

پایش تغییرات کاربری اراضی با سنجش از دور و مدل CA مارکوف (مطالعه موردی: شهر اصفهان)

خلیل علی نژاد^۱، محمد ابراهیم عفیفی^{۲*}، مرضیه موغلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۱

چکیده:

برای استفاده بهینه از زمین، آگاهی از تغییرات کاربری اراضی و نوع استفاده از آن امری ضروری است که با ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی امکان‌پذیر می‌گردد. هدف این مطالعه، پایش تغییرات کاربری اراضی در سه دهه گذشته با تکنیک سنجش‌از‌دور و مدل CA مارکوف در شهر اصفهان بوده است. برای رسیدن به این هدف ابتدا تصحیحات و پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره لندست ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ انجام شد. طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان انجام پذیرفت. با روش CA-Markov تغییرات اراضی سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی گردید. نتایج طبقه‌بندی تصویر نشان داد اراضی مسکونی در سال ۲۰۰۰ برابر با ۱۶۷۵۴/۴ هکتار (۳۱٪) بوده که با تغییرات کاربری و تبدیل کاربری‌ها جنگل، مرتع، آبی و ... به کاربری مسکونی در سال ۲۰۱۰ به ۱۷۲۴۸/۶۴ هکتار (۳۲٪) رسیده یعنی ۴۹۴/۲۴ هکتار مساحت آن افزایش یافته است. همچنین نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد رشد و توسعه مناطق مسکونی شهر اصفهان و تبدیل کاربری‌های بایر و زراعت آبی، مرتع، جنگل به مسکونی همواره مثبت بوده است به طوری که نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ نیز گویای این مطلب است و پیش‌بینی شد مساحت اراضی انسان‌ساخت در سال ۲۰۳۰ به ۱۷۹۸۴/۰۹ هکتار (۳۵٪) برسد. ضریب کاپا در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۵، ۰/۸۶ به دست آمد. نتایج حاصل نشان از بالا بودن ضریب کاپا و دقت کلی در تصاویر جدیدتر می‌باشد که علت آن را می‌توان وجود نمونه‌های کنترل زمینی نزدیک‌تر از نظر زمانی به این سال‌ها و قدرت تفکیک بیشتر تصاویر دانست. تکنیک سنجش از دور، ابزاری قدرتمند در ارزیابی تغییرات کاربری هاست.

واژه های کلیدی: ارزیابی تغییرات، RS، سلول های خودکار مارکوف، اصفهان.

^۱ دانشجوی گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران.

^۲ استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران (نویسنده و مسئول مکاتبات).

^۳ دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران.

مقدمه

پدیده تغییر کاربری اراضی از مخاطرات محیطی و بحران‌های اکولوژیکی است که امروزه جهان با آن روبرو است [۲۱]. تغییرات کاربری یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تمدن بشری است، که به تغییر و تحول محیط منجر می‌شود [۱۷]. توسعه شهرها به‌عنوان یک تغییر فیزیکی در نتیجه تبدیل سایر چشم‌اندازها به چشم‌اندازهای شهری در اثر تغییرات توزیع جمعیتی از روستا به شهر است. یکی از مشکلات عمده در برنامه‌ریزی شهری تعیین جهت مناسب و نحوه گسترش فیزیکی شهر به‌منظور پاسخ به نیازهای فعلی و پیش‌بینی نیازهای آینده است [۱۱]. در مواردی تغییرات کاربری و گسترش شهر مخاطرات و تهدید محیطی به همراه داشته است [۱۸]. با توجه به رشد روزافزون جمعیت، افزایش روند تغییرات کاربری اراضی نسبت به نیازهای انسانی و تأثیر آن بر محیط‌زیست، پایش و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، از جمله موضوعات اصلی پژوهش در حیطه تغییرات جهانی محیط‌زیست و توسعه پایدار محسوب می‌گردد [۸]. در حال حاضر تغییر کاربری اراضی به‌صورت غیراصولی، به دلیل بی‌برنامه بودن تغییر اکثر کاربری‌ها و در نظر نگرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی، از مهم‌ترین معضلات در اقصی نقاط کشور ایران است. رشد بی‌رویه شهرها و افزایش آلودگی منابع آب‌و‌خاک، فرسایش اراضی کشاورزی، وقوع سیل‌های مخرب، از بین رفتن سطح وسیعی از جنگل‌ها، گسترش کویرها و اکوسیستم‌های بیابانی غالباً ناشی از تبدیل غیراصولی پوشش اراضی و اعمال روش‌های نادرست بهره‌برداری از کاربری است. لذا پایش این‌چنین تغییرات و داشتن آگاهی و شناخت صحیح از عوامل و فرآیندهای ایجادکننده و روند آتی آن‌ها و همچنین شیوه‌های مختلف مدیریت کاربری اراضی می‌تواند ما را در درک درستی از روند توسعه در گذشته و الگوهای رشد آینده یاری داده و اثرات قابل‌توجهی بر حل مشکلات مدیریتی منابع طبیعی داشته باشد. درحالی‌که مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی نقش به‌سزایی در درک پیامدهای تغییرات آتی با توجه، و تحولات احتمالی آینده ایفا می‌کند. با توجه به اهمیت این موضوع تحقیقات متعددی در ایران و جهان انجام پذیرفته است که برخی از آن‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

عفیفی (۱۳۹۶)، به پایش ریزگردها با استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره مادیس^۱ در جنوب غربی ایران پرداخت. با بررسی نتایج طبقه‌بندی تصاویر مشاهده شد از بین روش‌های تحقیقات پیشین الگوریتم طبقه‌بندی کننده ماشین بردار در منطقه جنوب غربی ایران دارای دقت مناسب‌تری نسبت به سایر روش‌هاست [۲]. عفیفی و همکاران (۱۳۹۹)، در ارزیابی پایداری با استفاده از فن چند معیاره شبکه عصبی مصنوعی در شهر بابک نتیجه گرفتند که در مقیاس سالانه شش‌ماهه بیشتر خشک‌سالی‌های آن از نوع خشک‌سالی‌های ضعیف تا متوسط است؛ اما در مقیاس بلندمدت ۴۸ ماه ۷۵ درصد خشک‌سالی‌ها از نوع شدید و بسیار شدید است [۳]. آقایی و همکاران (۱۳۹۹)، پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از مدل CA مارکوف و LCM در آبخیز کوزه‌تپراقی استان اردبیل انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده این مطلب بود که سطح کاربری‌های کشاورزی آبی

۸۰/۵۲٪، مرتع ۳۶/۹۰ و زمین درختی ۵/۷۶٪ در آبخیز کوزه تپراقی افزایش خواهد یافت و از سطح کاربری‌های کشاورزی دیم به اندازه‌ی ۴۳/۴۳٪ و سطح آب به اندازه‌ی ۹۱/۴۰٪ کاسته خواهد شد [۴].

عبیات و همکاران (۱۳۹۹)، ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از مدل LCM و زنجیره CA مارکوف در کلان‌شهر اهواز انجام دادند. نتایج نشان داد بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده با ۴۴/۶۸۶ هکتار در بازه ۲۰۰۲-۱۹۸۹ و ۵۱/۱۰۳۲ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲ است. کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهله‌های آب با ۱۸/۷ هکتار در بازه ۲۰۰۲-۱۹۸۹ و ۳۳/۹ هکتار در بازه ۲۰۱۹-۲۰۰۲ است. نتایج پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹ نیز مؤید کاهش پوشش گیاهی بوده و طی ۱۰ سال ۷۷/۷۸۵ هکتار از پوشش گیاهی کاسته شده و مساحت آن به ۲۴/۲۹۲۳ هکتار خواهد رسید [۲۲].

عابدینی (۱۴۰۰)، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از تکنیک‌های شی‌گرا و پیکسل پایه در حوضه مردق چای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بر اساس نتایج حاصله از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، بیشترین میزان تغییر حادث شده مربوط به کاربری مرتع متراکم به مرتع متوسط با مقدار ۳۵/۴۴۸، کاربری بایر به مرتع متوسط با مقدار ۲۷/۶۸۶ و مرتع متوسط به مناطق مسکونی با مقدار ۲۱/۳۴۷ کیلومترمربع بود. همچنین کمترین تغییرات حادث شده مربوط به کاربری بایر به مرتع فقیر با مقدار ۰/۰۱۵، مرتع متراکم به مناطق مسکونی با مقدار ۰/۰۲۳ و مرتع متراکم به مرتع فقیر با مقدار ۰/۰۸۱ کیلومترمربع بود [۱].

صفایی و همکاران (۱۴۰۱)، به پایش تحولات نظام کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات بر اساس مدل زنجیره مارکوف در روستاهای حریم شهر سبزوار پرداختند. پیش‌بینی مدل مارکوف نشان داد، مساحت فضاهای ساخته‌شده در سال ۱۹۸۵ برابر با ۱۳ کیلومترمربع بوده که در سال ۲۰۲۰، به ۴۲ کیلومترمربع افزایش یافته و پیش‌بینی شد که در سال ۲۰۴۰ به ۵۴ کیلومترمربع برسد که نسبت به سال ۲۰۲۰ سالانه رشد ۳/۱ درصدی را در پی خواهد داشت [۱۹].

حاجی و همکاران (۱۴۰۱)، به ارزیابی تغییرات پوشش/کاربری اراضی با پردازش شی‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای در حوزه آبخیز روضه چای ارومیه پرداختند. نتایج نشان‌دهنده صحت بالای روش شی‌گرا در طبقه‌بندی بود [۹].

هدایت و همکاران (۱۴۰۲)، آشکارسازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر جدید پردیس را با سنجش‌های سیمای سرزمین تا سال ۲۰۴۰ انجام دادند. روش گردآوری داده‌ها به صورت میدانی و با بهره‌گیری از سایت‌های مرجع تصاویر ماهواره‌ای بود. در مطالعه از تصاویر ماهواره لندست سنجنده TM و OLI برای بررسی تغییرات و تحولات فضایی (کاربری اراضی) ایجاد شده از مدل زنجیره‌ای Markov و سلول‌های خودکار CA Markov و از نرم‌افزارهای Arc/GIS، Envi_{v5.3} و Fragstats ۲,۴ استفاده گردید. نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۴۰ نشان داد که مناطق بایر شهر جدید پردیس نسبت به سال ۲۰۲۰ کاهش چشمگیری نزدیک به ۱۳۰ هکتار داشته است. مناطق انسان‌ساخت در سال ۲۰۴۰ نیز افزایش تقریباً ۵ درصدی نسبت به سال ۲۰۲۰ داشته و این میزان به ۱۱۱۳ هکتار می‌رسد که نسبت به سال ۲۰۲۰ افزایش تقریباً ۷۵ هکتاری را دارد [۱۰].

ماستا و همکاران^۱ (۲۰۲۰)، در پژوهشی به ارزیابی تغییرات پوشش زمین در مناطق بازسازی شده. از بخش ۳۲ منطقه مازوو ۱۰، زیمبابوه با استفاده از GIS و سنجش از دور پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ در بخش ۳۲ منطقه در جنگل‌ها، چمن‌زارها و پوشش تالاب ۰/۱ آب و افزایش در پوشش زمین‌های زراعی و لخت زیان قابل توجهی دیده شده است [۱۲]. پورسوانتی و همکاران^۲ (۲۰۲۱)، به بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در ناحیه گاندیناگار^۳، گجرات^۴، هند از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۶ و پیش‌بینی آینده برای سال ۲۰۲۵ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و نرم‌افزار IDRISI TERRSET پرداختند. یافته‌ها نشان داد که رشد گسترده در مناطق روستایی و شهری، عمدتاً با از بین بردن زمین‌های کشاورزی و بوته‌زارها همراه بوده است [۱۴]. سو و همکاران^۵ (۲۰۲۲)، به بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش و دما در دشت سونگن چین برای سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ با استفاده از روش‌های آماری و شبیه‌سازی مدل مرکز گرانش پرداختند. نتایج نشان داد، که روش ترکیب طبقه‌بندی نظارت‌شده و تفسیر بصری برای استخراج اطلاعات کاربری با میانگین دقت اطلاعات استخراج شده ۹۱٫۳۲ درصد و ضریب کاپا کل ۰٫۸۷۳ مناسب است [۶].

نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد که طی دهه‌های اخیر در ایران و سایر مناطق دنیا تغییرات کاربری به صورت تبدیل کاربری جنگل و مرتع به سایر کاربری‌ها مانند مناطق مسکونی بوده است و سنجش از دور و پردازش‌های آن یکی از بهترین تکنیک‌ها جهت ارزیابی و پایش این تغییرات است. هدف مطالعه حاضر نیز ارزیابی تغییرات کاربری‌ها در ۳ دهه گذشته در اصفهان و پیش‌بینی تغییرات برای سال‌های آتی است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

کلان‌شهر اصفهان در ایران مرکزی، در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی واقع است [۲]. حدود جغرافیایی این شهر عبارت است از: شهرستان‌های اردستان، کاشان گلپایگان در شمال، شهرضا در جنوب، در شرق نائین و در مغرب شهرستان فریدن. شهر اصفهان، شهری است که به دلیل برخورداری از ویژگی‌های منحصربه‌فرد، در میان شهرهای ایران و جهان شهرتی بسیار دارد. شهر اصفهان دارای آثار تاریخی ارزشمندی است که آن را از سایر شهرها متمایز ساخته و ضرورت توجه به مشکلات آن را دوچندان می‌کند [۱۵]. زاینده‌رود مهم‌ترین رودخانه این شهر است و غیراز آن، رودخانه دائمی دیگری در این شهر وجود ندارد. باتلاق گاوخونی در فلات مرکزی و در آستانه ورودی کویر قرار دارد و مساحت آن

۱ - Matsa et al

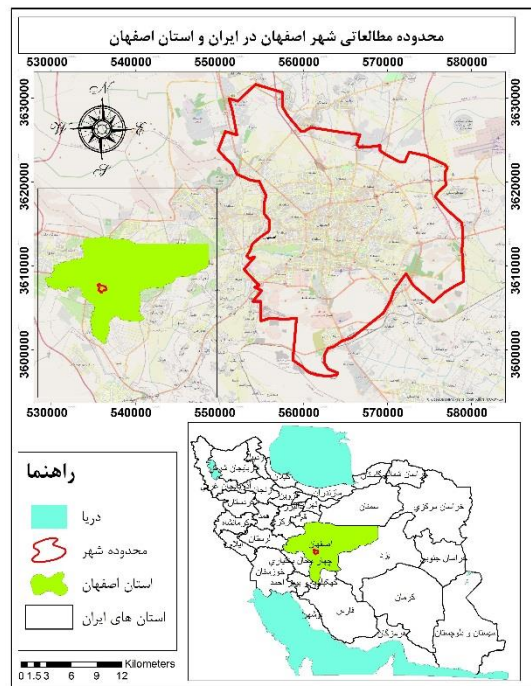
۲ - Purswaniet et al

۳ - Gandinagar

۴ - Gjrat

۵ - CHU et al

بالغ بر ۴۷۶ کیلومترمربع است و در ارتفاع ۱۴۵۲ متر و شهر اصفهان در ارتفاع ۱۵۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد [۲۰].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اصفهان

روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده:

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸، مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و سنجنده TM و ۲۰۲۰ سنجنده OLI استفاده گردید. به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام گرفته و میزان صحت طبقه‌بندی ارزیابی گردید. سپس با استفاده از مدل CA-Markov پیش‌بینی محدوده مطالعاتی آماده گردید.

جدول ۱- خصوصیات تصاویر مورد استفاده در پژوهش

ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	قدرت مکانی	تفکیک
لندست ۵	TM	۲۰۰۰/۰۴/۱۰	۳۰ متر	
لندست ۵	TM	۲۰۱۰/۰۴/۷	۳۰ متر	
لندست ۸	OLI	۲۰۲۰/۰۴/۳	۳۰ متر	

پیش پردازش تصویر

در این مرحله برای آماده‌سازی تصاویر جهت پردازش عملیات تصحیح هندسی، تصحیح رادیومتریک و تصحیح اتمسفری بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد.

تصحیح هندسی

با استفاده از نقشه راه‌ها و توپوگرافی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و تطابق آن‌ها با

تصاویر سال ۲۰۲۰، ابتدا تصویر سال ۲۰۲۰ نسبت به نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ کنترل و از نظر صحت هندسی مناسب تشخیص داده شد. سپس تصویر سال ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰ با روش تصویر به تصویر تصحیح هندسی شد. در هر دو مرحله از روش تبدیل چندجمله ای و روش نزدیک ترین همسایه برای نمونه برداری مجدد استفاده گردید [۵].

تصحیح رادیومتریک

به طور کلی، تصحیح های رادیومتریک زمانی انجام می شود که داده های تصویری در روند ثبت مقادیر روشنایی مربوط به پیکسل ها دارای خطاهایی باشند که می تواند ناشی از عواملی نظیر عدم کارایی تجهیزات ثابت و تأثیرهای اتمسفری باشد. از طریق اصلاحات رادیومتریک، مقادیر روشنایی تصویر تغییر می یابد [۱۶]. تصحیح رادیومتریک در تصاویر لندست از طریق تبدیل DN به Reflectance در باندهای انعکاسی انجام شد.

تصحیح اتمسفری

خطاهای اتمسفری در اثر جذب و پراکنش ذرات اتمسفر پیش می آید. خطاهای اتمسفری باعث محو جزئیات تصویر می شوند و به این وسیله از قدرت تفکیک مکانی سنجنده نیز می کاهد. بیشترین اثر اتمسفری مربوط به پراکنش است که وابستگی زیادی به طول موج دارد. بنابراین اثر اتمسفری در باندهای مختلف یک سنجنده با هم یکسان نیست. هر چه طول موج بیشتر شود اثر پراکنش اتمسفری نیز کمتر خواهد شد. زاویه دید سنجنده نیز عامل دیگری است که بر مقدار خطای اتمسفری مؤثر است. در این تحقیق از تصحیح کلی اتمسفری با الگوریتم Quick atmospheric correction انجام شد [۱۵].

پردازش تصویر

طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان یک روش کلاسه بندی الگو است که اولین بار توسط ویپنیک معرفی شد [۵]. این روش یک روش آماری غیر پارامتریک نظارت شده است [۱۳]. SVM تقریباً شبیه شبکه های عصبی بوده که با استفاده از یک تابع کرنل سیگموئیدی، معادل شبکه عصبی پرسپترون دو لایه ای می باشد [۱۵]. به عبارتی این تابع داده های آموزشی را که به صورت غیرخطی در فضای چندبعدی با استفاده از تابع کرنل طرح ریزی می شود را در یک مجموعه داده به صورت خطی از هم جدا می کند که نتیجه آن طبقه بندی خطی بین داده ها می باشد که از جمله قابلیت های آن می باشد و قدرت تفکیک پذیری را افزایش می دهد [۲۰]. ویژگی اصلی این روش توانایی بالا در استفاده از نمونه های تعلیمی کمتر و رسیدن به دقت بالاتر نسبت به سایر روش های قبلی می باشد [۱۱]. این طبقه بندی کننده به صورت باینری عمل کرده و دو کلاس را با استفاده از یک فراصفحه از هم جدا می کند [۱۸]. برای تعریف نحوه قرارگیری این صفحه از کرنل هایی استفاده می گردد که کرنل چندجمله ای به صورت ذیل است.

$$k(x_i, x_j) = (g_{x_i}^T x_j + r)d, g > 0 \quad (\text{رابطه ۱})$$

x_i, x_j : مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی، g : گاما: یک پارامتر تعریف شده توسط کاربر به عنوان عرض کرنل، d : درجه چندجمله‌ای، r : اریب یا تمایل و T ماتریس واحد. در این کرنل از پارامتری به عنوان پنالتی^۱ برای بهبود خطای طبقه‌بندی استفاده می‌شود که افزایش آن تا حدی باعث کم شدن خطای طبقه‌بندی می‌شود. همچنین از یک مقدار به عنوان آستانه تحریک بایاس^۲ استفاده می‌گردد.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

به منظور بیان دقت یک نقشه طبقه‌بندی شده به صورت کمی می‌توان آن را به صورت پیکسل به پیکسل با واقعیت زمینی مقایسه و نتایج را در جدولی به نام جدول خطا درج نمود. بر پایه این جدول می‌توان معیارهای کمی نظیر دقت کاربر، صحت تولیدکننده، صحت کلی و ضریب کاپا را برای بیان دقت محاسبه نمود. صحت کلی از نسبت مجموع پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند (در محور اصلی ماتریس طبقه‌بندی قرار دارند) به کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به دست آمد. همان‌طور که از اسم آن مشخص است صحت کلی فقط درصد صحت در کل طبقات را می‌دهد و نمی‌تواند درصد صحت هر کدام از طبقات را به طور مجزا محاسبه کند [۱۸]. صحت کلی با رابطه (۲)

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^N a_{kk}}{\sum_{i,k=1}^N a_{ik}} = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^N a_{kk} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه فوق، OA نشان‌دهنده دقت کلی و N معرف تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده و $\sum_{k=1}^n a_{kk}$ نمایه مجموع پیکسل‌های قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد. ضریب کاپا تکنیک چند متغیره گسسته‌ای است که در ارزیابی صحت برای تصمیم‌گیری‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۵] که از رابطه ۳، به دست می‌آید.

$$k = \frac{(\text{احتمال توافقی}) - (\text{دقت مشاهده شده})}{\text{احتمال توافقی} - 1} \quad (\text{رابطه ۳})$$

دقت مشاهده شده در واقع همان دقت کلی طبقه‌بندی می‌باشد که از تقسیم کل پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده، بر تعداد کل پیکسل‌های مورد طبقه‌بندی دقت کلی به دست می‌آید. احتمال توافق نیز بر اساس ماتریس خطا و از رابطه (۴)، به دست می‌آید [۱۵].

$$\text{احتمال توافق} = \sum p_i \times p_j \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه فوق p_i از تقسیم پیکسل‌های هر ردیف بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به دست می‌آید و p_j از تقسیم پیکسل‌های هر ستون بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به دست می‌آید. در واقع شاخص کاپا، درصد صحت کلی را با کم کردن سهم برآورده شده احتمال توافق، تعدیل می‌کند.

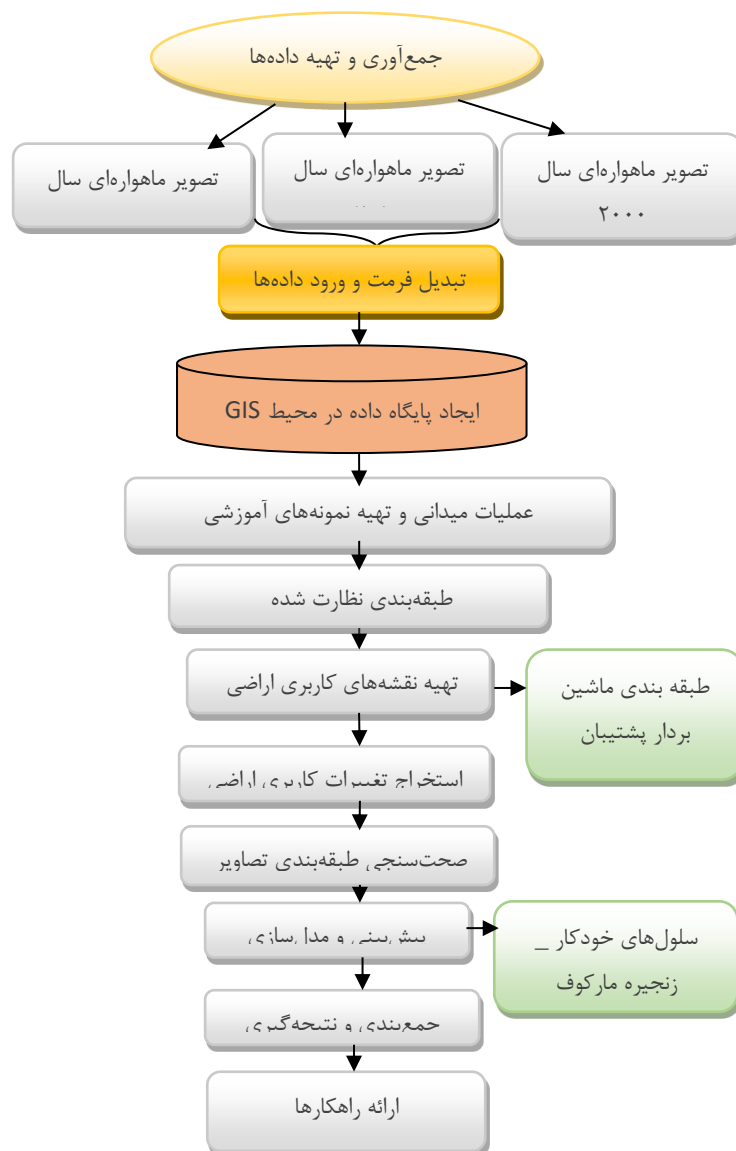
مدل پیش‌بینی CA-Markov

زنجیره مارکوف و CA ، هر دو، مدل دینامیک گسسته در زمان و موقعیت هستند. مشکل ذاتی زنجیره

۱- Penalty Parameter

۲ - Bias

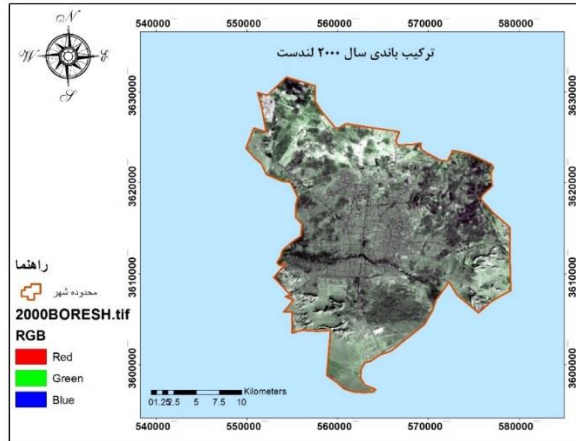
مارکوف این است که هیچ درک جغرافیایی تولید نمی‌کند. احتمال تبدیل ممکن است روی هر گروه پایه، با صحت و دقت همراه باشد، اما فاقد دانش و آگاهی از توزیع مکانی تصادفی درون هر گروه کاربری زمین است و به عبارتی مؤلفه مکانی در خروجی مدل‌سازی وجود ندارد. در نتیجه مدل CA-Markov روشی مناسب در مدل‌سازی دینامیک زمانی و مکانی تغییرات پوشش و کاربری زمین است و داده‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌توانند به‌طور مؤثری در آن مشارکت داده شوند [۶]. در مدل CA-Markov، پروسه زنجیره مارکوف تغییرات زمانی را میان کلاس پوشش/کاربری زمین بر اساس احتمالات تبدیل می‌کند، درحالی‌که تغییرات مکانی به‌وسیله قوانین محلی تعیین‌شده از طریق فیلتر مکانی CA کنترل می‌گردند [۶]. جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها پارامترهایی که در گسترش شهر تأثیرگذارند در نظر گرفته می‌شوند که در این پژوهش شیب، فاصله از جاده‌های موجود، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاع می‌باشد و پیش‌بینی صورت گرفته تابعی از ورودی‌های مدل می‌باشد.



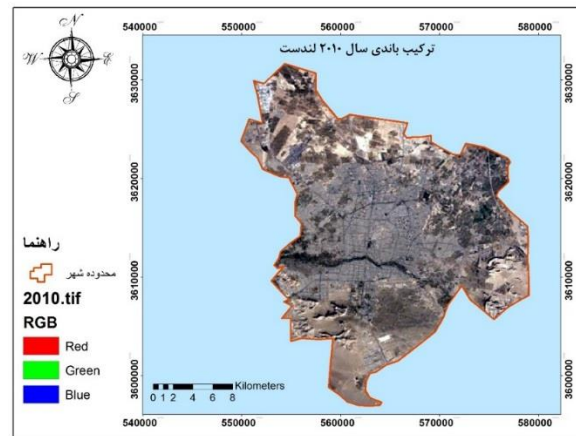
شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام پژوهش

نتایج پژوهش

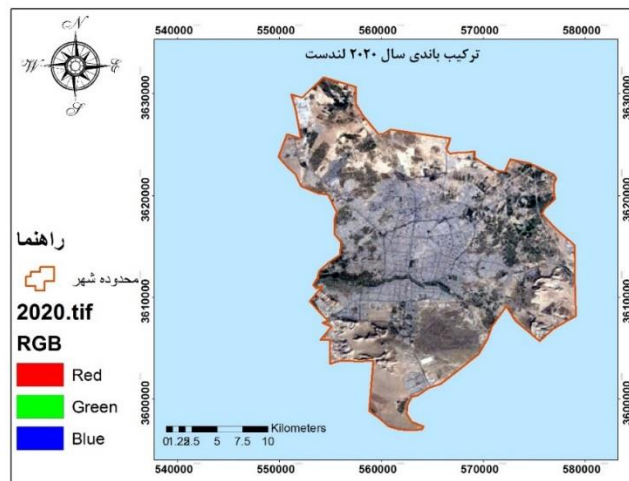
خطای تصحیح هندسی، برای تصویر سال ۲۰۰۰ برابر ۰/۳۷ و برای تصویر سال ۲۰۱۰ برابر ۰/۴ به دست آمد. با استفاده از تصویر ماهواره‌ای، سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی آماده شد. تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ سنجنده TM و سال ۲۰۲۰ سنجنده OLI استفاده گردید. در شکل ۳، ۴ و ۵، ترکیب باندهای سال‌های مطالعاتی مشاهده می‌شود.



شکل ۳- نمایی از نقشه ترکیب باندهای ۳،۴،۵ محدوده مطالعاتی سال ۲۰۰۰

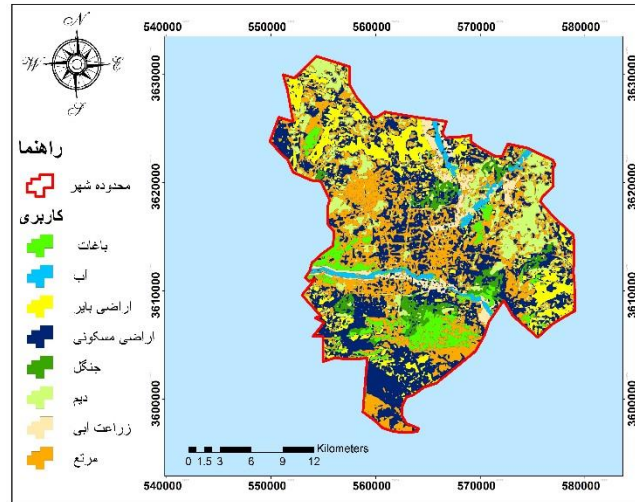


شکل ۴- نمایی از نقشه ترکیب باندهای ۳،۶،۷ محدوده مطالعاتی سال ۲۰۱۰

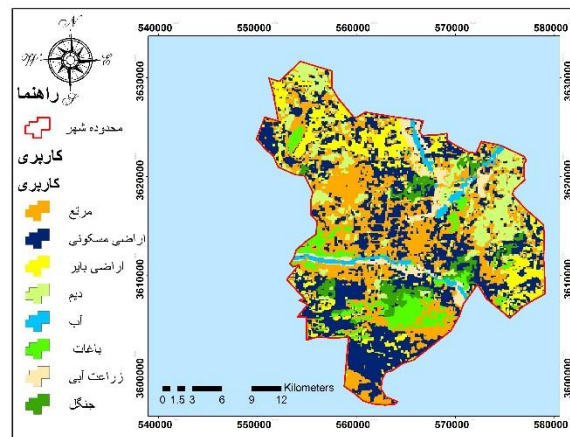


شکل ۵- نمایی از نقشه ترکیب باندی ۲,۵,۷ محدوده مطالعاتی سال ۲۰۲۰

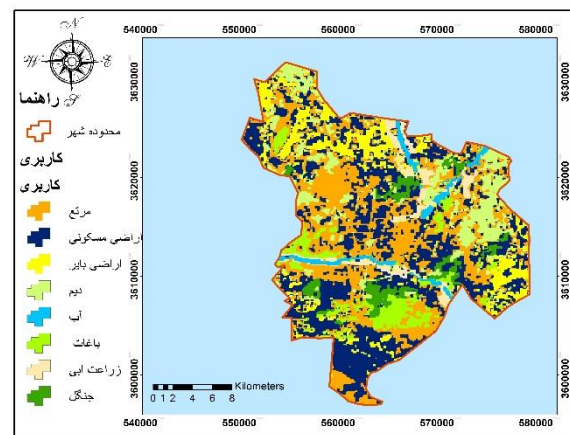
با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست همان‌طور که در بخش روش تحقیق بیان شد و روش SVM طبقه‌بندی تصویر در ۴ کلاس انسان‌ساخت، زراعت، بایر و سایر کاربری‌ها انجام شد که در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است.



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی سال ۲۰۰۰



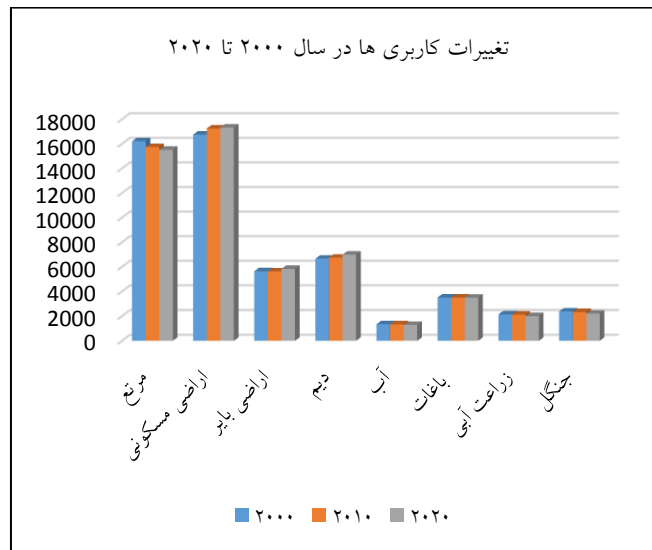
شکل ۷- نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی سال ۲۰۱۰



شکل ۸- نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی سال ۲۰۲۰

محاسبات تغییرات کاربری‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که در طی این بازه ۳۰ سال

کاربری اراضی بایر و اراضی مسکونی، دیم و باغات افزایش مساحت و کاربری زراعت آبی و جنگل، آب و مراتع کاهش مساحت داشته است.



شکل ۹- نمودار تغییرات کاربری ۳ دوره

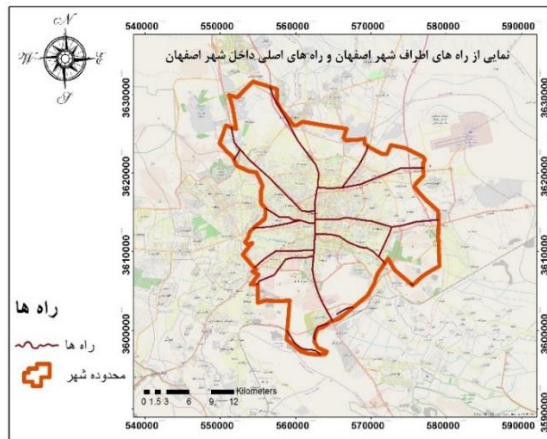
جدول ۲- ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه

پارامتر آماری	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۲۰
ضریب کاپا	۸۳/۳۲	۸۵/۲۲	۸۶/۷۱
دقت کلی	۸۴/۶۵	۸۶/۷۳	۸۷/۰۴

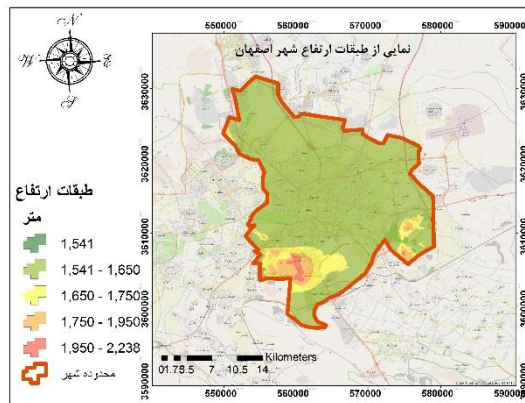
مساحت کلاس‌ها و تغییرات کاربری‌های به‌دست‌آمده آن در بازه زمانی مورد مطالعه محاسبه شده که به صورت شکل (۹) بود. با استفاده از Markov و CA_Markov نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ تهیه شد. بر اساس عوامل دخیل در تغییرات کاربری اراضی شهری در منطقه مورد مطالعه ورودی‌های مدل سلول‌های خودکار به صورت جدول (۳) انتخاب شده و پیش‌بینی صورت گرفته تابعی از ورودی‌های مدل می‌باشد. مساحت کلاس‌های نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ نیز در جدول ۴ و نقشه خروجی آن در شکل ۱۴، نشان داده شده است.

جدول ۳- متغیرهای ورودی در مدل شبیه‌سازی سلول‌های خودکار

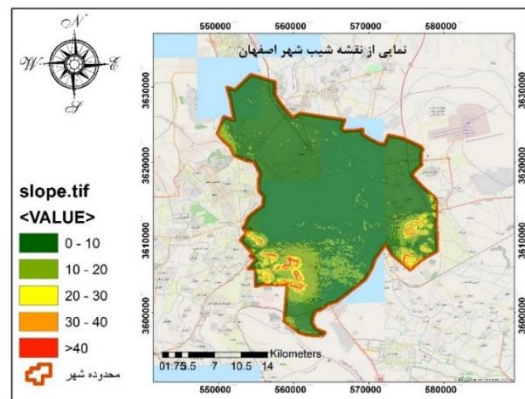
ردیف	متغیر مؤثر در کاربری اراضی	شناسه
۱	شیب	Slope
۲	فاصله از جاده‌های موجود	Road
۳	فاصله از رودخانه	River
۴	طبقات ارتفاع	Dem



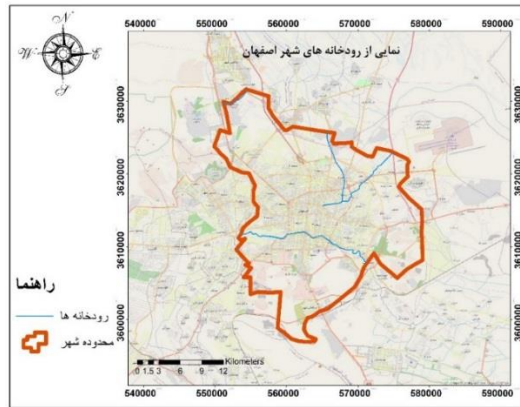
شکل ۱۰- نقشه راه های محدوده مطالعاتی



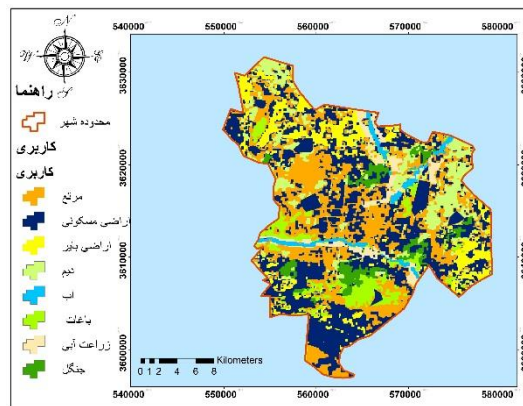
شکل ۱۱- نقشه طبقات ارتفاع محدوده مطالعاتی



شکل ۱۲- نقشه شیب محدوده مطالعاتی



شکل ۱۳- نقشه شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۴- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده محدوده مطالعاتی در سال ۲۰۳۰.

جدول ۴- مساحت طبقات (ha) نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ به روش CA_Markov

ردیف	کلاس‌های کاربری	۲۰۳۰
۱	مرتع	۱۵۰۰/۶۳
۲	اراضی مسکونی	۱۷۹۸۴/۰۹
۳	اراضی باغی	۵۸۴۰/۰۴
۴	دیم	۷۴۹۲/۶۲
۵	آب	۱۰۸۹/۸۸
۶	باغات	۳۳۵۹/۲۶
۷	زراعت آبی	۱۹۰۲/۸۴
۸	جنگل	۲۰۱۳/۰۷

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج طبقه‌بندی تصویر نشان داد که اراضی مسکونی در سال ۲۰۰۰ برابر با ۱۶۷۵۴/۴ هکتار بوده که با تغییرات کاربری و تبدیل کاربری‌ها جنگل، مرتع، آبی و ... به کاربری مسکونی در سال ۲۰۱۰ به ۱۷۲۴۸/۶۴ هکتار رسیده یعنی ۴۹۴/۲۴ هکتار مساحت آن افزایش یافته است. کاربری باغی در سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۰ از ۵۶۴۹/۱۲ هکتار به ۵۶۳۱/۲ رسیده یعنی ۱۷/۹۲ هکتار کاهش مساحت داشته است. این تغییرات از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ روند افزایشی داشته است و تغییرات مساحت آن از ۵۶۳۱/۲ هکتار به ۵۸۴۰/۶۳ رسیده یعنی ۲۰۹/۴۳ هکتار افزایش مساحت داشته

است. همچنین نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد رشد و توسعه مناطق مسکونی شهر اصفهان و تبدیل کاربری‌های بایر و زراعت آبی، مرتع، جنگل به مسکونی همواره مثبت بوده است به طوری که نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ نیز گویای این مطلب است و پیش‌بینی شد مساحت اراضی انسان‌ساخت در سال ۲۰۳۰ به ۱۷۹۸۴/۰۹ هکتار برسد. پس از طبقه‌بندی و ارزیابی تغییرات، ضریب کاپا و دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی به منظور ارزیابی روش پیشنهادی تحقیق محاسبه گردید که در جدول (۲) نتایج آن مشاهده می‌شود. ضریب کاپا در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۸۳/۳۲، ۸۵/۲۲، ۸۶/۷۱ به دست آمد. نتایج حاصل نشان از بالا بودن ضریب کاپا و دقت کلی در تصاویر جدیدتر می‌باشد که علت آن را می‌توان وجود نمونه‌های کنترل زمینی نزدیک‌تر از نظر زمانی به این سال‌ها و قدرت تفکیک بیشتر این تصاویر دانست. دلایل خطای ایجاد شده و به عبارتی منابع خطا می‌تواند نوع تصاویر مورد استفاده و تا اندازه بسیار کمی دقت کاربر باشد. از کاربردهای این پژوهش می‌توان ارائه نقشه‌های تغییرات غیراصولی به مدیران جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی را دانست.

Refrenc:

۱- Abedini, M. (۱۴۰۰), Quantitative investigation of gully erosion and sedimentation using rain erosion indices, morphometry and linear regression in Harzand Chai watershed, *Journal of Natural Lands Degradation and Restoration*, ۲(۳), ۱۱۱, ۱۰۰.

۲- Afifi, Mohammad Ebrahim., (۲۰۱۶), monitoring micro-meters using multi-spectral images of Madis satellite in southwest Iran, *Geogria (scientific-research and international quarterly of the Iranian Geographical Society)*, new period, number ۵۵, pp. ۱۸۳-۱۹۵.

۳- Afifi, Mohammad Ibrahim., (۲۰۱۷), Modeling land use changes using Markov chain model and LCM model, case study: Shiraz city, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Year ۲۰, No. ۵۶, pp. ۱۴۱-۱۵۸.

۴- Aghai, Maryam, Khavarian, Hassan, & Mustafazadeh, Rauf. (۲۰۱۹). Prediction and detection of land use changes using CA Markov model and LCM in Kozetparaghi watershed of Ardabil province. *Watershed Research*, ۳۳(۳), ۹۱-۱۰۷. doi: ۱۰,۲۲۰۹۲/wmej.۲۰۱۹,۱۲۸۰۰۹,۱۲۶۷.

۵- Burges, C. J. (۱۹۹۸). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data mining and knowledge discovery*, ۲(۲), ۱۲۱-۱۶۷.

۶- CHU, X.-L., LU, Z., WEI, D., LEI, G.-P. (۲۰۲۲) Effects of land use/cover change (LUCC) on the spatiotemporal variability of precipitation and temperature in the Songnen Plain, China, *Journal of Integrative Agriculture*, Volume ۲۱, Issue ۱, January ۲۰۲۲. pp. ۲۳۵-۲۴۸.

۷- Eastman, J. R., Van Fossen, M. E., & Solarzano, L. A. (۲۰۰۵). Transition potential modeling for land cover change. *GIS, spatial analysis and modeling*, ۳۵۷-۳۸۶.

۸- Fang S, George Z, Gertnera G Z, Sun Z, Andersonc A. ۲۰۰۵. The Impact of Interactions in Spatial Simulation of the Dynamics of Urban Sprawl, Landscape and Urban Planning, ۷۳: ۲۹۴-۳۰۶. doi:http://dx.doi.org/۱۰,۱۰۱۱۶/j.landurbplan.۲۰۰۴,۰۸,۰۰۶.

۹- Haji, K., Esmaali Auri, A., Mostafazadeh, R. (۱۴۰۱), evaluation of land cover/use changes with object-oriented processing of satellite images (۱۹۸۵-۲۰۱۵) in Roza Chai watershed of Urmia, *Journal of Applied Research, Geographical Sciences*, ۲۲ (۶۶): ۱۷۱-۱۷۹.

۱۰- Hedayat, Seyyed Mehdi, Davdpour, Zohra, Zakirhaghighi, Kianoush. (۱۴۰۲). Revealing and simulating land use changes in the new city of Fardis with land surface measurements until ۲۰۴۰, *Sarzemin Geographical Engineering*. ۲(۲).. doi: ۱۰,۲۲۰۳۴/jget.۲۰۲۳,۱۶۰۲۷۰.

۱۱- Kalantari, M. (۲۰۱۶), Sustainable urban development planning with an emphasis on physical development, case study: Tafresh city, Master's thesis, Tarbiat Modares University.

۱۲- Matsa M, Mupepi O, Defe R, (۲۰۲۰) A GIS and remote sensing aided assessment of land use/cover changes in resettlement areas; a case of ward ۳۲ of Mazowe district, Zimbabwe, *Journal of Environmental Management*, ۲۲۷-۲۹۳.

۱۳- Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (۲۰۱۱). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ۶۶(۳), ۲۴۷-۲۵۹.

۱۴- Purswani, E., Verma, S., Jayakumar, S., Khan, M.L., Pathak, B. (۲۰۲۱), Examining and predicting land use change dynamics in Gandhinagar district, Gujarat, India, *Journal of Urban Management*.

۱۵- Rao, S., Sharma, A., (۲۰۱۳), "Cost parameter analysis and comparison of linear Kernel and Hollinger Kernel mapping of SVM on image retrieval and effects of addition of positive images", *International Journal of Computer Applications*, ۷۳ (۲): ۵ - ۱۲.

۱۶- Rasouli, Ali Akbar., (۲۰۰۷), principles of applied remote sensing with an emphasis on satellite image processing, first edition, Tabriz: Tabriz University Press.

۱۷- Ronld, W.T. (۱۹۷۳). Focus on environmental geology, Oxford: Oxford University Press.

۱۸- Sanders M. H. and Clark P. D., ۲۰۱۰. *Geomorphology: Processes, Taxonomy and Applications*. Nova Science Publishers.

۱۹- Safaei, Mohammad Javad, Zandi, Rahman, Zanganeh, Mehdi, & Sepehari Sadr, Narges. (۱۴۰۱). Monitoring the evolution of the land use system and forecasting the changes based on the Markov chain model (case study: the villages of Hareem Shahr Sabzevar). *Physical Development Planning*, ۹(۴), ۳۱-۴۶. doi: ۱۰.۳۰۴۷۳/psp.۲۰۲۳,۶۲۷۰۵,۲۵۷۴.

۲۰- Srivastava, D. K., Bhambhu, L., (۲۰۰۹), "Data classification using support vector machine", *Theoretical and Applied Information Technology*, ۴۹: ۱-۷.]on line[: www.jatit.org.

۲۱- Suriya S, Mudgal B. (۲۰۱۲). Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed–A case study. *Journal of Hydrology*, ۴۱۲: ۲۱۰-۲۱۹.

۲۲- Obayat, Mohammad, Attar Roshan, Sina, & Obayat, Mahmoud. (۲۰۱۹). Evaluation and prediction of vegetation changes related to land use changes using LCM model and CA Markov chain (case study: Ahvaz metropolis). *Geography and Environmental Hazards*, ۹(۳), ۱۸۳-۲۰۴. doi: ۱۰,۲۲۰۶۷/geoeh.۲۰۲۰,۶۷۲۳۶,۰.

۲۳- Vapnik, V. N., (۱۹۹۹), "The nature of statistical Learning theory", Second Edition, New York: Springer-Verlag.

Monitoring land use changes with remote sensing and CA Markov model(case study: Isfahan city)

Khalil Alinejad^۱, Mohammad Ebrahim Afifi^۲, Marziyeh Moghli^۳

Abstract

For optimal use of land, knowledge of land use changes and its type of use is essential, which becomes possible by evaluating and predicting land use changes. The aim of this study was to monitor land use changes in the last three decades with remote sensing technique and CA Markov model in Isfahan city. To achieve this goal, the necessary corrections and processing were done on Landsat ۲۰۰۰, ۲۰۱۰ and ۲۰۲۰ satellite images. Classification was done by support vector machine method. The results of image classification showed that residential land in ۲۰۰۰ was equal to ۱۶۷۵۴,۴ hectares (۳۱%), which with the changes in land use and the conversion of forest, pasture, water, etc. to residential use in ۲۰۱۰ to ۱۷۲۴۸,۶۴ hectares (۳۲ %) reached, which means its area has increased by ۲۴,۴۹۴ hectares. Also, the classification results show that the growth and development of the residential areas of Isfahan city and the conversion of barren uses and irrigated agriculture, pastures, forests into residential have always been positive, so that the forecast map of ۲۰۳۰ is also indicative of this and the area of man-made lands in ۲۰۳۰ was predicted to be ۰۹ reach ۱۷۹۸۴ hectares (۳۵%). Kappa coefficient in ۲۰۰۰, ۲۰۱۰ and ۲۰۲۰ was ۸۳,۳۲, ۸۵,۲۲, ۸۶,۷۱ respectively. The results show that the Kappa coefficient and overall accuracy are high in the newer images, which can be attributed to the presence of ground control samples closer in time to these years and the higher resolution of the images.

^۱ PhD student of Geography, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran.

^۲ Assistant Professor Department of Geography, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran
(Corresponding Author:)

^۳ Associate Professor Department of Geography, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran.