

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی ام، تابستان ۱۳۹۸

صص ۱۶۶-۱۴۹

DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.78082>

تحلیل و پیش‌بینی گسترش شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و زنجیره مارکوف (طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۳۷۹)

ابراهیم اکبری^۱ - کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
رحمان زندی - عضو هیئت‌علمی گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
رقیه کلاته میمری - کارشناس ارشد برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵

چکیده

گسترش فیزیکی شهرها یک فرایند پویا و پیوسته است که در آن مرزهای شهر و فضای فیزیکی در جهت‌های عمودی و افقی از نقاط کمی و کیفی افزایش می‌یابد. روش تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است تحقیق حاضر در پی ارزیابی و گسترش شهر مشهد در طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۵ و سپس پیش‌بینی تغییرات تا سال ۱۴۰۴ است. داده‌های مورد نیاز پژوهش به روش اسنادی؛ و برای پی بردن به نوع و میزان تغییرات رخ داده در منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره لندست، سنجنده ETM سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۷۹ و سنجنده OLI استفاده شده است. پس از عملیات طبقه‌بندی که از روش نظارت شده و الگوریتم حداکثر مشابهت استفاده شده است، در ادامه جهت پی بردن به تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی شهر مشهد که شامل کاربری‌های باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده، اراضی بایر و مراتع مد نظر قرار گرفته از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد؛ همچنین برای پیش‌بینی روند تغییرات تا سال ۱۴۰۴ از مدل CA استفاده شده است. همچنین در این پژوهش جهت اعتماد به طبقه‌بندی صورت گرفته از شاخص کاپا استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین تغییر، در سال‌های ۷۹ تا ۸۸ مربوط به محدوده باغات و اراضی کشاورزی بوده است، اراضی بایر در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ کاهش یافته است اما در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است. مساحت مراتع در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ کاهش یافته است اما در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۸ و ۱۳۷۹ افزایش چشمگیری داشته است. همچنین در طی ۳ بازه زمانی ۱۳۹۵، ۱۳۸۸، ۱۳۷۹ بیشترین تغییر در کاربری‌ها مربوط به محدوده‌های ساخته شده است که بر اساس پیش‌بینی مارکوف در

افق ۱۴۰۴ این کاربری حدود ۱۲۱/۵۷٪ دچار تغییر خواهد شد؛ بنابراین نتایج مقاله حاضر می‌تواند به‌عنوان هشدار و تلنگری برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری باشد تا با برنامه‌ریزی مناسب مانند سیاست‌های عمودی سازی و به‌عبارت‌دیگر گسترش در ارتفاع و نه در سطح، از گسترش بی‌رویه شهر به سمت باغات و اراضی کشاورزی جلوگیری نمایند.

کلیدواژه‌ها: توسعه فیزیکی شهر، تغییر کاربری اراضی، زنجیره‌های مارکوف، لندست، مشهد

۱- مقدمه

ناحیه‌های شهری چهار درصد از سطح زمین را دربرگرفته‌اند؛ بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها ساکن‌اند (حسین‌زاده و پناهی، ۱۳۹۳) با توجه به رشد شهرنشینی در دهه‌های اخیر بیشتر زمین‌های داخل و اطراف خود را تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی قرار داده‌اند. همچنین شهرها همواره تحت تأثیر نیروها و عوامل گوناگونی شکل گرفته و گسترش می‌یابند؛ با تحولات اجتماعی، جابجایی‌های جمعیتی، تغییرات اقتصادی و نوآوری‌های فن‌شناختی، دگرگون می‌شوند. در زمانی که جمعیت افزایش یابد، فعالیت و سرمایه‌گذاری لاجرم به‌سرعت توسعه می‌یابد و نظام و سازمان کالبدی شهرها دستخوش تغییرات اساسی می‌شوند (واحدیان‌بیگی و همکاران؛ ۱۳۹۰). رشد روز افزون شهرها و غلبه‌ی شیوه‌ی شهرنشینی در چند دهه اخیر موجب شکل‌گیری روندهای مهاجرتی عظیمی به مناطق شهری در سراسر جهان شده است. ضمن اینکه این مسئله بیش از همه، کشورهای در حال توسعه را با مشکلاتی از قبیل ناسازگاری در کاربری‌ها، عدم تناسب کاربری‌ها با استانداردهای شهرسازی، آشفستگی محیط شهری، عدم ارائه خدمات شهری به جمعیت تازه وارد و شکل‌گیری حلبی‌آبادها و مناطق حاشیه‌نشین، از بین رفتن اراضی کشاورزی پیرامون در اثر توسعه فیزیکی شهرها و تغییر کاربری‌های آن به کاربری‌های شهری، دگرگونی روستاهای پیرامونی و واقع در حوزه نفوذ کلان‌شهرها روبه‌رو کرده است (پوراحمد و همکاران؛ ۱۳۹۰). با توجه به روند مهاجرت‌ها و پیچیدگی نظام‌های شهری در جهان معاصر، ارزیابی و تبیین تغییرات آنها را به شیوه‌های سنتی و مرسوم در دنیایی که شهرنشینی از بزرگ‌ترین پدیده‌های قابل توجه آن محسوب می‌شود، امری بسیار مشکل است (پورمحمدی و دیگران؛ ۱۳۸۶). تغییرات کاربری زمین، فرآیندهای پویای فضایی و کالبدی هستند که توجه برنامه‌ریزان را برای مدیریت منابع از طریق پیش‌بینی رشد آینده و معرفی نواحی زیست‌محیطی در خطر به خود جلب کرده است (پوراحمد و دیگران؛ ۱۳۹۰). پوشش اراضی به ترکیب و ویژگی‌های اجزا و عوارض روی سطح زمین اشاره دارد. نحوه استفاده از زمین، به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نقشه کاربری و پوشش اراضی که در آن نوع و الگوی مکانی و طریق استفاده از سرزمین مشخص شده است، یکی از ابزارهای مهم برای برنامه‌ریزی‌های آتی کاربری اراضی است. نقشه‌های کاربری اراضی که نمایانگر شرایط فعلی و توزیع جغرافیایی نحوه استفاده انسان از زمین در فعالیت‌هایی مانند کشاورزی، جنگلداری، شهرسازی و ...، نقش

مهمی ایفا می کنند (سفیانیان و خداکرمی، ۱۳۹۰). کاربری اراضی شهری جزو مفاهیم پایه و اصلی دانش شهرسازی و در واقع شالوده شکل گیری آن است و به اندازه ای حائز اهمیت است که برخی از صاحب نظران برنامه ریزی شهری در کشورهای پیشرفته دنیا آن را برابر با برنامه ریزی شهری می دانند (زمانی و دیگران؛ ۱۳۹۵). مدل های پیش بینی کاربری اراضی برای برنامه ریزی استفاده پایدار از زمین یک نیاز ضروری است (رضائی و جعفری؛ ۱۳۹۳). در بین مدل های مطرح برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی مدل زنجیره ای CA مارکوف در ترکیب با تصاویر سنجنش از دور برای مدل سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی به طور گسترده در محیط های شهری و غیر شهری در مقیاس های بزرگ در مناطق مختلف دنیا مورد توجه برنامه ریزان و مسئولین زیادی قرار گرفته است (Guan et al, 2011). استان خراسان رضوی با داشتن شرایط بهتر نسبت به استان های مهاجر و وجود حرم امام رضا (ع) در کلان شهر مشهد، همواره به عنوان یک مقصد جذاب برای مهاجران کشور مورد توجه بوده است (زرقانی و دیگران؛ ۱۳۹۵). همچنین مشهد دومین کلان شهر کشور است و به عنوان یکی از بزرگ ترین شهرهای ایران شاهد روند رو به رشد جمعیت، رشد کالبدی و تغییر کاربری اراضی است؛ بنابراین با توجه به نیاز به برنامه ریزی برای این کلان شهر، نیاز به پیش بینی نوع تغییر کاربری اراضی در مناطق سیزده گانه ضروری است. در نتیجه هدف تحقیق حاضر بررسی روند و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی شهری کلان شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و مدل زنجیره مارکوف در سال های ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۱ است. همچنین در این راستا سؤالات اصلی تحقیق به این صورت می باشند: ۱. با استفاده از تصاویر ماهواره چندزمانه تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه به چه شکل است؟ ۲. بیشترین تغییرات و انتقال در کدام یک از کاربری ها بوده است؟ بنابراین فرضیه اصلی تحقیق بر این مبنا بدین صورت ارائه شده است: با استفاده از فناوری سنجنش از دور و مدل زنجیره مارکوف طی دو دهه گذشته کلان شهر مشهد شاهد توسعه فضایی و گسترش فیزیکی در جهات مختلف بوده و تغییرات و انتقال کاربری های اراضی آن چشمگیر است. در رابطه با تغییر کاربری و پوشش اراضی مطالعاتی چند در خارج و داخل کشور صورت گرفته است که نمونه هایی چند از آنها به شرح زیر است:

نام وان^۱ و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی با عنوان تشخیص و پیش بینی توسعه شهری منطقه هانوی (ویتنام) با استفاده از مدل ماهواره ای SPOT-5 و مدل زنجیره مارکوف، هدف اصلی این مطالعه تشخیص و پیش بینی گسترش شهر هانوی، یک شهری معمولی در ویتنام است. برای این منظور، ابتدا تصاویر ماهواره SPOT-5 برای سال های ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، و ۲۰۱۱ به منظور طبقه بندی چهار طبقه پوشش زمین، آب باز، پوشش گیاهی، بیضوی و مسکونی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطوح غیر قابل نفوذ هانوی به ترتیب ۸،۲۷٪ و ۱۴،۰۹٪ از کل منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۷ افزایش خواهد یافت. نتایج این مطالعه اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه ریزان شهر

1 Nam van and etal

محلی در برنامه‌ریزی و توسعه شهری ارائه می‌دهند. لامچین^۱ و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات کاربری اراضی و بیابان زایی را در مغولستان با تکنیک سنجش‌ازدور بررسی کردند. نتایج این تحقیق هیچ رابطه‌ای بین شاخص پوشش گیا هی میزان آلودگی یا شاخص TGSi نشان نداد، اما رابطه زیادی بین میزان TGSi و آلودگی را آشکار ساخت. همبستگی بالا بین دو شاخص TGSi و آلودگی در مناطق فاقد بیابان زایی نیز قابل توجه بود. در تحقیقی که بواسطه سهل و کلاچتی^۲ در سال ۲۰۱۳ در مورد منطقه حفاظت شده‌ای در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف انجام شده است؛ این محققین توانستند تا تغییرات کاربری اراضی در گذشته و آینده نمایش دهند. در مطالعه‌ای دیگر که توسط وانگ^۳ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف، تغییرات کاربری اراضی ساگا ژاپن را برای سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۲ مدل‌سازی نموده‌اند. پرور و شایسته (۱۳۹۶) در تحقیقی با عنوان پیش‌بینی روند تغییرات و توسعه شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌موردی: شهر بجنورد) به منظور تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات، دو به دو نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸، ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ و ۲۰۱۵ تا ۲۰۰۱ بررسی شد. افزایش و کاهش، تغییر خالص، مناطق بدون تغییر و انتقال بین دو نقشه کاربری بررسی و ارزیابی شدند. بر این اساس با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ با روش زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد و نقشه پیش‌بینی شده با نقشه واقعی این سال مقایسه شد. منصور و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی با عنوان ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر چند زمانه و مدل زنجیره‌ای MARKOV (مطالعه موردی: شهر ایلام)، با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست مربوط به سال‌های ۱۹۷۶، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ و با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تغییرات کاربری اراضی در بازه ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۷ و با تاکید بر پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و بالانحص گسترش فضایی شهر ایلام در سال ۲۰۲۰ با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف پرداخته شده است. در نهایت تغییرات کاربری‌ها و سطح کاربری‌های منطقه محاسبه و مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج طی بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰، افزایش ۳۸۴/۸ هکتاری مناطق مسکونی و تخریب ۲۱۶۹۴ هکتاری کاربری باغ و کاهش کاربری اراضی بایر را نشان می‌دهد. سپس پس از مطالعات فراوان دیگری در این زمینه، خانم رضانی و آقای جعفری در سال ۱۳۹۳ تحقیقی تحت عنوان آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین انجام شده است با استفاده از مدل مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای لندست در شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۴ پرداخته شده است. خانم واحدیان بیکی و دیگران در تحقیقی با عنوان اثر توسعه فیزیکی شهر تهران بر تغییر کاربری

1 Lamchin and etal

2 Sohl & Claggety

3 Wang

اراضی منطقه ۵ که در سال ۱۳۹۰ انجام شده است با استفاده از نرم افزارهای GIS و ENVI به بررسی توسعه فیزیکی منطقه ۵ شهر تهران که زمانی جزء اراضی پیرامون شهر بوده اما در طی دوره‌های مختلف با افزایش جمعیت و مهاجرت به تهران، این اراضی وارد محدوده شهری شده، پرداخته شده است. در مطالعه‌ای دیگر آقای مهدی صالحی و دیگران با عنوان بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست با استفاده از مدل مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه لندست به بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف جهت برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین برای شهر تهران و حومه آن طی بازه ۳۰ ساله پرداخته شده است. مطابق با نتایج بدست آمده در مطالعات پیشین، آنچه که نتایج پژوهش حاضر را متمایز از مطالعات قبلی می‌کند، فرآیند جریان مسأله در محدوده شهر مشهد می‌باشد که علیرغم تجربه‌ی مداوم و تغییرات پی در پی در وضعیت توسعه اراضی شهری هیچ گونه مطالعه‌ی مدون علمی را در این زمینه و در ابعاد شهری آن با توجه به ابزارهای تحلیلی پژوهش به خود ندیده است. لذا ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در شهر مشهد در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ و پیش‌بینی این تغییرات برای افق ۱۴۰۴ اولین پژوهش در این زمینه می‌باشد. طبیعتاً این نتایج می‌تواند در برنامه‌ریزی راهبردی توسعه شهری مشهد مثر ثمر واقع گردد.

۲- منطقه مورد مطالعه

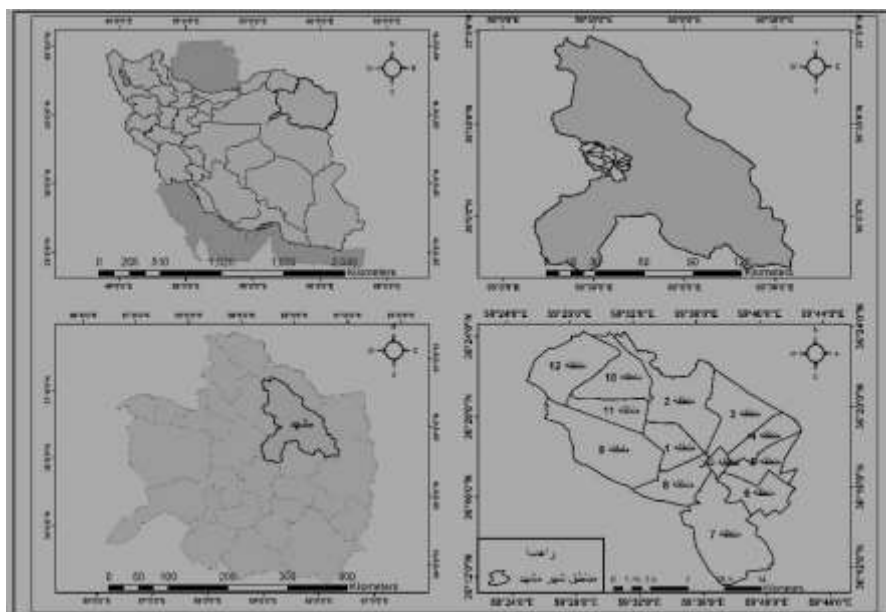
شهر مشهد با مساحتی بالغ بر حدود ۳۲۸۱۲۱۲۴۴ مترمربع در سال ۹۲ (معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد، ۱۳۹۲) دومین کلان‌شهر کشور محسوب می‌شود. شهر مشهد، از نظر تقسیمات اداری به ۱۳ منطقه شهرداری و ۴۴ ناحیه و به ۱۵۸ محله در سال ۹۲ تقسیم شده است (معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد، ۱۳۹۲). موقعیت دشتی و مکان‌گزینی این شهر در زمین‌های مسطح امکان گسترش شهر را در اطراف فراهم آورده است. عامل طبیعی که رشد این شهر را محدود می‌کند مناطق مرتفع و کوهستانی رشته کوه بینالود در غرب و جنوب غرب شهر است. از نظر جمعیتی، در نخستین سرشماری رسمی ایران (۱۳۳۵) مشهد با جمعیت ۲۴۱۹۸۹ نفر، چهارمین شهر پرجمعیت ایران بوده است. در سرشماری سال ۱۳۹۵ مشهد دارای جمعیتی معادل ۳۰۰۱۱۸۴ نفر بوده است. مقایسه نقشه‌های شهر در دوره‌های اخیر نشان می‌دهد که جهت غالب رشد شهر به سمت شمال غرب بوده است. با بر اساس سرشماری سال ۹۰ تعداد این افراد ۲۸۰۷۴۶۴ نفر بوده است (مرکز آمار ایران؛ ۱۳۹۰) و تغییرات جمعیتی این شهر در طی سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۹۵ در جدول زیر نمایش داده شده است:

جدول ۱- تحولات جمعیتی کلان‌شهر مشهد طی سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۹۵

سال	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
میزان جمعیت بر اساس نفر	۱۴۶۳۵۰۸	۱۸۸۷۴۱۴	۲۴۲۷۳۱۶	۲۸۰۷۴۶۴	۳۰۱۲۰۹۰
متوسط رشد سالانه به درصد	۸/۲	۲/۶	۲/۵	۱/۷	۲/۸

(منبع: مرکز آمار ایران)

لذا کلان‌شهر مشهد با توجه به مرقد امام رضا (ع) و عنوان پایتخت فرهنگی جهان اسلام، به‌عنوان دومین کلان‌شهر مذهبی جهان اسلام پس از شهر مکه (دیناری، ۱۳۸۴: ۱۹۲) است. این شهر به‌عنوان کلان‌شهر اصلی شرق کشور سالانه علاوه بر رشد جمعیت ساکن خود، جمعیت قابل توجهی از روستاها، شهرهای کوچک و حتی کشورهای همسایه را در خود جای می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در این تحقیق از تصاویر سنجنده ETM مربوط به سال‌های (۱۳۷۹) ۲۰۰۰ و سال‌های (۱۳۸۸) ۲۰۰۹ و سنجنده OLI (۱۳۹۵) ۲۰۱۶ از ماهواره لندست استفاده شده است. تاریخ تصاویر به ترتیب در تاریخ ۲۰۰۰/۵/۲۸، ۲۰۱۶/۵/۲۵/۲۶ بوده است. در ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست تصحیح هندسی و رادیو متریک شد تا خطاهای مربوط به تصاویر ماهواره‌ای کاهش یابد. در ادامه محدوده مورد مطالعه از تصاویر جدا کرده و اقدام به طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای شد. روش مورد استفاده جهت طبقه‌بندی اطلاعات روش نظارت شده می‌باشد. در این روش برای رده بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌گردد. بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخص از تصویر برای هر یک از کلاس‌ها عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته شده انجام شده است. همچنین لازم به توضیح است که الگوریتم حداکثر مشابهت جهت طبقه‌بندی نظارت مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته و بر اساس واریانس و کوواریانس آن طبقه واکنش طیفی ویژه، مورد تجزیه

و تحلیل قرار می‌گیرد و فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه بر اساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن طبقه قرار گرفته‌اند (علیزاده ربیعی، ۱۳۹۲). در ادامه واریانس و کوواریانس و میانگین طبقه مختلف هر تصویر ماهواره‌ای، برای طبقه‌بندی پدیده‌ها محاسبه می‌شود تا هر یک از پیکسل‌ها به طبقه‌ای تعلق یابد که حضورش در آن طبقه از احتمال بیشتری برخوردار است. از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$g_i(x) = -\frac{1}{2}(x - \mu_i)^T \cdot \Sigma_i^{-1} (x - \mu_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| + \ln(p(w_i))$$

در ادامه جهت پی بردن به تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه (شهر مشهد) که شامل کاربری‌های باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده، اراضی بایر و مراتع مد نظر قرار گرفته، از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد. در زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که موردی‌ها مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی در افق ۱۴۰۱ نیز در مدل CA مارکوف در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل مارکوف نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت و ماتریس مساحت‌های تبدیل شده در هر کلاس و در نهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری مختلف است. همین‌طور در این پژوهش جهت اعتماد به طبقه‌بندی صورت گرفته از شاخص کاپا استفاده شده است شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$kappa = \frac{P_0 - P_C}{1 - P_C} * 100$$

P0: درستی مشاهده شده

PC: توافق مورد انتظار

مدل پیش‌بینی زنجیره‌ی مارکوف

زنجیره‌های مارکوف یک روش ریاضی و احتمالاتی می‌باشد. در واقع مدل زنجیره‌ای مارکوف به صورت یک فرایند تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت آینده یک پیکسل تنها به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و بر اساس آن پیش‌بینی می‌شود. نتیجه مستقیم حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال است؛ اما در این مدل هیچ درک جغرافیایی به دست نمی‌آید و در پایان به مدل‌سازی نقشه واحدی که نشان دهنده توزیع مکانی کلاس‌ها باشد، تولید نمی‌گردد. برای رفع این مشکل در دهه ۱۹۵۰ مدل CA مارکوف توسط جان وان نیومن ۸ برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل مارکوف طراحی شد (Fan&et al,2008: 127-147).

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج دقت طبقه‌بندی

یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی صحت طبقه‌بندی، محاسبه ماتریس خطا است. نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی در این مطالعه با صحت کلی از ۸۰ درصد و ضریب کاپای بالاتر از ۰/۸ از محاسبه ماتریس خطا ارزیابی گردید. این مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی بالای ۸۰ درصد نشان دهنده این است که به‌طور کلی توافق خوبی بین طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری موجود در زمین وجود دارد. جدول (۱) ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

سال	تصویر	شاخص کاپا	ضریب صحت
۲۰۰۰	ETM	۰/۸۶	۸۹/۵۴
۲۰۰۹	ETM	۰/۸۸	۹۱/۴۶
۲۰۱۶	OLI	۰/۸۵	۸۸/۶۵

ماخذ: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهواره ای لند ست

تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۵

در این راستا شکل (۱) تصویر اولیه برداشتی سال ۲۰۰۰، شکل (۲) تصویر اولیه برداشتی سال ۲۰۰۹، شکل (۳) تصویر اولیه برداشتی سال ۲۰۱۶ از شهر مشهد را نشان می‌دهد. نقشه (۱) نقشه پوشش زمین که تغییرات کاربری‌های (باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده، اراضی بایر و مرتع) در شهر مشهد در سال ۱۳۷۹، نقشه (۲) پوشش زمین در سال ۱۳۸۸ و نقشه (۳) پوشش زمین در سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تصویر اولیه برداشتی سال ۲۰۰۹ از شهر مشهد

مآخذ: تصویر ماهوره ای لند ست ۷



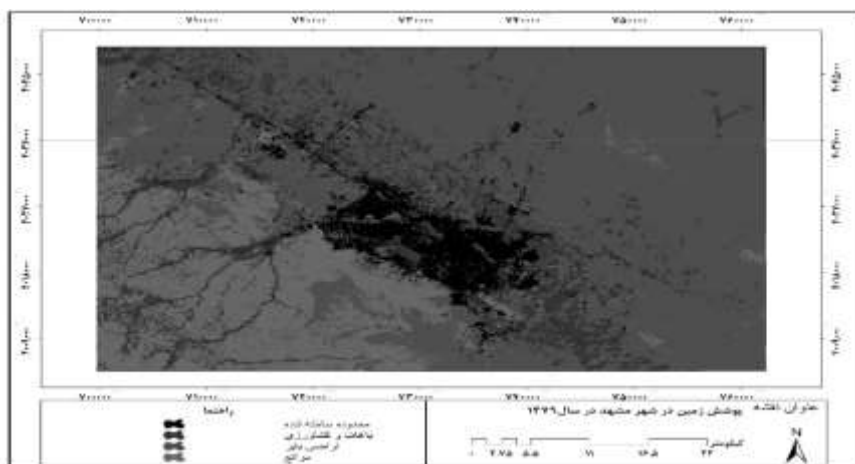
شکل ۲- تصویر اولیه برداشتی سال ۲۰۰۰ از شهر مشهد

مآخذ: تصویر ماهوره ای لندست ۷



شکل ۴- تصویر اولیه برداشتی سال ۲۰۱۶ از شهر مشهد

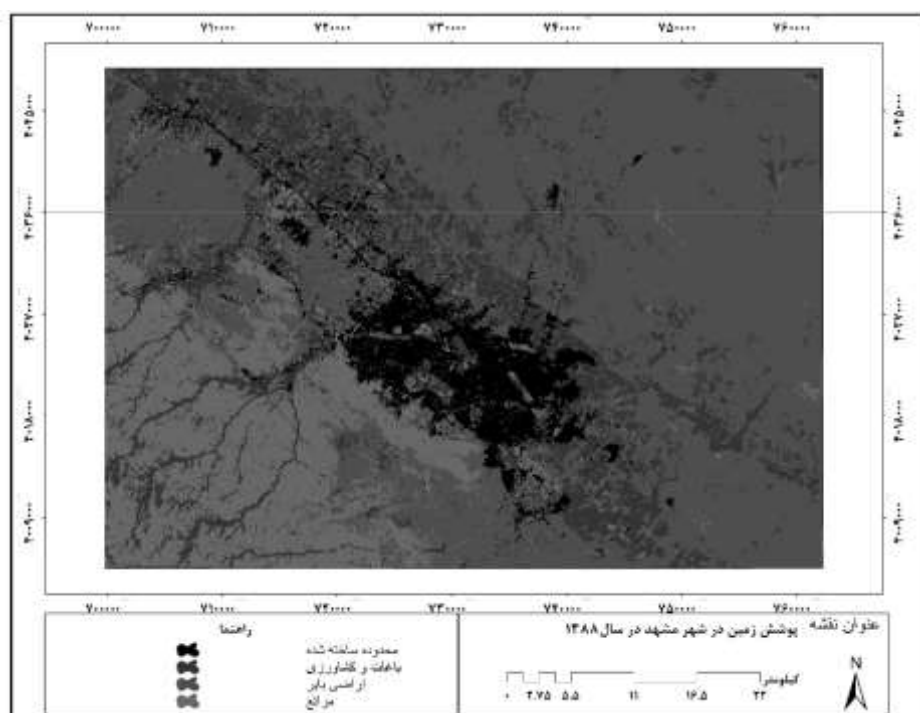
مآخذ: تصویر ماهوره ای لندست ۸



شکل ۵- نقشه پوشش زمین شهر مشهد در سال ۱۳۷۹

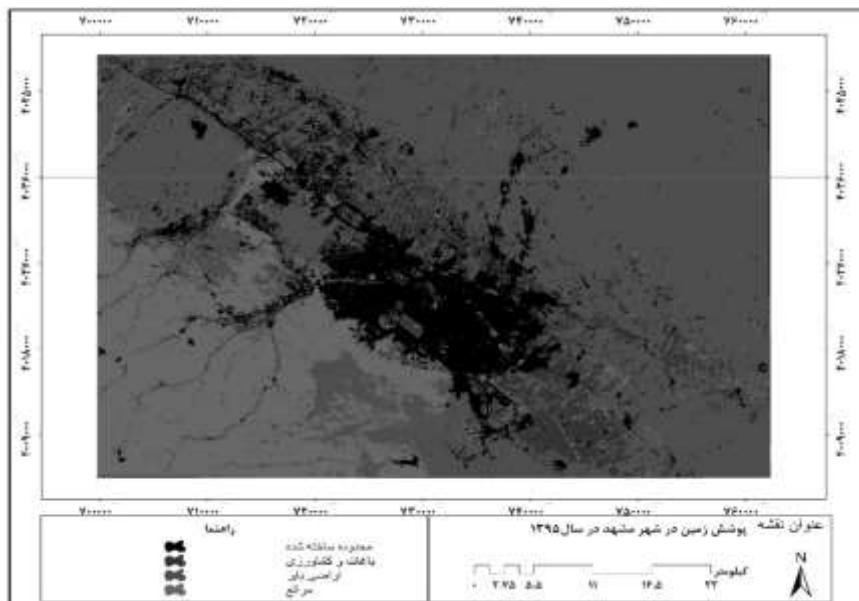
مآخذ: تصویر ماهواره ای لند ست ۷، (۲۰۰۰/۵/۲۸)

با توجه به شکل (۵) بیشترین تغییر، در سال‌های ۷۹ تا ۸۸ مربوط به محدوده باغات و اراضی کشاورزی بوده است، به طوری که وسعت این محدوده در سال ۷۹ معادل ۱۲۳۵۸۹۴۵ مترمربع بوده و در سال ۸۸ به ۲۴۹۷۸۸۷۵ مترمربع رسیده است (آمارنامه سال ۷۹ و ۸۸)، یعنی تقریباً دو برابر شده است. علت آن اجرای طرح‌هایی همچون: طرح طوبی، طرح بوستان طرق، طرح بوستان وحدت و طرح بوستان نصرت می‌باشد. طرح طوبی یکی از زیر پروژه های طرح ملی نهضت سبز است که به منظور توسعه فضای سبز در اطراف مزارع روستاها و شهرها به اجرا درآمده است، این طرح، طرحی استانی بوده و اداره فنی جنگلداری و جنگلکاری استان خراسان رضوی در راستای سیاست‌های سازمانی مقرر از سال ۱۳۷۸ اقدام به اجرای این طرح در عرصه‌های متعدد سطح استان نموده است. طرح بوستان طرق در جنوب شرقی مشهد و توسط شهرداری مشهد در سال‌های ۷۵ تا ۷۷ به اجرا درآمد. همچنین طرح‌های بوستان وحدت و بوستان نصرت نیز به ترتیب در سال‌های ۷۶ تا ۸۰ و ۸۶ تا ۸۸ به اجرا درآمد که تأثیر بسزایی در افزایش باغات و زمین‌های کشاورزی داشته است.



شکل ۶. نقشه پوشش زمین شهر مشهد در سال ۱۳۸۸

مآخذ: تصویر ماهواره ای لند ست ۷، (۲۰۰۹/۶/۶)



شکل ۷. نقشه پوشش زمین شهر مشهد در سال ۱۳۹۵

مأخذ: تصویر ماهوره ای لند ست ۸، (۲۰۱۶/۵/۱۶)

با توجه به خروجی نقشه‌ها در سه بازه زمانی ۱۳۹۵، ۱۳۸۸، ۱۳۷۹ مشخص گردید که در سال‌های ۹۵، ۸۸، ۷۹ بیشترین تغییر مربوط به محدوده‌های ساخته شده است. به طوری که در این دوره ساخت و سازها و رشد فیزیکی شهر در جهت شمال غرب بوده است و از طرفی به دلیل اینکه به طور معمول ساخت و سازها بر روی باغات و اراضی کشاورزی انجام می‌شود، در این سمت شهر شاهد کاهش باغات و اراضی کشاورزی و به دنبال آن افزایش محدوده‌های ساخته شده هستیم. با توجه به نقشه سال ۹۵ باغات و اراضی کشاورزی در سمت جنوب شرق همچنان باقی است و یکی از دلایل آن می‌تواند عدم توسعه شهر در این جهت باشد.

ماتریس تبدیل وضعیت

با استفاده از نقشه‌های پوشش زمین به دست آمده برای هر دوره، ماتریس تبدیل وضعیت کلاس‌های پوشش زمین بین دو دوره زمانی محاسبه شده است. از نقشه پوشش سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸، ماتریس تبدیل وضعیت اول و از نقشه پوشش سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ ماتریس تبدیل وضعیت دوم محاسبه شده است. این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات و تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌ها می‌باشند؛ و در نهایت مساحت کاربری‌ها در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۴ در شهر مشهد مشخص گردید. ماتریس مساحت انتقال نشان دهنده تعداد پیکسل‌هایی که از هر کلاس به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند، می‌باشد.

جدول ۳- ماتریس مساحت انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۸ (به مترمربع)

مراتع	اراضی بایر	باغات و کشاورزی	محدوده ساخته شده	پوشش زمین
۱۱۹۸۹	۷۴۳۱۳	۱۱۰۷۵	۱۵۲۱۸۸	محدوده ساخته شده
۴۱۹۴۳	۲۵۹۶۱۵	۲۰۹۲۳۴	۳۲۵۸۵	باغات و کشاورزی
۱۱۰۷۵۵	۱۴۷۶۷۴۹	۶۳۰۴۲	۲۴۱۹۵	اراضی بایر
۴۴۸۰۹۷	۶۸۵۴۸	۷۲۵۸۹	۲۱۴۰۸	مراتع

مآخذ: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهوره ای لند ست

با توجه به خروجی‌های جدول شماره (۳) مشخص گردید که بیشترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکر شده به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۸ مربوط به مراتع، باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده، اراضی بایر می‌باشد. ماتریس احتمال انتقال که در آن احتمال تغییر هر کلاس به سایر کلاس‌های موجود مشخص شده است.

جدول ۴- ماتریس احتمال انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۸ (به مترمربع)

مراتع	اراضی بایر	باغات و کشاورزی	محدوده ساخته شده	پوشش زمین
۳۹/۰	۲۴۱/۰	۳۶/۰	۴۹۴/۰	محدوده ساخته شده
۱۳۶/۰	۸۴۳/۰	۶۸۰/۰	۱۰۶/۰	باغات و کشاورزی
۳۶۰/۰	۴۷۹۷/۰	۲۰۵/۰	۷۹/۰	اراضی بایر
۱۴۵۶/۰	۲۲۳/۰	۲۳۶/۰	۷۰/۰	مراتع

مآخذ: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهوره ای لند ست

با توجه به خروجی‌های جدول شماره (۴) مشخص گردید که بیشترین احتمال انتقال وضعیت کاربری‌ها به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۸ مربوط به اراضی بایر، مراتع، باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده است.

جدول ۵- ماتریس مساحت انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۵ (به مترمربع)

مراتع	اراضی بایر	باغات و کشاورزی	محدوده ساخته شده	پوشش زمین
۴۲۹۴۷	۸۱۹۵۰	۸۲۵۳۲	۱۹۸۲۹۵	محدوده ساخته شده
۲۳۳۱۳	۸۲۷۳۳	۱۶۱۰۱۲	۷۹۳۵	باغات و کشاورزی
۸۴۹۶۲	۱۳۸۸۰۰۳	۲۲۵۴۹۶	۳۵۸۶۲	اراضی بایر
۴۶۵۹۵۰	۸۰۸۰۷	۹۶۴۴۶	۱۳۰۸۲	مراتع

مآخذ: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهوره ای لند ست

با توجه به خروجی‌های جدول شماره (۵) مشخص گردید که بیشترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکر شده به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۵ مربوط به اراضی بایر، مراتع، محدوده ساخته شده، باغات و اراضی کشاورزی می‌باشد.

جدول ۶- ماتریس احتمال انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۵ (به مترمربع)

پوشش زمین	محدوده ساخته شده	باغات و کشاورزی	اراضی بایر	مراتع
محدوده ساخته شده	۶۴۴/۰	۲۶۸/۰	۲۸۹/۰	۱۴۰/۰
باغات و کشاورزی	۲۶/۰	۵۲۳/۰	۲۶۹/۰	۷۶/۰
اراضی بایر	۱۱۶/۰	۷۳۳/۰	۴۵۰۹/۰	۲۶۷/۰
مراتع	۴۲/۰	۳۱۳/۰	۲۶۳/۰	۱۵۱۴/۰

مآخذ: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهوره ای لند ست

با توجه به خروجی‌های جدول شماره (۶) مشخص گردید که بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۵ مربوط به اراضی بایر، مراتع، محدوده‌های ساخته شده، باغات و اراضی کشاورزی می‌باشد.

جدول ۷- مساحت کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۵ (به مترمربع)

پوشش زمین	۱۳۷۹	۱۳۸۸	۱۳۹۵
محدوده ساخته شده	۱۹۴۵۴۴۹۰۰	۲۲۴۶۰۸۵۰۰	۳۵۹۹۷۳۹۰۰
باغات و کشاورزی	۳۰۵۱۴۲۳۰۰	۴۸۹۰۳۹۳۰۰	۲۲۹۶۱۴۳۰۰
اراضی بایر	۱۷۱۲۹۱۶۹۰۰	۱۵۰۷۲۶۶۹۰۰	۱۶۰۰۴۸۳۵۰۰
مراتع	۵۵۷۸۸۸۴۰۰	۵۴۹۵۷۷۸۰۰	۵۸۰۴۲۰۸۰۰

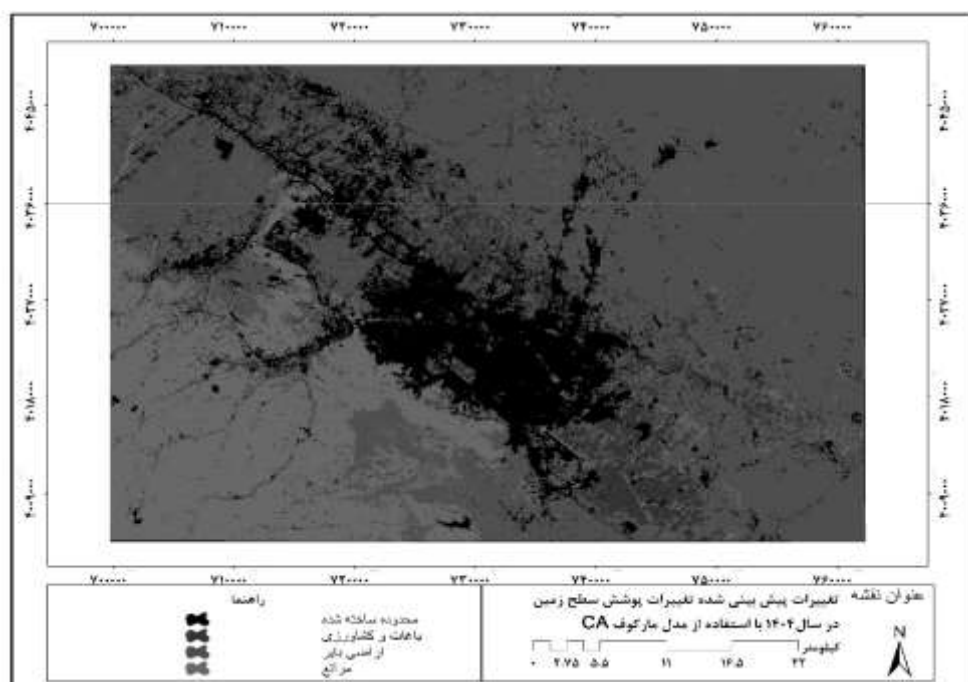
مآخذ: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهوره ای لند ست

با توجه به خروجی‌های جدول شماره (۷) مشخص گردید که مساحت باغات و زمین‌های کشاورزی در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ افزایش داشته اما در سال ۱۳۹۵ کاهش چشمگیری داشته است. مساحت محدوده‌های ساخته شده در طی سال‌های ذکر شده افزایش یافته، و در سال ۱۳۹۵ با (۳۵۹۹۷۳۹۰۰ مترمربع) به شدت افزایش یافته است. اراضی بایر در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ کاهش یافته است؛ اما در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است. مساحت مراتع در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ کاهش یافته است؛ اما در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۸ و ۱۳۷۹ افزایش چشمگیری داشته است.

مدلسازی کلاس‌های کاربری در سال ۱۴۰۴

برای ارزیابی تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه که شامل کاربری‌های باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده، اراضی بایر و مراتع می‌باشد، از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد. در مدل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است و (ماتریس مساحت انتقال که نشان دهنده تعداد پیکسل‌هایی که از هر کلاس به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند) یا همان مقدار وسعتی که از هر کاربری به کاربری دیگر در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۵ مشخص گردید که از خروجی جداول ذکر شده، براساس مدل CA مارکوف، پیش‌بینی مساحت چهار طبقه پوشش زمین در کاربری‌های ذکر شده در افق ۱۴۰۴ مشخص گردید.

شکل شماره (۷) پیش‌بینی وضعیت چهار طبقه پوشش زمین شامل زمین‌های ساخته شده، باغات و زمین‌های کشاورزی، زمین‌های بایر و مراتع شهر مشهد در افق ۱۴۰۴ را نشان می‌دهد. جدول شماره (۸) وسعت کاربری‌ها در سال ۱۳۹۵ و پیش‌بینی تغییرات این کاربری‌ها را در سال ۱۴۰۴ و درصد این تغییرات را نشان می‌دهد.



شکل ۸- نقشه پیش‌بینی وضعیت پوشش زمین در افق ۱۴۰۴

مآخذ: تصویر ماهواره ای لند ست

جدول ۸- وسعت پوشش زمین در سال ۱۳۹۵-۱۴۰۴ (مترمربع)

پوشش زمین	۱۳۹۵	۱۴۰۴	افزایش تغییرات در افق ۱۴۰۴ (به درصد)
محدوده ساخته شده	۳۵۹۹۷۳۹۰۰	۴۳۷۶۴۴۸۰۰	۱۲۱/۵۷
باغات و کشاورزی	۲۲۹۶۱۴۳۰۰	۲۰۸۳۵۹۹۰۰	۹۰/۷۴
اراضی بایر	۱۶۰۰۴۸۳۵۰۰	۱۵۳۹۸۳۷۰۰۰	۲۶/۲۱
مراتع	۵۸۰۴۲۰۸۰۰	۵۸۴۶۵۰۸۰۰	۱۰۰

مأخذ: یافته‌های نگارندگان از تصویر ماهواره ای لند ست ۸

۵- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر تغییرات پوشش زمین در کاربری‌های باغات و زمین‌های کشاورزی و محدوده‌های ساخته شده، زمین‌های بایر و مراتع با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی سال‌های، ۱۳۷۹- ۱۳۹۵ و الگوریتم حداکثر مشابهت، روش نظارت شده و مدل زنجیره مارکوف استفاده شد. در مدل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است و (ماتریس مساحت انتقال که نشان دهنده تعداد پیکسل‌هایی که از هر کلاس به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند) یا همان مقدار وسعتی که از هر کاربری به کاربری دیگر در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۵ تغییر یافته است. در مقایسه مطالعات مشابه صورت گرفته می‌توان به پیش‌بینی تغییرات ۲۲ ساله خط ساحلی مازندران اشاره کرد که توسط غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۱) انجام شد. نتایج تغییرات چشمگیری را در این محدوده نشان داد، نتایج مدل‌سازی که برای سال ۱۳۹۵ صورت گرفت، بیانگر کاهش مساحت کاربری جنگل و اراضی باز و افزایش کاربری کشاورزی و مسکونی در این سال نسبت به سال ۱۳۹۰ بود. همچنین مطالعه پرور و شایسته (۱۳۹۶) در تحقیقی با عنوان پیش‌بینی روند تغییرات و توسعه شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرجنورد) به‌منظور تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات، دو به دو نقشه‌های پوشش سرزمین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸، ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ و ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ بررسی شد. افزایش و کاهش، تغییر خالص، مناطق بدون تغییر و انتقال بین دو نقشه کاربری بررسی و ارزیابی شدند. بر این اساس با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ با روش زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد و نقشه پیش‌بینی شده با نقشه واقعی این سال مقایسه شد. در مطالعه حاضر براساس مدل CA مارکوف، پیش‌بینی مساحت چهار طبقه پوشش زمین در کاربری‌های ذکر شده در افق ۱۴۰۴ مشخص گردید در این راستا مشخص گردید که در طی سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۸۸، ۱۳۷۹ مساحت کاربری‌های محدوده‌های ساخته شده به

شدت افزایش یافته و همچنین مراتع نیز افزایش نسبی داشته است و مساحت کاربری‌های باغات و زمین‌های کشاورزی کاهش شدیدی داشته است و از مساحت اراضی بایر نیز کاسته شده است و مساحت کاربری‌ها در افق ۱۴۰۴ به نسبت سال ۱۳۹۵ نیز به همین گونه می‌باشد به طوری که باغات و زمین‌های کشاورزی (۹۰,۷۴٪)، محدوده‌های ساخته شده (۱۲۱,۵۷٪)، اراضی بایر (۲۶,۲۱٪) و مراتع (۱۰۰٪) تغییر خواهد کرد. در واقع مشخص گردید که بیشترین مساحت انتقال در کاربری‌های مختلف به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۸ مربوط به مراتع، باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده، اراضی بایر می‌باشد و بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۸ مربوط به اراضی بایر، مراتع، باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته شده می‌باشد و بیشترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکر شده به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۵ مربوط به اراضی بایر، مراتع، محدوده ساخته شده، باغات و اراضی کشاورزی می‌باشد و بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها به ترتیب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۵ مربوط به اراضی بایر، مراتع، محدوده‌های ساخته شده، باغات و اراضی کشاورزی می‌باشد و مشخص گردید که مساحت باغات و زمین‌های کشاورزی در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ افزایش داشته اما در سال ۱۳۹۴ کاهش چشمگیری داشته است. مساحت محدوده‌های ساخته شده در طی سال‌های ذکر شده افزایش یافته، و در سال ۱۳۹۵ با (۳۵۹۹۷۳۹۰۰ مترمربع) به شدت افزایش یافته است. اراضی بایر در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ کاهش یافته است اما در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است. مساحت مراتع در سال ۱۳۸۸ به نسبت سال ۱۳۷۹ کاهش یافته است اما در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۸ و ۱۳۷۹ افزایش چشمگیری داشته است. با توجه به خروجی نقشه‌ها در سه بازه زمانی سال‌های ۹۵، ۸۸، ۷۹ بیشترین تغییر مربوط به محدوده‌های ساخته شده است، به طوری که در این دوره ساخت و سازها و رشد فیزیکی شهر در جهت شمال غرب بوده است و از طرفی به دلیل اینکه به طور معمول ساخت و سازها بر روی باغات و اراضی کشاورزی انجام می‌شود، در این سمت شهر شاهد کاهش باغات و اراضی کشاورزی و به دنبال آن افزایش محدوده‌های ساخته شده هستیم. با توجه به نقشه سال ۹۵ باغات و اراضی کشاورزی در سمت جنوب شرق همچنان باقی است و یکی از دلایل آن می‌تواند عدم توسعه شهر در این جهت باشد. با توجه به پیش‌بینی انجام شده در مقاله حاضر، در صورت عدم برنامه‌ریزی و سیاستگذاری صحیح و مناسب بر ای شهر مشهد، همچنین با توجه به گسترش و توسعه شهر به سمت شمال غرب و در جهت باغات و اراضی کشاورزی، در آینده‌ای نه چندان دور، شاهد نابودی باغات و اراضی کشاورزی شمال غرب مشهد و تبدیل آنها به مناطق مسکونی شهری خواهیم بود؛ بنابراین نتایج مقاله حاضر می‌تواند به‌عنوان هشدار و تلنگری برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری باشد تا با برنامه‌ریزی مناسب مانند سیاست‌های عمودی سازی و به‌عبارت‌دیگر گسترش در ارتفاع و نه در سطح، از گسترش بی‌رویه شهر به سمت باغات و اراضی کشاورزی جلوگیری نمایند.

کتابنامه

- اطهاری، کمال؛ ۱۳۷۹. به سوی کارآمدی دخالت دولت در بازار زمین شهری. فصلنامه اقتصاد مسکن. شماره ۱۸. سازمان ملی زمین و مسکن شماره ۳۰. صص ۲۴۵-۲۳۷.
- رمضانی، نفیسه، جعفری، رضا؛ ۱۳۹۳. آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۴. صص ۹۶-۸۳.
- رهنما، محمدرحیم، عباس زاده، غلامرضا؛ ۱۳۸۷. اصول مبانی و مدل‌های سنجش فرم کالبدی شهر. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- علوی پناه، کاظم؛ ۱۳۸۴. کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران.
- علوی پناه، کاظم؛ متین فر، ح. ر؛ ۱۳۸۳. ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای از نظر صرفه جویی وقت. کنفرانس ملی بهره‌وری. فرهنگستان علوم ایران. ص ۴۷۸.
- علیزاده ربیعی، حسن؛ ۱۳۹۲. سنجش‌ازدور (اصول و کاربرد). انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت). صفحه ۲۱۸.
- فیضی زاده، بختیار؛ حاجی میری، محمود؛ ۱۳۸۷. آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه). همایش ژئوماتیک ۸۷. تهران: سازمان نقشه برداری کشور.
- ماجدی، حمید؛ ۱۳۷۸. زمین مساله اصلی توسعه شهری. مجله آبادی. شماره ۳۳. مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- محمد اسماعیل، زهرا؛ ۱۳۸۹. پایش تغییرات کاربری اراضی کرج با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). شماره ۱. صص ۸۸-۸۱.
- مرکز آمار ایران. سال‌های؛ ۱۳۳۵-۱۳۹۰.
- مهندسین مشاور بافت شهر؛ ۱۳۸۱. گزارش طرح راهبردی و گردشگری منطقه طبقه و شان‌دیز- مشهد.
- مهندسین مشاور فرهاد؛ ۱۳۸۹. طرح راهبردی توسعه و عمران شهر شان‌دیز. وزارت مسکن و شهر سازی خراسان رضوی.
- واحدیان بیکی، لیلا، پوراحمد، احمد، سیف الدینی، فرانک؛ ۱۳۹۰. فصلنامه علمی- پژوهشی نگرشی نو در جغرافیای انسانی- سال چهارم. شماره ۱. صص ۴۶-۳۰.

Acevedo, W., Forestman, T. W., Buchanan, J. T., 1996. Origins and philosophy of building a temporal database to examine human transformation processes. Proceedings, ASPRS/ ACSM Annual Convention and Exhibition, Baltimore., 24:148-161.

Ewing, R., 1997. Is Los Angeles-style sprawl desirable?. J. Am. Plan. Assoc. 63:107-27.

Fan, Fenglei, Wang, Yunpeng, and Wang, Zhishi., 2008, Temporal and spatial change, detecting (1998-2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl pp: 127-147.

- Goward, S. N., G. D. Cruickshanks, and A. S. Hope., 1985. Observed relation between thermal emission and reflected spectral radiance of a complex vegetated landscape, *Remote Sensing of Environment*, 18: 137-146.
- Guan, DongJie, Li, HaiFeng, Inohae, Takuro, Su Weici, Nagaie, Tadashi, and Hokao, Kazunori., 2011, Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, *Ecological Modelling*, 222 (20–22), 3761-3772.
- Gupta, R. P., 2003, *Remote Sensing Geology*. Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, p: 655.
- Kamusoko, Courage, Aniya, Masamu, Adi, Bongo and Manjoro, Munyaradzi, 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.
- Knorn, J. A. Rabe, C.V. Radeloff, T. Kuemmerle, J. Kozak and Hostert, P., 2009. Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. *Remote Sens, Environ.* 113: 957– 964.
- Mas, Jean-François, Melanie, Kolb, Martin, Paegelow, María Teresa, Camacho Olmedo, and Thoma, Houet., 2014, Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages, *Environmental Modelling & Software*, 51: 94-111.
- Matsushita, B. Xu, M. and Fukushima, T., 2006. Characterizing Changes in Landscape Structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan Using a High-Quality GIS Dataset, *Journal of Landscape and Urban Planning*, 78: 241-250.
- modeling as a practical tool for decision-makers, *Journal of Environmental Management*, 129: 235-243.
- Pontius, Robert. Gilmore. and Chen, Hao., 2006. Geomod Modeling, USA: Clark River Delta (China) by using TM and ETM+ images, *Environmental Monitoring and Assessment*, 137: 127-147.
- Sohl, Terry L. and Claggett, Peter R., 2013. Clarity versus complexity: Land-use
- Torrens, P.M., Sullivan, D. O. 2000. Cellular Automata and Urban Simulation: Where do we go from here, *Environment and Planning*, 28: 163-168.
- Tso. B. and P.M. Mather., 2009. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. Chapter 2-3. 2nd ed., Taylor and Francis Pub., America
- Upadhyay, Thakur, Solberg, Birger, and Sankhayan, Prem Lall., 2006, Use of models to analyse land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis, *Forest Policy and Economics*, 9: 349-371.
- Wang, Shi Qing, Zheng, Xizinqi, and Zang, X. B., 2012. Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model, *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1238-1245.
- Wassmer, R.W., 2002. Influences of the fiscalization of land Use and urban-Growth Boundaries, www.csus.edu/indiv/w/wassmerr/sprawl.html.
- Whitford, Walter G., Translated by, Azarnivand, Hossein, and Malekian, Arash. 2008. *Ecology of desert systems*, Tehran: University of Tehran. P. 340.
- Yuan, F., K.E. Sawaya, B.C. Loeffelholz & M.E. Bauer., 2005. "Land cover classification and change analysis of the twin Cities (Minnesota).
- Zhang, Zh., V. Lieven, C. Eva De, X. Ou and De.W. Robert., 2008. Vegetation change detection using artificial neural networks with ancillary data in Xishuangbanna, Yunnan Province, China. *Chin. Sci. Bull.* 52: 232-243.