشان می‌دهد که در سه دوره زمانی با بازه ۱۶ ساله کوه و مرتع و پوشش گیاهی روند رو به کاهش داشته و ساخت و سازهای مسکونی و غیر مسکونی و راه‌ها روند فزاینده‌ای را داشته است. همانطور که در نگاره ۱۰ مشاهده می‌شود الگوی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۵۰ میلادی نیز همین روند را پیش‌بینی کرده، لذا از دلایل عمده از بین رفتن کوه مرتع و پوشش گیاهی می‌توان به ساخت شهرک‌های صنعتی بسیار زیاد بدون فاصله رعایت شده از کلانشهر تهران اشاره کرد که در این منطقه به صورت گسسته رشد داشته‌اند. از جمله شهرک‌های صنعتی مهرآباد، جاجرود، خرم دشت، کمرد، شمس آباد و بومهن و رودهن. در دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۲ بیشترین تغییرات مربوط به ساخت و سازهای مسکونی و غیر مسکونی است. در واقع این مقدار از کلاس عارضه کوه و مرتع از بین رفته است. به گونه‌ای

Systems and Remote Sensing Software; Clark Labs. Worcester, MA, USA.

6. Deep, Saklani, (2014). Urban sprawl modeling using cellular automata. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 17(2), 179-187.

7. Eastman J.R, (2006), IDRISI Andes Tutorial. Clark-Labs, Clark University, Worcester, 284 pp.

8. Gross, JE, Goetz, SJ, Cihlar, J, (2009), Application of remote sensing to parks and protected area monitoring Introduction to the special issue, Remote Sensing of Environment, 113, 7, 1343-1345

9. Hartter, J. South worth, J. Dwindling ,(2009), Resources and fragmentation of landscapes around parks. Wetlands and forest patches around Kibale National Park, Uganda. Landsc. Ecol, 24, 643-656.

10. Hua, A., (2017), Application of Ca-Markov model and land use/land cover changes in Malacca River Watershed, Malaysia. Appl. Ecol. Environ. Res., 15, 605-622.

11. Hu, Zhiyong, and Lo, C. P. , (2007), Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. Computers, Environment and Urban Systems, 31. 6. United Kingdom.

12. Iqbal Sarwar Md. Billa M. Paul, Alak.,(2016), Urban land use change analysis using RS and GIS in Sulakbahar ward in Chittagong city, Bangladesh. International Journal Of Geomatics and geosciences. 1. 7, Pp 1-10.

13. Jamal JOKAR Arsanjani, Marco Helbich, Wolfgang Kainz, Ali Darvishi Bolorani, (2013), "Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, pp 265-275, doi.10.1016/j.jag.12.014.

14. Jensen, J. R. ,(2015), Introductory digital image processing 4 rd edition, In Upper Saddle River. Prentice hall.

15. Kamusoko, Masamu, Bongo, Courage, Aniya, Adi, (2009), Rural sustainability under threat in Zimbabwe-simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model, Applied Geography 29 .435-447.

16. Krieger, D. J. ,(1999) , Saving open spaces: Public support for farmland protection. American Farmland

با فعالیتهای انسانی به حساب می‌آیند، پیشنهاد می‌شود برای محدوده‌های شهری جهت دستیابی به نتایج دقیق‌تر از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی استفاده گردد. در صحت نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل مارکوف عوامل مختلفی از جمله بازه‌های زمانی دو تصویر استفاده شده جهت تشکیل ماتریس وضعیت تبدیل، دقت و صحت داده‌های مورد استفاده و همچنین تعداد دوره ماتریس تبدیل وضعیت دخالت دارند. انتخاب بهینه هر یک از این عوامل فوق سبب خواهد شد که نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر شود. پیشنهاد می‌گردد نتایج حاصل از چنین پژوهش‌هایی با طرح‌های جامع شهری مقایسه و تا حد امکان از نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی جهت برنامه‌ریزی‌های آتی در این طرح‌ها استفاده گردد.

## منابع و مآخذ

۱. رضازاده، میراحمدی؛ راضیه، مهرداد (۱۳۸۸). مدل اتوماسیون سلولی، روش نوین در شبیه‌سازی رشد شهری، نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش، دوره چهارم، شماره یکم، تهران
۲. شفیعی ثابت، ناصر (۱۳۹۳)، خزش کلان شهر تهران و ناپایداری کشاورزی روستاهای پیرامونی، نشریه علمی پژوهشی آمایش محیط، دوره هفتم، شماره بیست و چهار.
۳. شفیعی ثابت، خاکسار؛ ناصر، سوگند (۱۳۹۶)، پیامدهای محیطی - اکولوژیک خزش شهری در سکونتگاه‌های روستایی پیرامون شهر همدان، علوم محیطی، ۱۵ (۳)، ۵۵-۷۴.
4. Arsanjani, JOKAR , Wolfgang , Mousivand ,Jamal, Kainz , Ali, Jafar, (2011), Tracking dynamic land use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata. the case of Tehran", International, Journal of Image and Data Fusion, 2. 4, United Kingdom
5. Clark Labs, (2006), IDRISI Geographic Information

- Environmental Management, 30(3): 391-405.
27. Verburg, P. H. ; de Nijs, T. C. M. ; Ritsema van Eck, J. ; Visser, H. ; de Jong, K., A. (2004), Method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. *Comput. Environ. Urban Syst*, 28, 667-690.
28. Verda Kocabas, Suzana Dragicevic, ,(2006), Assessing cellular automata model behaviour using a sensitivity analysis approach, *Computers, Environment and Urban Systems* 30 , 921-953.
29. Wang, Shi Qing, Zheng, Xizinqi, and Zang, X.B., (2012), Accuracy assessments of land use changesimulation based on Markov-cellular automata model, *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1238-1245
30. Weng, Q.(2002), Land use change analysis in theZhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling, *Journal of Environmental Management*, 64, 3, 273-284.
31. Yang X, Zheng X-Q, Lv L-N, (2012), Aspatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, *Markovchain and cellular automata. Ecological Modelling*, 233: 11-19.
32. Zeng, C.H, Liu, Y, Stein, A, Jiao, L., (2015). Characterization and spatial modeling of urban sprawl in the Wuhan Metropolitan Area, China, *International Journal of Applied Earth Observation and Geofomation*. 35, 10-24. [ussc.html](http://ussc.html), The Christian Science Monitor- and taxes septic systems.
- Trust, Center for Agriculture in the Environment
17. Kuldeep, Tiwari. And Kamlesh, Khanduri ,(2011), Land Use / Land cover change detectionin Doon valley (Dehradun Tehsil), Uttarakhand. using GIS& Remote Sensing Technique, *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2 (1). Pp 34-41
18. Li, HaiFeng. Inohae Takuro and Su Weici and Nagaie Tadashi and Hokao Kazunori, (2011), Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222. 20, Netherlands.
19. Mas, Jean-François, Melanie, Kolb, Martin, Paegelow, María Teresa, Camacho Imedo, and Thoma, Houet,(2014), Inductive pattern-based land use/cover change models, A comparison of four software packages, *Environmental Modelling & Software*, 51, 94-111.
20. Messina, J.P. Walsh, S.J., 2.5D Morphogenesis.(2001), Modeling landuse and landcover dynamics in the Ecuadorian Amazon. *Plant Ecol*, 156, 75-88.
21. Mitsova, D, Shuster, W, Wang, X, (2011), A cellularautomata model of land cover change to integrate urbangrowth with open space conservation, *Landscape and Urban Planning*, 99, 2, 141-153.
22. Pijanowski, Brown, Manik, (2002), Using neural nets and GIS to forecast land use changes. a land transformation model, *Computers, Environment and Urban Systems* 26 (6) 553-575.
23. Rahel Hamad, heiko Balzter,(2018), Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model under Two Different Scenarios
24. Taubenböck, Hannes. Thomas Esch and Andreas Felbier and Michael Wiesner  
And Achim Roth, and Stefan Dech,(2012), Monitoring urbanization in mega cities from space. *Remote sensing of Environment*, 117, Netherland
25. Vaz, Eric. Nijkamp Peter and Painho Marco, and Caetano Mario,(2012), A multi-scenario forecast of urban change. a study on urban growth in the Algarve, *Landscape and Urban Planning*, 104. 20, Netherland
26. Verburg PH, Soepboer W, Veldkamp A, Limpiada R, Espaldon V, Mastura SS, (2002),.Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model.