

Prediction of Land Use Changes Using CA-Markov: A Case Study of Yasuj City

Sayyad Asghari Sereskanrood^{1*}, Aliasghar Ardeshirpey²

1. Associate Professor, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. MSc. Student, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received: April 19, 2020; Accepted: June 21, 2020)

Abstract

Land use mapping and land use maps related to the prediction of spatial-temporal changes provide a major portion of the information required by urban planners and administrators to adopt correct measures and make principled decisions to achieve sustainable urban development. The purpose of this investigation was to examine land use and land cover changes in Yasuj city in the past and, consequently, to predict the spatial pattern of the land structure in the near future. In this study, the satellite object-based image analysis of the images taken by Landsat satellite in 1990, 2000, and 2018 was used to make a dynamic modeling of Yasuj lands use changes. Moreover, a combination of the Markov chain and automated cells were employed to predict land use changes. The results showed that during the period between 1991 and 2018, the area of pasturelands decreased by 7.18%, while the total area of residential areas increased by 2.02%. That is to say, the spread of Yasuj city has led to the increase in the residential and irrigated cultivation lands, while it has decreased pastures, forests, dryland cultivation areas, barren lands, and gardens. Furthermore, the development process of Yasuj city shows its tendency to physical-spatial expansion in all dimensions. Moreover, the land use map for the years 2030 and 2040 was predicted by the CA-Markov model. The results showed that during the period 2018-2040, pasturelands, dryland farming areas, and forests will decrease 1.08%, 1.03%, and 1.47%, respectively, residential areas will increase by 4.17%, and the waterbody will change a little. The results of the study show the high efficiency of the CA-Markov model for monitoring the trend of changes, especially urban growth, for the coming years based on the pattern of changes in the past years.

Keywords

Object-based classification, Yasuj city, CA-Markov, Land use changes.

* Corresponding Author, Email: s.asghari@uma.ac.ir

پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: شهرستان یاسوج)

سیاد اصغری سراسکان‌رود^{۱*}، علی‌اصغر اردشیرپی^۲

۱. دانشیار، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱)

چکیده

نقشه کاربری اراضی و نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات زمانی- مکانی کاربری اراضی تأمین‌کننده بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزان و مدیران شهری در زمینه اتخاذ تدابیر صحیح و تصمیم‌گیری‌های اصولی در جهت نیل به توسعه پایدار شهری است. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین در شهرستان یاسوج در گذشته و به تبع آن پیش‌بینی الگوی فضایی ساختار سرزمین در آینده نزدیک بود. در این پژوهش، با استفاده از پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ به مدل‌سازی دینامیک کاربری اراضی شهرستان یاسوج پرداخته و از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف سلول‌های خودکار برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده شد. نتایج نشان داد در فاصله زمانی بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ وسعت اراضی مرتعی ۷/۱۸ درصد کاهش و مساحت مناطق مسکونی ۲/۰۲ درصد افزایش یافته است. بدین ترتیب که گسترش شهرستان یاسوج باعث شده کاربری‌های اراضی مسکونی و کشت آبی روند افزایشی و کاربری‌های مرتع، جنگل، کشت دیم، زمین بایر، و باغات روند کاهشی داشته باشد. همچنین روند توسعه شهر نشان‌دهنده تمایل گسترش کالبدی- فضایی شهرستان یاسوج در همه ابعاد است. نیز نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ با مدل زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۴۰ اراضی مرتع و کشت دیم و جنگلی به ترتیب به میزان ۱/۰۸ و ۱/۶۳ و ۱/۴۷ درصد کاهش مساحت و کاربری مناطق مسکونی ۴/۱۷ درصد افزایش و بهینه آبی به مقدار ناچیز تغییر خواهد داشت. نتایج تحقیق حاکی از کارایی بالای مدل تلفیقی زنجیره مارکوف در پایش روند تغییرات، به‌خصوص رشد شهری، برای سال‌های آتی بر اساس الگوی تغییرات در سال‌های گذشته است.

کلیدواژه‌گان

تغییرات کاربری اراضی، شهرستان یاسوج، طبقه‌بندی شیء‌گرا، زنجیره مارکوف.

* رایانامه نویسنده مسئول: s.asghari@uma.ac.ir

مقدمه و بیان مسئله

امروزه شهرها با رشدی شتابان در حال گسترش و توسعه‌اند (احدی‌نژاد و حسینی ۱۳۹۰: ۱). علت گسترش اراضی شهری مهاجرت‌های درون‌شهری و برون‌شهری و عدم تأمین مسکن مورد نیاز اقشار مختلف است و این رشد بی‌رویه غالباً در اراضی حاشیه شهرها رخ داده است؛ طوری که باعث تخریب اراضی کشاورزی، صدمات زیست‌محیطی، و رشد ناموزون و پراکنده شهر شده است (رحمتی و حیدری‌نژاد ۱۳۸۸: ۲۸). توسعه فیزیکی شهرها فرآیندی پیچیده است که با مطالعه روابط متقابل میان عوامل بیوفیزیکی و انسانی بررسی می‌شود. توسعه فیزیکی شهرها با تغییرات زیادی همراه است؛ از جمله تغییرات کاربری اراضی شهری (He et al 2008: 44). تغییرات کاربری و پوشش زمین با محرکه‌های متعدد ایجاد می‌شوند که برخی متغیرهای زیست‌محیطی و اقتصادی و اجتماعی را کنترل می‌کنند. بنابراین، این محرکه‌ها باید برای اتخاذ و پیگیری متغیرهای کنترلی یادشده شناسایی شوند. محرکه‌های یادشده در مدیریت تغییرات کاربری اراضی، به‌خصوص در مناطق تحت مدیریت سازمان‌های زیست‌محیطی، باید به کار روند. زیرا در چند دهه اخیر زیر بار تغییرات منفی متعدد رفته‌اند (Nguyen et al 2017: 110). امروزه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی از فناوری‌های برتر و کارآمد جهت بررسی تغییرات محیطی محسوب می‌شوند. این تکنیک‌ها منابع اولیه داده جهت مطالعات آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی و همچنین مدیریت منابع در دهه‌های اخیر شناخته شده‌اند که تأثیر بسزایی بر مدیریت اراضی و برنامه‌ریزی چگونگی استفاده از آن‌ها داشته‌اند (Rogan et al 2004: 318). بنابراین مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی، با استفاده از تکنولوژی، بیش از یک دهه است که به موضوع تحقیقات علمی محققان مبدل شده است (Pontius et al 2006: 44). پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده اهمیت دارد. بنابراین، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات لازمه مراقبت از یک اکوسیستم، به‌ویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی در کشورهای در حال توسعه، است. پیش‌بینی مکانی کاربری اراضی را می‌توان به وسیله مدل‌های تجربی، بر اساس برون‌یابی الگوی تغییری که در گذشته نزدیک مشاهده شده است، با ارائه محدود عوامل مؤثر بر این تغییرات، نشان داد (Suriya et al 2012: 17). روش‌های متنوعی برای مدل‌سازی تغییرات پوشش و

کاربری اراضی وجود دارد که از آن‌ها می‌توان به مدل مارکوف اشاره کرد. با استفاده از مدل زنجیره مارکوف^۱، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (Guan et al 2008: 460). آنالیز زنجیره مارکوف ابزاری مناسب جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است و زمانی کاربرد دارد که تغییرات موجود در چشم‌اندازها به راحتی قابل توصیف نباشند. زنجیره مارکوف یک سری مقادیر تصادفی است که احتمال آن‌ها در فاصله زمانی داده شده به مقدار اعداد در گذشته بستگی دارد (Fan et al 2007: 1336). با پیش‌بینی تغییرات کاربری، می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (Hathout 2009: 234). بنابراین، از مدل‌های فضایی، که ابزاری مفید برای درک فرایند توسعه شهری و ابزار کمکی برای سیاست‌گذاری و مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم‌کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر محیط زیست هستند می‌توان برای مدل‌سازی فرایند توسعه شهری استفاده کرد (He et al 2008: 44). به علت تغییرات بسیار زیاد در کاربری اراضی، طی سال‌های مورد مطالعه، پژوهشگران در این پژوهش به دنبال آن بودند که روند تغییرات آینده را مدل‌سازی کنند و با ارائه پیشنهاد و ترسیم افق آینده به جلوگیری از تخریب بیشتر محیط زیست طبیعی و رشد ناموزن شهری کمک کنند. هدف پژوهشگران از این پژوهش بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین در شهرستان یاسوج در گذشته و به تبع آن پیش‌بینی الگوی فضایی ساختار سرزمین در سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۰ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف برای دستیابی به امکان برنامه‌ریزی شهری بر اساس روند تغییرات کاربری بود. در پژوهش حاضر سعی شد به پرسش‌هایی پاسخ داده شود: تغییرات کاربری اراضی شهرستان یاسوج در بازه‌های زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ چگونه بوده است؟ در سال ۲۰۴۰ کدام‌یک از کاربری‌ها بیشترین میزان تغییرات را خواهد داشت؟

مبانی نظری

پیشینه تحقیق

جهت مطالعه و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مدل‌های مختلفی توسعه پیدا کرده‌اند. اما، به دلیل ماهیت و عملکرد متفاوت آن‌ها در نوع آینده‌نگری، انتخاب الگوریتم مناسب طبقه‌بندی و

مدل پیش‌بینی کاربری اراضی دشوار است. یکی از مدل‌های رایج جهت مدل‌سازی نقشه کاربری اراضی مدل سلول خودکار و زنجیره مارکوف است. مدل زنجیره مارکوف به صورت یک فرایند تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت تصادفی آینده یک پیکسل تنها به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و بر اساس آن پیش‌بینی می‌شود. بنابراین، نتیجه مستقیم آن یک ماتریس است که احتمال را پیش‌بینی می‌کند و نقشه واحدی برای آن ترسیم نمی‌شود. برای رفع این مشکل در سال ۱۹۵۰ مدل زنجیره خودکار را جان وان نیومن برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل زنجیره مارکوف پیشنهاد کرد (Guan et al 2011).

مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار

زنجیره مارکوف یکی از روش‌های معتبر جهت مدل‌سازی تغییرات پوشش کاربری اراضی با استفاده از روند فعلی است. فرض اساسی مدل زنجیره مارکوف این است که وضعیت کاربری اراضی در آینده (t+1) را می‌توان یک تابع از کاربری حال حاضر (t) تعریف کرد.

$$x_{(t+1)} = f_{(xt)} \quad (1)$$

در رابطه ۱ $x_{(t+1)}$ نشان‌دهنده کاربری اراضی در زمان t+1 و x نشان‌دهنده کاربری زمین در زمان t است (Houet et al 2006: 44). ساختار مدل زنجیره مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شامل یک بردار (N) با ابعاد $M \times 1$ (M نشان‌دهنده تعداد کلاس کاربری‌هاست)، که توصیف‌کننده توزیع کاربری حاضر، و یک ماتریس $M \times M$ احتمالات انتقال (P) بین یک جفت از کلاس کاربری i و j است. احتمال انتقال با رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\sum_j^m p_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3 \dots m \quad (2)$$

ماتریس احتمال انتقال هر یک از کاربری‌ها به کاربری دیگر را توضیح می‌دهد. این ماتریس نتیجه جدول حاصل از تطابق سری زمانی نقشه‌های کاربری اراضی است که بر مبنای خطای نسبی اصلاح شده است. زنجیره مارکوف چند تصویر احتمال ایجاد می‌کند. این تصاویر، که از ماتریس مساحت انتقال یافته به دست آمده‌اند، این احتمال را بیان می‌کنند که هر نوع پوشش

زمین در هر موقعیت در آینده پیدا شود. مشخصه اصلی زنجیره مارکوف این است که موقعیت مکانی تغییرات را در نظر نمی‌گیرد. به عبارت دیگر، هیچ درک جغرافیایی ایجاد نمی‌کند. تغییرات احتمال دارد برای هر کاربری رخ دهد و توزیع مکانی این تغییرات مشخص نیست. بنابراین، در خروجی مدل‌سازی زنجیره مارکوف هیچ مؤلفه مکانی تولید نمی‌شود. به همین دلیل، جهت اضافه کردن عنصر مکانی به مدل از شبکه سلول‌های خودکار استفاده می‌شود (Soe & Ie 2006: 392). الگوی مناسب در مدل‌سازی سلول‌های خودکار با استفاده از توابع انتقالی، شبکه سلولی و وضعیت آن‌ها، همسایگی و روابط متقابل بین سلول تعیین می‌شود (علی‌محمدی و همکاران ۱۳۸۸: ۹۲). به منظور مدل‌سازی روند تغییرات پوشش اراضی مطالعات مختلفی انجام گرفته است. محمدی و همکارانش (۲۰۱۰: ۸۸) تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حومه جنوب غرب تهران را با استفاده از مدل سلول خودکار شبیه‌سازی کردند و کارایی این مدل را برای شرایط منطقه مورد مطالعه مناسب ارزیابی کردند. پیکر^۱ و همکارانش (۲۰۱۲: ۳۳۱) طی مطالعاتی در منطقه‌ای حفاظت‌شده، واقع در جنوب اسپانیا، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری اراضی را مدل‌سازی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش کاربری کشاورزی و مسکونی در منطقه بود. ارسنجانی و همکارانش (۲۰۱۳: ۲۷۱)، با ادغام روش‌های رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکوف و مدل ماشین‌های سلول‌ها، به شبیه‌سازی نقشه توسعه شهری در منطقه تهران پرداختند. در نهایت، نقشه کاربری را برای دو دوره ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که در این دوره شبیه‌سازی موج جدیدی از توسعه شهری در این منطقه رخ خواهد داد. رمضان‌ی و همکارانش (۲۰۱۵: ۸۹) تغییرات کاربری و پوشش اراضی را در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA-مارکوف در شهر اسفراین بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده کاهش سطح مراتع و اراضی کشاورزی بود. معبودی و همکارانش (۲۰۱۶: ۲۲۳) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی گسترش شهری شهرهای میانه را تحلیل کردند. آن‌ها برای این تحلیل شهر خوی را انتخاب کردند. نتایج حاکی از افزایش مناطق شهری و کاهش اراضی کشاورزی و باغی در سال ۱۴۰۰ بود. (Iqbal et al 2016: 8) از مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در

1. Piquer

سال ۲۰۱۶ در کشور بنگلادش استفاده کردند و روند تغییرات کاربری اراضی در منطقه شهری شهر چیتاگونگ را در بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ با داده‌های ماهواره لندست^۱ TM مورد مطالعه قرار دادند. پس از پردازش و تصحیح تصاویر و طبقه‌بندی آن‌ها با کمک سنجش از دور و مقایسه نقشه‌ها و پژوهش‌های قدیمی در دسترس نتایج نشان داد ۲۷ درصد از مساحت منطقه مورد نظر دستخوش تغییر شده است و پژوهشگران با بهره‌گیری از فناوری GIS و RS برای برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت پایدارتر در بهره‌مندی از مناطق شهری تاکید کردند. ریمال^۲ و همکارانش (۲۰۱۸: ۱۵۴)، با استفاده از تلفیق مدل شبکه خودکار و زنجیره مارکوف، به مدل‌سازی روند توسعه شهری در منطقه کاتماندو در کشور نپال پرداختند. در این مطالعه تصاویر لندست استفاده شد و به منظور تجزیه و تحلیل بهتر اطلاعات تغییرات کاربری و پوشش زمین به هفت دوره زمانی (۱۹۹۸ تا ۱۹۹۲، ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶، ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴، ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸، ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳، ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶) طبقه‌بندی شد. در این مطالعه طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام شد و با بهره‌گیری از مدل شبیه‌سازی هیبریدی، که از تلفیق مدل شبکه خودکار و زنجیره مارکوف به دست آمده است، گسترش و توسعه کاربری شهر در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد. نتایج نشان‌دهنده گسترش بی‌رویه شهر از تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به کاربری شهری بود با میانگین رشد سالیانه ۹/۱۵ درصد. تراول^۳ و همکارانش (۲۰۱۸: ۲)، با استفاده از تلفیق دو مدل شبکه خودکار و زنجیره مارکوف در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، به تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری در پایتخت کشور گینه پرداختند. در این مطالعه از داده‌های لندست سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ استفاده شد. با استفاده از نقشه تغییر کاربری سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۰ نقشه تغییر کاربری سال ۲۰۱۶ بر اساس مدل مارکوف و زنجیره مارکوف شبیه‌سازی شد. به منظور اعتبارسنجی نتیجه شبیه‌سازی با نقشه پوشش زمین و تغییر کاربری سال ۲۰۱۶ از مشخصه عامل نسبی (ROC) استفاده شد که توافق فراوانی را میان دو نقشه نشان می‌دهد. بر همین اساس، نقشه تغییرات کاربری و پوشش زمین برای سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی شد. نتایج افزایش کاربری شهری از ۴۹ درصد به ۵۹ درصد و کاهش پوشش گیاهی از ۳۵

1. LANDSAT
2. Rimal
3. Traver

درصد به ۳۲ درصد را نشان داد. بر اساس نتیجه‌گیری این پژوهشگران، این مطالعه مبنایی را برای ارزیابی پایداری و مدیریت منطقه شهری فراهم می‌کند. Munthali و همکارانش (۲۰۱۹: ۲۰۱۹) به مدل‌سازی پوشش کاربری اراضی مالای با استفاده از شبکه سلول خودکار مارکوف پرداختند. در این پژوهش محققان با ترکیب دانش سنجش از دور و Gis تلاش کردند تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را برای بازه‌های زمانی ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ بررسی کنند و برای ارزیابی دقت نقشه‌ای تولید شد از صحت کلی و ضریب کاپا استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد کاربری‌های پهنه‌های آبی و زمین‌های بایر و مناطق انسان‌ساخت افزایش مساحت خواهند داشت و در مقابل زمین‌های کشاورزی و جنگل‌ها با کاهش مساحت مواجه خواهند بود و همچنین بیشترین میزان تغییر برای مناطق جنگلی به مقدار ۶۴ درصد خواهد بود. کیانی سلمی و ابراهیمی (۱۳۹۷: ۸۴) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آن با استفاده از سلول خودکار در شهرستان شهرکرد پرداختند. نتایج نشان داد در سال ۱۳۹۵ میزان اراضی شهری ۱۳ درصد نسبت به سال ۱۳۸۲ افزایش یافته است و میزان تغییرات اراضی برای ۱۰ سال آتی (۱۴۰۵) نشان‌دهنده رشد اراضی شهری معادل با ۶/۰۱ درصد است.

مواد و روش

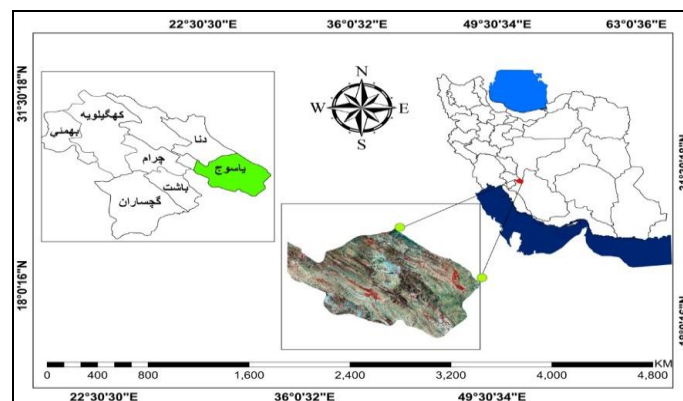
داده‌های مورد استفاده

تحقیق حاضر از لحاظ هدف کاربردی است و از نظر ماهیت به دلیل نگرش آینده‌پژوهی کشاورزی و اکتشافی با تأکید بر مطالعات میدانی است. اطلاعات مورد نیاز با استفاده از دو شیوه اصلی اسنادی و میدانی به دست آمد. در روش اسنادی تلاش شده است که منابع معتبر علمی، تصاویر ماهواره لندست سنجنده‌های ETM+، TM و OLI و در نوع مطالعات میدانی برای رسیدن به دقت نتایج حاصله استفاده شده است. رویکرد غالب بر این پژوهش کمی-کیفی بود. در پژوهش حاضر برای شناسایی منطقه و تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ (ماه اوت) استفاده شد. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای ENVI۵.۳ و به منظور اخذ خروجی از پردازش انجام‌شده بر تصاویر از نرم‌افزار ArcMap.۱۰،۳ استفاده شد. از نرم‌افزار eCognition Developer ۶۴ برای طبقه‌بندی شیء‌گرا و از نرم‌افزار Edrisi selva برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات استفاده شد. در نهایت، برای طبقه‌بندی شیء‌گرا از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده

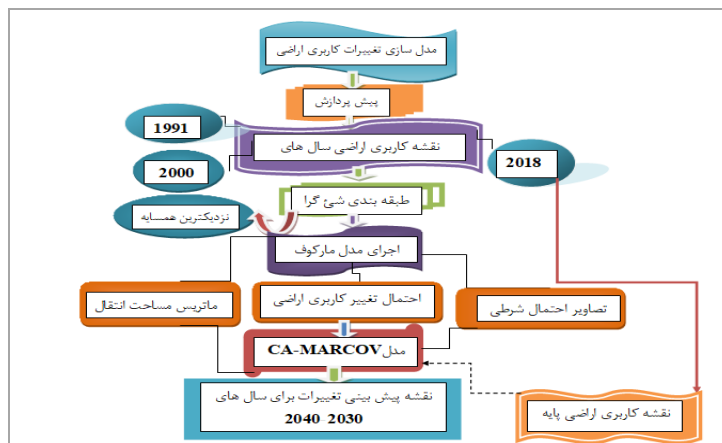
شد. به منظور ارزیابی نتایج طبقه‌بندی از دقت کلی و ضریب کاپا جهت بررسی صحت طبقه‌بندی نقشه‌ها استفاده شد (جدول ۱). در محاسبه ضریب کاپا پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی نشده‌اند نیز دخالت داده می‌شوند. جهت محاسبه تغییرات و پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ از مدل سلول خودکار مارکوف استفاده شد. به منظور تعیین تغییرات کلاس‌های مختلف کاربری اراضی هر یک از کلاس‌های به‌دست‌آمده در سال ۱۹۹۱ به طور جداگانه بر نتیجه طبقه‌بندی در سال ۲۰۰۰ قرار دادند و سپس درصد تغییرات مساحت هر یک از کلاس‌ها به صورت نمودار و جدول ترسیم شد. ترتیب مراحل انجام دادن پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است.

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده جغرافیایی مورد مطالعه شهرستان یاسوج، مرکز استان کهگیلویه و بویراحمد، در جنوب غرب کشور بود. شهرستان یاسوج در شرق و شمال شرقی استان کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد. یاسوج در کنار رودخانه بشار و در دامنه قله دنا و تپه‌های متعدد در ارتفاع ۱۸۷۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است؛ در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۰ درجه و ۵۰ دقیقه عرض جغرافیایی. این شهرستان از شمال با استان چهارمحال و بختیاری، از جنوب با استان‌های فارس و بوشهر، از شرق با استان‌های اصفهان و فارس، و از غرب با استان خوزستان همسایه است. قله دنا، با ارتفاع ۴۴۰۹ متر، بلندترین نقطه استان و پست‌ترین ناحیه آن لیستر با ارتفاع ۵۰۰ متر از سطح دریاست. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. روند کلی پژوهش

روش و ابزار تحقیق

تصاویر از نظر وجود خطای هندسی و اتمسفری و رادیومتریک بررسی شد. تصاویر استفاده‌شده در این پژوهش در سطح تصحیحات LIT دریافت شد و به همین دلیل به تصحیح هندسی نیاز نبود. تصحیح رادیومتریک و اتمسفریک این تصاویر از طریق الگوریتم FLAASH در نرم‌افزار ENVI انجام شد. یکی از روش‌های پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر سنجنش از دور طبقه‌بندی تصویر است که امکان استخراج اطلاعات مختلف- مانند نقشه‌های پوشش کاربری اراضی و تغییرات- را برای کاربران فراهم می‌کند (شجائیان و همکاران ۱۳۹۳: ۴۲). طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیای تصویری ارتباط می‌دهد (Blaschke 2009: 15). الگوریتم استفاده شده برای طبقه‌بندی در روش شیء‌گرا الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه است. در فرایند طبقه‌بندی با این الگوریتم، پیکسل‌ها بر اساس وزن به کلاس‌های مختلف نسبت داده می‌شوند. بنابراین، در این روش طبقه‌بندی پیکسل مخلوط از یک درجه عضویت برای هر کلاس برخوردار است و بر اساس منطق فازی متناسب با بیشترین درجه عضویت در یک کلاس خاص طبقه‌بندی می‌شود (فیضی‌زاده و همکاران ۱۳۸۸: ۷۶). برای هر دو روش طبقه‌بندی (شیء‌گرا و پیکسل پایه) انتخاب یک رشته از نمونه‌های تعلیمی به عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات ضروری است (Dehvari et al 2009: 92). بنابراین، نمونه‌هایی از طبقات به تعداد مناسب و متناسب با فراوانی و پراکندگی هر طبقه در منطقه و بر اساس اطلاعات

میدانی انتخاب شدند. این نمونه‌ها همگی خارج از محدوده پلات واقعیت زمینی قرار داشتند تا در ارزیابی صحت وارد نشوند. نمودار توزیع ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی در همه باندهای طیفی بررسی شد که از توزیع نرمال برخوردار بودند (شتابی جویباری ۱۳۸۲: ۱۵۵).

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

ارزیابی صحت و دقت طبقه‌بندی موضوعی مهم و کلی برای مقایسه نتیجه طبقه‌بندی با واقعیت زمینی است (MatinFar et al 2007: 452). معمولی‌ترین پارامترهای برآورد دقت شامل دقت کل، دقت تولیدکننده، دقت کاربر، و ضریب کاپاست (Arki et al 2011: 431). صحت کلی نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است (Rasouli 2008: 447) که از رابطه ۳ حاصل می‌شود (Alavi Panah et al 2003: 478).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (3)$$

در رابطه ۳، OA دقت کل، N تعداد کل پیکسل‌های آموزشی، و $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست. در بسیاری از تحقیقات در کنار شاخص صحت کل از ضریب کاپا استفاده می‌شود. ضریب کاپا، به دلیل توجه به تعداد پیکسل‌های نادرست، در طبقه‌بندی استفاده می‌شود و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Boniat et al 2008: 430).

$$kappa = \frac{P_{i-p_c} - p_c}{1 - p_c} \cdot 100 \quad (4)$$

در رابطه ۲، p_i درستی مشاهده شده و p_c توافق مورد انتظار است. حالت ایده‌آل برای ضریب کاپا عدد ۱ است و چنانچه این مقدار برابر ۰ باشد، طبقه‌بندی کاملاً تصادفی بوده و اگر مقدار منفی به دست آید، نشان‌دهنده خطا در طبقه‌بندی است.

جدول ۱. دقت کلی و ضریب کاپای تصاویر طبقه‌بندی شده

تصاویر ماهواره‌ای	دقت کلی (واحد درصد)	ضریب کاپا (واحد درصد)
لندست TM سال ۱۹۹۱	۹۶/۸۹	۰/۹۳
لندست ETM+ سال ۲۰۰۰	۹۴/۰۵	۰/۹۱
لندست OIL سال ۲۰۱۸	۹۳/۶۶	۰/۹۰

تلفیق مدل مارکوف و زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف یک ابزار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در جایی است که توصیف تغییرات و فرایندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. زنجیره مارکوف وضعیت آینده یک سیستم را بر اساس وضعیت قبلی آن مدل‌سازی می‌کند (Salmanmahini et al 2012: 596). مدل مارکوف شامل زنجیره‌ای متوالی از متغیرهای تصادفی $x_1, x_2, x_3, \dots, x_r$ و x است. به عبارت دیگر، اگر مجموعه‌ای از حالات را به صورت $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_r\}$ داشته باشیم، p_{ij} با رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{j_k} P_{jk} P_{jk} \quad (5)$$

در رابطه ۵ $P_{ij}^{(n)}$ احتمال رفتن از حالت i به حالت j را پس از n گام نشان می‌دهد (Soroudi et al 2013: 118). موضوع اساسی در زنجیره مارکوف این است که هیچ صحبتی از عنصر مکانی مدل‌سازی نشده است. به عبارت دیگر، احتمالات انتقال ممکن است برای هر یک از کاربری‌ها به دست آمده باشد؛ اما، هیچ اطلاعاتی از توزیع مکانی تغییرات هر یک از طبقات کاربری در آن وجود ندارد. برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل از سلول‌های خودکار استفاده می‌شود. مدل زنجیره مارکوف تلفیقی از سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی (MOLA¹) است (Zare Garizi et al 2012: 281).

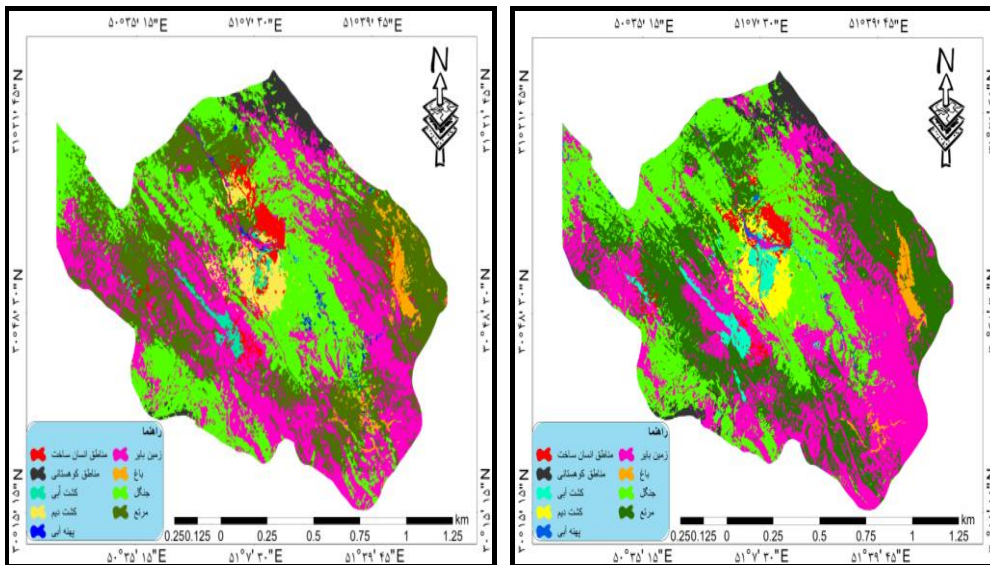
یافته‌های پژوهش

با توجه به نقشه‌های ۳ و ۴ و نتایج به دست آمده از میزان مساحت جدول ۲ مشاهده می‌شود تغییرات در پوشش کاربری زمین در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ نمایانگر رشد شهری در شهرستان یاسوج است. جدول ۲ نشان می‌دهد زمین بایر و مرتع و جنگل کلاس‌های پوشش/ کاربری زمین بایر در منطقه مورد مطالعه بوده‌اند. در فاصله سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ کاربری زمین بایر از ۶۶/۳۸۴۱ به ۷۲/۲۸۴۶ هکتار و در سال ۲۰۱۸ به ۷۵/۸۴۸۴ هکتار افزایش یافته و این بدان معناست که شهرستان یاسوج در این دوره ۲۷ ساله با ۴/۴۸ درصد افزایش کاربری زمین بایر مواجه بوده است که دلیل آن از بین رفتن اراضی جنگلی و مرتع و افزایش میزان ساخت‌وساز مناطق مسکونی در محدوده

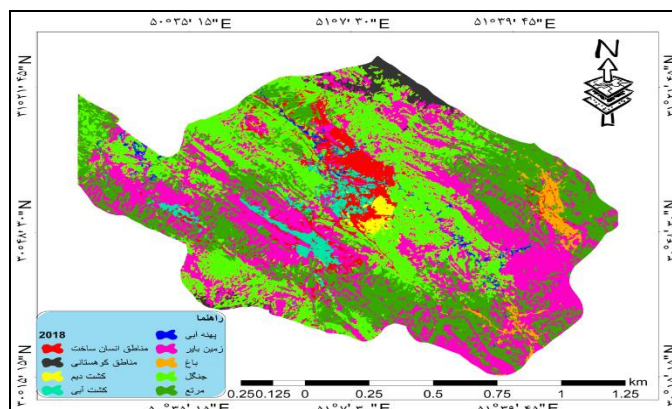
مورد مطالعه است. همچنین، در این دوره زمانی اراضی مرتع و جنگل به ترتیب از ۵۹/۰۹۵ و ۵۸/۴۳۱۹ هکتار به ۵۴/۱۱۸۳ و ۵۶/۴۵۷۱ هکتار و در سال ۲۰۱۸ به ۴۷/۵۷۱۳ و ۵۵/۱۸۸۳ هکتار کاهش یافته است؛ که به دلیل ساخت‌وسازهایی است که در این دوره ۲۷ ساله رخ داده است. بنابراین، بیشتر تبدیل‌های صورت گرفته را می‌توان ناشی از گسترش اراضی مسکونی در محدوده جنگل و اراضی بایر دانست. با دقت در تصاویر طبقه‌بندی شده در شکل‌های ۳ و ۴ تغییرات قابل مشاهده است. علت رشد بی‌رویه اراضی مسکونی در سال‌های مورد بررسی را می‌توان افزایش جمعیت و مهاجرت ساکنان روستاهای اطراف به شهر، برای اشتغال در بخش غیر کشاورزی، دانست که به ساخت‌وسازهای غیر قانونی در حومه شهر منجر شده و در سال‌های اخیر روندی روبه‌رشد داشته است. این رشد بیشتر در جهت جنوب و شرق محدوده مورد مطالعه بوده است. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات کاربری‌ها صورت گرفته بیانگر ادامه روند کاهشی در جنگل‌های منطقه است که ضرورت اجرای طرح‌های حفاظتی و احیا را دوچندان می‌سازد. این احتمال وجود دارد که زمین‌ها بایر و اراضی جنگلی تخریب شده در آینده به مناطق مسکونی تبدیل شوند.

جدول ۲. مساحت و درصد طبقات کاربری اراضی در طول سه دوره مطالعه (۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸)

سال‌ها	۱۹۹۱	۲۰۰۰	۲۰۱۸	کاربری‌ها	
مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
۴/۸۲۲۷	۲/۲۹	۷/۰۳۹۳	۳/۳۴	۱۳/۶۶۰۱	۴/۴۹
۶/۱۹۸۸	۲/۹۴	۶/۰۹۶۷	۲/۸۹	۵/۰۹۳۴	۲/۴۲
۵/۶۶۵۸	۲/۶۹	۵/۹۱۳۸	۲/۸۱	۱/۴۱۰۶	۱/۷۱
۵/۴۱۶۱	۲/۵۷	۲/۹۶۵	۱/۴۰	۶/۶۵۰۱	۳/۱۶
۱/۳۱۳۴	۰/۶۷	۰/۹۴۸۹	۰/۴۸	۱/۲۵۱۵	۰/۵۹
۶۶/۳۸۴۱	۳۱/۵۶	۷۲/۲۸۴۶	۳۴/۳۵	۷۵/۸۴۸۴	۳۶/۰۴
۲/۹۲۶۷	۱/۳۹	۴/۵۹۷	۲/۱۸	۳/۷۴۱۴	۱/۷۷
۵۸/۴۳۱۹	۲۸/۱۰	۵۶/۴۵۷۱	۲۶/۸۳	۵۵/۱۸۸۳	۲۶/۲۲
۵۹/۰۹۵۰	۲۸/۷۸	۵۴/۱۱۳۸	۲۵/۷۱	۴۷/۵۷۱۳	۲۱/۶۰



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۱ (سمت راست) و سال ۲۰۰۰ (سمت چپ)



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

برای درک اینکه طی دوره ۲۷ ساله تغییرات منطقه چگونه بوده و کدام کلاس افزایش مساحت و کدام کلاس کاهش مساحت داشته از نقشه‌های طبقه‌بندی شده استفاده شد و با مقایسه این نقشه‌ها و جدول به‌دست‌آمده نقشه و درصد تغییرات هر کاربری مشخص و محاسبه شد. با استفاده از نقشه

پوشش و کاربری اراضی تهیه شده برای هر دوره، درصد مساحت و محیط هر کلاس پوشش زمین محاسبه شد. همین طور درصد هر کاربری نسبت به کل منطقه مورد مطالعه برای آگاهی از میزان تغییرات به وقوع پیوسته در دوره های بعدی به دست آمد. جدول ۲ روند تغییرات درصد و مساحت هر کاربری اراضی در دوره های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ را نشان می دهد. در تحقیق حاضر، با توجه به سؤال پژوهش، کاربری زمین بایر در سال ۱۹۹۱ برابر با ۳۱/۵۶ درصد و در سال ۲۰۱۸ برابر با ۳۶/۰۴ درصد بوده که نشان دهنده افزایش ۴/۴۸ درصدی اراضی زمین بایر است. همچنین، اراضی مسکونی در سال ۱۹۹۱ برابر با ۲/۲۹ درصد و در سال ۲۰۱۸ برابر با ۴/۴۹ درصد بوده که نشان دهنده افزایش ۲/۰۲ درصدی اراضی انسان ساخت است. در مقابل، اراضی مرتعی و جنگلی در سال ۲۰۱۸ به ترتیب ۷/۱۸ و ۱/۸۸ درصد از مساحت خود را نسبت به سال ۱۹۹۱ از دست داده اند. به منظور پیش بینی تغییرات کاربری اراضی، با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، از جدول مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرطی استفاده شد. نقشه کاربری اراضی حاصل از مدل سازی را می توان با نقشه کاربری اراضی به دست آمده از تصاویر ماهواره لندست سال ۲۰۱۸، به عنوان نقشه مرجع، مقایسه کرد. ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطای نقشه به دست آمده از مدل سازی و نقشه کاربری اراضی به دست آمده از تصاویر لندست سال ۲۰۱۸ برابر با ۰/۹۳ درصد به دست آمد. جهت ایجاد سناریوی پیش بینی برای سال های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ از تغییرات رخ داده در دوره دوم مدل مارکوف بر نقشه های کاربری اراضی سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ اجرا شد. در ادامه با استفاده از ماتریس مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرطی، به منظور پیش بینی مدل زنجیره مارکوف تصاویر شرطی به دست آمده، مدل تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ اجرا شد. جدول ۳ احتمال تغییر کاربری برای نقشه پیش بینی سال ۲۰۳۰ و جدول ۴ احتمال تغییر کاربری برای نقشه پیش بینی سال ۲۰۴۰ را نشان می دهد. بر این اساس احتمال انتقال کاربری کشت آبی به جنگل و پهنه آبی به جنگل به ترتیب به میزان ۰/۰۲۹۰ و ۰/۰۳۲۶ درصد برای سال ۲۰۳۰ بالاترین ارزش را دارد و برای سال ۲۰۴۰ بیشترین احتمال انتقال کاربری ها تبدیل کاربری کشت آبی به پهنه آبی، جنگل به پهنه آبی، و پهنه آبی به جنگل به ترتیب به میزان ۰/۰۲۴۵، ۰/۰۴۹۳، و ۰/۰۴۸۰ درصد بالاترین ارزش را دارد. از سوی دیگر کاربری های زیادی نیز وجود دارد که با صفر درصد احتمال انتقال کمترین ارزش را دارد.

پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: شهرستان یاسوج) ۴۲۱

جدول ۳. ماتریس احتمالی تبدیل کاربری‌ها برای پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ به روش زنجیره مارکوف

کاربری‌ها	مناطق کوهستانی	مسکونی	کشت آبی	کشت دیم	زمین بایر	باغ	جنگل	مرتع	پهنه آبی
کوهستانی	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰	۰	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۳
مسکونی	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۹	۰	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۴
کشت آبی	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۰/۱۱۴۴	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۳۴	۰/۰۲۰۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۱۵۸
کشت دیم	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۰۴	۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵
زمین بایر	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۹۱	۰	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۶
باغ	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۱	۰	۰	۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۳۳
جنگل	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۲۹۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۸۵۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۳۲۶
مرتع	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۶
پهنه آبی	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۳۱	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۰	۰/۰۵۰۲	۰/۰۰۰۵	۰/۱۲۹۲

جدول ۴. ماتریس احتمالی تبدیل کاربری‌ها برای پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ به روش زنجیره مارکوف

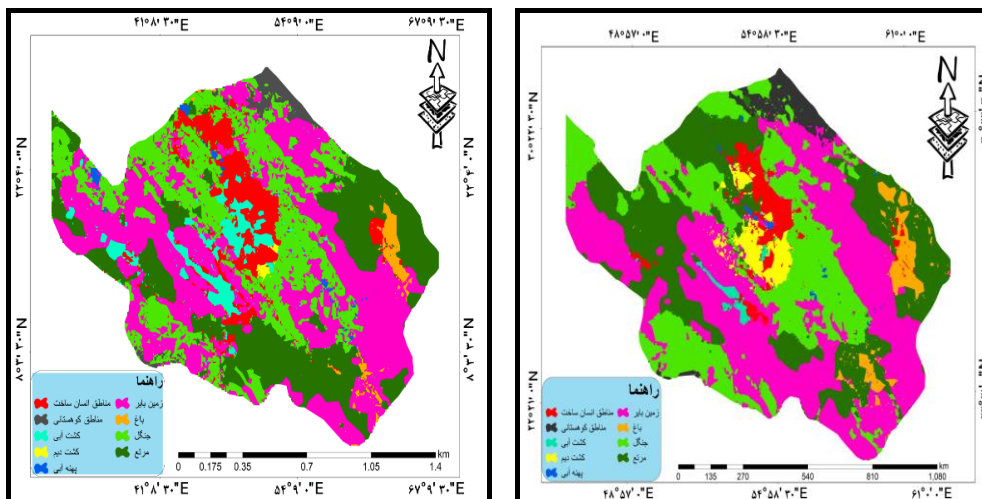
کاربری‌ها	مناطق کوهستانی	مسکونی	کشت آبی	کشت دیم	زمین بایر	باغ	جنگل	مرتع	پهنه آبی
کوهستانی	۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵	۰	۰	۰	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۴
مسکونی	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۷۷
کشت آبی	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۲	۰/۱۰۹۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲۶۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۳۳
کشت دیم	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۳۹	۰	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲۶
زمین بایر	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۵	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
باغ	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۱۹	۰	۰	۰/۰۱۱۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۳
جنگل	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۷۲	۰	۰/۰۰۰۶	۰	۰/۰۶۴۵	۰	۰/۰۴۸۰
مرتع	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۳	۰	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۳
پهنه آبی	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۷	۰/۰۴۹۳	۰/۰۰۰۵	۰/۱۲۱۹

با مشخص کردن احتمال تغییرات و پوشش کاربری اراضی، میزان رشد و تخریب منابع را می‌توان مشخص و با در نظر گرفتن این تغییرات هر گونه تغییرات احتمالی را به صورت اصولی مدیریت کرد. فرایند مارکوف وضعیت آینده یک سیستم را به صورت کلی بر اساس وضعیت

ماقبل مدل‌سازی می‌کند. تغییرات پوشش و کاربری از یک بازه زمانی به بازه زمانی دیگر با استفاده از آنالیز مارکوف مبنای برآورد احتمال تغییرات آینده سیستم است. در این نوع تحلیل، یک ماتریس از احتمال تغییرات کاربری اراضی از زمان t تا زمان $t+1$ ایجاد می‌شود. نتایج نقشه حاصل از پیش‌بینی روند تغییرات برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ نشان می‌دهد که با ادامه روند تغییرات وسعت کاربری اراضی مرتع در سال ۲۰۳۰ به ۵۴/۳۸۷۴۸۶ هکتار (معادل ۳۵/۸۶ درصد کل مساحت حوزه) و در سال ۲۰۴۰ به ۴۷/۷۸۶۰۴۶ هکتار (معادل ۲۲/۵۶ درصد کل مساحت حوزه) می‌رسد که نشان‌دهنده کاهش ۳/۱۸ درصدی اراضی مرتعی است و در مقابل کاربری مسکونی در سال ۲۰۳۰ برابر ۸/۱۳۷۲۳۱ هکتار (معادل ۴/۰۶ درصد از مساحت محدوده) و در سال ۲۰۴۰ برابر ۱۷/۳۴۲۶۵۹ هکتار (معادل ۸/۲۳ درصد از مساحت محدوده) خواهد بود. به عبارت دیگر، در فاصله زمانی سال ۲۰۳۰ تا سال ۲۰۴۰ شاهد افزایش سریع جمعیت شهری هستیم که علت آن مهاجرت جمعیت روستایی به زمین‌های حاشیه شهری است. مقایسه نقشه سال ۲۰۱۸ نشان‌دهنده افزایش ۳/۷۴ درصدی اراضی مسکونی و کاهش ۱/۰۸ درصدی مرتع است. جدول ۵ مساحت و درصد کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ را در صورت ادامه روند تغییرات موجود در محدوده نشان می‌دهد.

جدول ۵. مساحت و درصد طبقات کاربری اراضی حاصل از مدل زنجیره مارکوف، سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۰

کاربری‌ها	سال ۲۰۳۰		سال ۲۰۴۰	
	مساحت به هکتار	درصد	مساحت به هکتار	درصد
مناطق انسان‌ساخت	۸/۱۳۷۲۳۱	۴/۰۶	۱۷/۳۴۲۶۵۹	۸/۲۳
مناطق کوهستانی	۶/۱۶۴۵۳۹	۲/۸۳	۴/۱۲۸۲۳۸	۱/۹۵
کشت دیم	۵/۸۳۴۱۹۴	۲/۸۷	۲/۴۵۰۵۹۵	۱/۲۴
کشت آبی	۱/۵۱۵۲۴۶	۰/۸۲	۹/۳۳۹۳۶۳	۳/۴۳
پهنه آبی	۰/۸۳۸۱۴۳	۰/۳۹	۱/۳۳۹۰۷۷	۰/۶۳
زمین بایر	۷۴/۴۲۸۰۶۹	۳۵/۳۹	۷۵/۱۸۶۱۷۹	۳۵/۶۹
باغ	۶/۲۶۷۴۳۶	۲/۹۸	۳/۵۸۸۸۵۷	۲/۷۰
جنگل	۵۲/۳۸۲۳۵۶	۲۴/۹۱	۵۱/۴۸۶۰۰۳	۲۳/۴۴
مرتع	۵۴/۳۸۷۴۸۶	۲۵/۸۶	۴۷/۷۸۶۰۴۶	۲۲/۶۸



شکل ۵. نقشه تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ (سمت راست) و سال ۲۰۴۰ (سمت چپ)

نتیجه

تغییر کاربری اراضی عاملی پایه در تغییرات زیست‌محیطی است که به خطری جهانی تبدیل شده است. بازبینی این تغییرات از طریق تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی و ارزیابی پتانسیل آن‌ها از طریق مدل‌سازی می‌تواند به برنامه‌ریزان منابع طبیعی برای تصمیمات آگاهانه‌تر کمک کند. داشتن آمار و اطلاعات به‌هنگام از کاربری‌های موجود لازمه مدیریت صحیح عرصه‌های طبیعی است. یکی از مبانی مدیریت منابع طبیعی اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است (Kohonen 2012: 312). بنابراین، در تحقیق حاضر تغییرات کاربری اراضی شهرستان یاسوج در دوره‌های زمانی ۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، ارزیابی و با استفاده از مدل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. با توجه به نتایج آشکارسازی در دوره مطالعاتی ۲۷ ساله، روشن شد در فاصله زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ کاربری مرتع، زمین بایر، مناطق مسکونی، کشت آبی، و باغ به ترتیب به میزان ۷/۱۸، ۴/۴۸، ۲/۰۲، ۰/۵۹، و ۰/۳۸ درصد افزایش مساحت و در مقابل اراضی جنگلی، کشت دیم، مناطق کوهستانی، و پهنه آبی به ترتیب به میزان ۱/۸۸، ۰/۹۸، ۰/۵۲، و ۰/۰۸ درصد کاهش مساحت داشته است. این نتایج نشان‌دهنده بیشترین تخریب در اراضی مرتعی است که ادامه این روند باعث تشدید آسیب‌های

زیست‌محیطی و کاهش هر چه بیشتر سطح اراضی مرتعی و تبدیل این اراضی به زمین بایر یا مناطق انسان‌ساز می‌شود. نتایج این پیش‌بینی می‌تواند هشدار برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد. اصلی‌ترین قابلیت مدل مارکوف توانایی آن در پیش‌بینی آینده بر اساس وضعیت تغییرات در گذشته است. با توجه به سؤال مطرح‌شده، نتایج حاصل از ماتریس پیش‌بینی تغییرات بر مبنای نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ نشان داد احتمال می‌رود در فاصله زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۴۰ اراضی مرتع و کشت دیم و جنگل به ترتیب به مقدار ۱/۰۸ و ۱/۶۳ و ۱/۴۷ درصد کاهش مساحت و در مقابل اراضی مسکونی ۴/۱۷ درصد افزایش مساحت داشته باشند و کاربری پهنه آبی به مقدار ناچیز تغییر کند. یکی از دلایل کاهش زمین‌های مرتعی و اراضی کشت دیم تبدیل آن‌ها به زمین بایر و آماده‌سازی زمین منطقه برای افزایش کاربری شهری بوده است. به علت افزایش سرانه جمعیت و ساخت‌وسازهای بی‌رویه روز به روز از اراضی مرتعی و جنگلی کاسته و به اراضی مسکونی افزوده می‌شود؛ که این موضوع را می‌توان مرتبط با قوانین گویا در زمینه تغییر کاربری اراضی در کشور دانست که با توجه به روند رو به رشد جمعیت انسانی و نیاز مبرم به بهره‌برداری از منابع این تغییرات قابل تصور است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات پیشین، در صورت نداشتن برنامه‌ریزی مناسب برای شهر یاسوج، با توجه به زمینه مساعد برای گسترش فیزیکی این شهر، در آینده نه چندان دور، شاهد از بین رفتن زمین‌های کشاورزی اطراف شهر و تبدیل آن‌ها به مناطق شهری خواهیم بود. در این مطالعه تأثیر طرح‌ها و سیاست‌های شهری بررسی نشد. علت آن ابعاد وسیع این موضوع است. ممکن است طرح‌ها و سیاست‌های شهری در آینده باعث شود پیش‌بینی‌هایی که مدل زنجیره مارکوف انجام داده فراتر از نتایج مدل‌سازی باشد. چون این طرح‌ها باعث ایجاد تغییرات بسیار زیاد در آینده کاربری اراضی می‌شوند. نپرداختن به این موضوع یکی از محدودیت‌های مهم پژوهش حاضر است. انتظار می‌رود در تحقیقات آینده با در نظر گرفتن تأثیر طرح‌ها و سیاست‌های شهری و منطقه‌ای تغییرات کاربری اراضی به صورت جامع و دقیق ارزیابی شود. اما، این تغییرات باید مد نظر قرار بگیرند تا بهره‌برداری از منابع به شیوه اصلی صورت بگیرد و در آینده نه چندان دور به نابودی منابع منجر نشود. در نهایت، نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد روش‌های مورد استفاده قابلیت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را

دارد. همچنین، ضریب کاپا و دقت کلی حاصل از ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی به روش فازی نشان‌دهنده دقت بالای این روش در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد کاربری مناطق انسان‌ساخت روند صعودی خواهد داشت. اراضی جنگلی روند نزولی داشته و به میزان $2/78$ درصد تخریب شده است. دلایل بسیار زیادی در رابطه با افزایش کاربری مسکونی و غیر مسکونی طی سال‌های اخیر وجود دارد که از آن‌ها می‌توان به عدم نظارت کافی سازمان‌های مربوطه، نبود قوانین الزام‌آور و شفاف در رابطه با تغییرات کاربری اراضی، و عدم مسئولیت‌پذیری سازمان‌های مختلف در زمینه تغییرات کاربری اراضی به‌خصوص تخریب مراتع اشاره کرد. گفتنی است پژوهشگران در این تحقیق به دنبال بررسی علل تغییرات کاربری اراضی نبودند و فقط به مطالعه تغییرات اتفاق‌افتاده در بازه زمانی مورد نظر پرداختند. بررسی علل تغییرات کاربری اراضی نیازمند مطالعه‌ای جامع‌تر از مطالعه حاضر است که همه ابعاد مسئله را به صورت دقیق و علمی تحلیل کند.

ارزیابی دقت مدل سلول خودکار نشان داد درصد اختلاف مساحت طبقات کمتر از ۸ درصد است. این نتایج نشان‌دهنده قابلیت مدل سلول خودکار در پیش‌بینی تغییرات کاربری است (سوخته‌راضی ۱۳۸۹: ۱۴). نتایج این تحقیق هم‌سو با نتایج پژوهش محققان دیگر، همچون عزیزی قلاتی و همکارانش (۱۳۹۵: ۶۶)، در حوزه کوهمره‌سرخ‌سی استان فارس، که بیشترین تغییر کاربری در جنگل بوده، است. همچنین روند افزایش مناطق مسکونی به میزان $8/04$ درصد نسبت به گذشته نشان‌دهنده تخریب مناطق مرتعی و جنگلی و تبدیل به کاربری مسکونی است. دنجی^۱ و همکارانش (۲۰۱۱: ۳۷۶۹) به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر ساگا در ژاپن با استفاده از مدل زنجیره مارکوف در فاصله زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۶ پرداختند که نتایج شبیه‌سازی تا سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۴۵ نشان‌دهنده روند رو به کاهش اراضی جنگلی و کشاورزی و روند رو به افزایش مناطق مسکونی است. ادامه روند کاهش اراضی مرتعی و جنگلی ضرورت اجرای طرح‌های حفاظتی و احیا را دوچندان می‌سازد. از نوآوری‌های این مطالعه استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا برای استخراج کاربری اراضی است. نقشه شبیه‌سازی‌شده آینده تغییرات کاربری اراضی

در این بررسی می‌تواند راهنمای مناسبی باشد برای مدیران و برنامه‌ریزان محیط زیست و سیاستمداران و افراد یا سازمان‌هایی که در زمینه کاربری اراضی مطالعه می‌کنند. به‌کارگیری روش زنجیره مارکوف باعث پایش و شناسایی تغییرات کاربری اراضی شهری و منطقه‌ای می‌شود. با شناسایی تغییرات کاربری اراضی می‌توان آثار نامطلوب تغییرات کاربری اراضی بر توسعه شهری و منطقه‌ای را شناسایی و در جهت کاهش این آثار برنامه‌ریزی‌های لازم و مدون را ارائه کرد. نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین میزان تخریب جنگل در نزدیکی مناطق انسان‌ساخت و در ارتفاعات پایین رخ داده است و بیشترین اراضی جنگلی به مناطق انسان‌ساخت و زمین بایر تبدیل شده است. بنابراین، با توجه به هدف مطالعه، که بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی این تغییرات برای سال‌های آتی بود، با انجام دادن اقداماتی - از جمله افزایش نظارت در این مناطق و بالا بردن آگاهی مردم در زمینه اهمیت جنگل‌ها و افزایش سطح کیفی زندگی مردم منطقه مورد مطالعه - می‌توان به کاهش میزان تخریب جنگل‌ها کمک کرد.

پیشنهاد

از آنجا که مدل‌سازی مکانی ابزاری مناسب برای درک بهتر علت تغییرات کاربری اراضی پوشش زمین است، پیشنهاد می‌شود برای محدوده‌های شهری جهت دستیابی به نتایج بهتر از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شود. در صحت‌سنجی نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره خودکار عوامل مختلفی تأثیرگذار است؛ از جمله فاصله زمانی بین دو تصویر استفاده‌شده جهت تشکیل ماتریس وضعیت تبدیل و دقت و صحت داده‌های استفاده‌شده. همچنین تعداد دوره ماتریس تبدیل وضعیت تأثیرگذار است. انتخاب درست هر یک از عوامل یادشده باعث می‌شود نتایج پیش‌بینی‌شده توسط مدل به واقعیت زمینی نزدیک‌تر باشد. پیشنهاد می‌شود نتایج حاصل از چنین مطالعاتی با طرح‌های جامع شهری مقایسه و تا حد امکان از نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی جهت برنامه‌ریزی‌های آینده در این طرح‌ها استفاده شود.

منابع

- احمدی نژاد روشتی، محسن؛ احمد حسینی (۱۳۹۰). «ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌های چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۶۳ - ۱۳۸۹)»، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، س ۲، ش ۴، صص ۱ - ۲۰.
- قائد رحمتی، صفر؛ نسیم حیدرنژاد (۱۳۸۸). «گسترش فیزیکی شهرها و ضرورت تعیین حریم امن شهری (نمونه موردی: شهر اصفهان)». *جغرافیا و مطالعات محیطی*، س ۱، ش ۱، صص ۲۱ - ۳۱.
- سوخته‌راضی، سارا (۱۳۸۹). «بررسی و پیش‌بینی تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی شهر جدید هشتگرد با تلفیق داده‌های سنجنش از دوری و مدل سلول‌های خودکار مارکوف»، *سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجنش از دور در برنامه‌ریزی*، د ۱۰، ش ۴، زمستان ۸۹، صص ۷ - ۲۶.
- شجائیان، علی؛ صادق مختاری چلچله؛ لیلا کشت‌کار؛ اسماعیل سلیمانی (۱۳۹۳). «مقایسه کارایی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک در طبقه‌بندی پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸»، *اطلاعات جغرافیایی*، س ۲۴، ش ۹۳، بهار ۹۴، صص ۵۴ - ۶۴.
- شتابی جویباری، شعبان (۱۳۸۲). «بررسی امکان تهیه نقشه تپ‌های جنگلی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود کنار نوشهر)»، رساله دکترا، دانشگاه تهران، ۱۵۵ صفحه.
- علی محمدی سراب، عباس؛ علی‌اکبر متکان؛ بابک میرباقری (۱۳۸۹). «ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران»، *مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، د ۱۴، ش ۲، تهران.

References

- Acceleration of Joybari, Shaban (2003). "Using Satellite Data (Case Study: Khairud Educational Research Forest near Nowshahr), PhD Thesis", University of Tehran, pp. 155. (in Persian)
- Ahadi Nejad Rashti, Mohsen & Ahmad Hosseini (2011). "Assessing and Predicting Horizontal Change and Distribution of Cities Using Multi-Time Satellite Images and Geographic Information Systems Study study: Tabriz city in the period of 1363-1389) Urban research and planning, second year, fourth issue, pages. pp. 1-20. (in Persian)
- Alavi panah, K. S. (2005). Application remote sensing in earth science, published by University of Tehran, 45 pp.
- Ali-Mohammadi Sarab, Abbas; Ali-Akbar Matkan; & Babak Mir-Bagheri (2010). Slvlh

- teacher performance assessment model Humanities - and Spatial Planning, fantails period, the second issue, Tehran. (in Persian)
- Alimohammadi, A., Matkan, A., & Mirbagheri, B. (2010). "The Evaluation of CELLULAR AUTOMATA model efficiency in simulation of urban areas development (Case study: suburbs of south west of Tehran)". *J. Spat. Plan (Modares Human Sciences)*, 14: 2, pp. 81-102. (in Persian)
- Arekhi, S. & M. Adibnejad (2011). "Efficiency assessment of the of Support Vector Machines for land use classification using Landsat ETM+ data (Case study: Ilam Dam Catchment)", *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 18 (3), pp. 420-440. (in Persian)
- Arsanjani, J. J.; M. Helbich; W. Kainz; & A. D. Bolorani (2013). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 21, pp. 265-275. (in Persian)
- Asghari Zamani, Akbar; Saeed Maleki; Ali Movahedi (1389). (Predicting land use change in Zanjan using CLUE model), *Geography and Situational Development*, Vol. 8, No. 15, pp. 64-39. (in Persian)
- Blaschke, T. (2009). "Object based image analysis for remote sensing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", *journal homepage: www.elsevier.com/locate/isprsjprs*. pp. 10-21.
- Boniad, A. E. & Hajighaderi, T. (2008). "Mapping of Natural Forest Stands of Zanjan Province Using Landsat 7ETM+ sensor data", *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, (42) 11, pp. 627-638.
- Dehvari, A. & Heck, R. J. (2009). "Comparison of object-based and pixel based infrared airborne image classification methods using DEM thematic layer", *Journal of Geography and Regional Planning*, 2 (4), pp. 086-096.
- Dongjie, G., HaiFeng, L., Takuro, I., Weici, S., Tadashi, N., & Kazunori, K. (2011). "Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model", *Ecological Modelling*, 222 (20), pp. 3761-3772.
- Eastman, J. R. (2006). *IDRISI Andes guide to GIS and image processing*, Clark University, Worcester, 328 pp.
- Faizizadeh, B. & Helali, H. (2009). Comparison of basic, object-oriented pixel method and effective parameters in land cover / land use classification of West Azerbaijan province, *Natural Geographical Research*, No. 71, pp. 73-84. (in Persian)
- Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM+ imagery, *Sensors*, 7 (7), pp. 1323-1342.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). "Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model", *Ecological Modelling*, 222(20-22), pp. 3761-3772.
- Guan, D., Gao, W., Watari, K., & Fukahori, H. (2008). "Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model", *Journal of Geographical Sciences*, 18 (4), pp. 455-468.
- Hathout, S. (2002). "The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada", *Journal of Environmental*

- Management*, 66 (3): pp. 229-238.
- He, C. Y. et al (2008). "Modeling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata", *Landscape Urban Plan*, 86, pp. 79-91.
- Houet, T. & Laurence, H. (2006). Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories, *EARSeL eProceedings*, 5, 1, United States.
- 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.
- Kohonen, T. (2012). Self-organization and associative memory. Springer Science & BusinessMedia, 3 illustrated, pp. 312.
- Liu, Y. Liu (2009). Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata, CRC Press, 188 pp.
- Mabudi, M. T. & Hakimi, H. (2016). "An analysis of land use land changes and simulation of urban expansion of middle-point cities (Case study: Khoys City)", *The Journal of Urban Planning Geography Research*, 3 (2), pp. 211-226. (in Persian)
- Matinfar, H. R., Sarmadian, F., & Alavi-Panah S. K., & Hech, R. J. (2007). Comparisons of Object-Oriented and Pixel-Based Classification of Land Use/Land Cover Types Based on Landsat7, Etm+ Spectral Bands (Case Study: Arid Region of Iran), *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 4 (4): pp. 448-456. (in Persian)
- Munthali, M. G., Botai, J. O., Davis, N., & Adeola, A. M. (2019a). "Multitemporal analysis of land use and land cover changes detection for Dedza District of Malawi using geospatial techniques", *International Journal of Applied Engineering Research*, 14 (5), pp. 1151-1162.
- Nguyen, H. H., Dargusch, P., Moss, P., & Aziz, A. A. (2017). Land-use change and socio-ecological drivers of wetland conversion in Ha Tien Plain, Mekong Delta, Vietnam, *Land Use Policy*, 64, pp. 101-113.
- Patino, J. E. & Duque Juan, C. (2013). "A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings", *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 37, pp. 1-17. United Kingdom.
- Piquer, R., Maria, T., Kuemmerle, D., Alcaraz, S., Raul, Zurita- M., & Javier, C. (2012). "Future land use effects on the connectivity of protected area networks in southeastern Spain", *Journal for Nature Conservation*, 20 (6), pp. 326-336.
- Pontius, R. G. & Chen, H. (2006). *Geomod Modeling*, USA: Clark University, pp. 44.
- Rafieyan, O., Darvishsefat, A. A., Babaii, S., & Mataji, A. (2001). "Evaluation of pixel-based and object-based classification methods for tree identification using aerial images (Case study: a forestation in Chamestan-Nur)", *Iranian Journal of Forest*, 3 (1), pp. 35-47. (in Persian)
- Rasouli, A. A. (2008). Principles of remote sensing image processing applications, with emphasis on satellite, Tabriz University Press, 777 pp. (in Persian)
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B. N., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 7 (4), 154 pp.
- Rogan, J. & And, A. D. C. (2004). "Remote sensing technology for mapping and

- monitoring land cover And land use change”, *Progress in Planning*, 64, pp. 301-325.
- Salmanmahini, A. & Kamyab, H. (2012). *Applied Remote Sensing and GIS with Idrisi*, 2nd Edition, Publication of Mehrmahdis, Tehran, Iran, 569 pp. (in Persian)
- Sarah-Sokhteh, R. (2019). Using the program of evaluating the position and position of the user of new urban lands with the title of fast and high quality information from the center, geographic information model and remote sensing in the program, duration 10, number 4, winter 98, pp. 7-26. (in Persian)
- Shojaeian, A., Mokhtari Chelcheleh, S., Keshtkar, L., & Soleimani, I. (2014). Using satellite imagery 8, *Scientific-Research Quarterly Journal of Geographical Information*. (in Persian)
- Soe, Minit. Le Weng (2006). “Multicriteria decision approach for land use and land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach”, *Canadian Journal of Remote Sensing*, pp. 32: 6, United Kingdom.
- Soroudi, M. & Jozi, S. A. (2013). “Application of remote sensing and markov in investigation and prediction of change in vegetation cover (Case study: District 1 of Tehran Municipality)”, *Journal of Environmental Studies*, 39, pp. 113-122. (in Persian)
- Suriya, S. & Mudgal, B. (2012). “Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed–A case study”, *Journal of Hydrology*, 412, pp. 210-219.
- Traore, Arafan., Mawenda, John., Komba, Atupelye, W. (2018). Land-Cover Change Analysis and Simulation in Conakry (Guinea), Using Hybrid Cellular-Automata and Markov Model, *Urban Sci*. Vol. 2, Issue 2.
- Judge Rahmati, Zero, Haidar Nejad, Nasim (2009). Physical expansion of cities and the need to determine Urban security Sample example: Isfahan city Geography and Environmental Observation, First Year, First issue, pp. 31-21. (in Persian)
- Verburg, PH., Schot, PP., Dijst, MJ., & Veldkamp, A. (2004). “Land use change modelling: current practice and research priorities”, *GeoJournal*, 61 (4), pp. 309-324.
- Zare Garizi, A., Sheikh, V., Sadoddin, A., & Mahiny, A. (2012). “Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model”, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20, pp. 273-285. (in Persian)
- Ahadi-Nejad Ravshiti, M. & Hosseini, A. (2011). Currency and Perspectives of Horizontal Changes and Distributions Eighteen (Case Study: The City of Tabriz in the Period 1363-1389) *Urban Research and Planning*, Second Year, No. 4, pp. 1-20. (in Persian)