

پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از سنجش از دور و تصاویر چندزمانه لندست (مطالعه موردی: شهر مشهد)

بهزاد رایگانی^{۱*}، علی جهانی^۱، امیر ستاری راد^۲، نرگس شوقی^۳

۱. استادیار گروه محیط زیست طبیعی و تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست،

کرج، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران

۳. کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰)

چکیده

با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص کرد و خط‌مشی‌های آینده را به مسیر مناسبی سوق داد. هدف این مطالعه، مدل‌سازی روند تغییرات کاربری زمین شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ می‌باشد. در ابتدا براساس روش هیبرید (ترکیب طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده)، کاربری‌های سرزمین در ۶ کلاس طبقه‌بندی شد. سپس با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس انتقال میان سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۸ محاسبه و با به کارگیری آن در مدل مارکوف- شبکه خودکار، نقشه کاربری سال ۲۰۱۴ پیش‌بینی شد. در ادامه، نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۱۴ با نقشه کاربری واقعی ۲۰۱۴ به کمک جدول متعامد مقایسه و ضریب کاپای کل برای آن ۰/۹۱ بدست آمد. بر همین اساس صحت پیش‌بینی مدل مارکوف- شبکه خودکار تأیید گردید. در نهایت، برای پیش‌بینی کاربری زمین در سال ۲۰۳۰ این مدل بکار گرفته شد. بنابراین با وارد کردن نقشه مرجع ۲۰۱۴ به عنوان نقشه پایه، نقشه پیش‌بینی کاربری سال ۲۰۳۰ استخراج شد. نتایج نشان داد طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۳۰، شاهد روندی افزایشی در کاربری شهری و زمین‌های بایر و روندی کاهشی در کاربری کشاورزی و باغ‌ها خواهیم بود. نتایج نشان می‌دهد مدل مارکوف- شبکه خودکار به طراحی سیستم شهری پایدار کمک می‌کند.

واژگان کلیدی

طبقه‌بندی هیبرید، ماتریس انتقال، جدول متعامد، مدل مارکوف- شبکه خودکار، سیستم شهری پایدار.

* نویسنده مسئول، رایانامه: bhz.ray@gmail.com

مقدمه

کاربری زمین، بیشتر بر جنبه اجتماعی استفاده از زمین تأکید دارد. به عبارتی، کاربری زمین مجموعه فعالیت‌هایی است که انسان برحسب نیازهای اقتصادی و اجتماعی انجام می‌دهد. به این ترتیب، کاربری زمین فرایند تبدیل اکوسیستم طبیعی به اکوسیستم اجتماعی است که این روند بر مبنای فرایند کارکرد طبیعت، اقتصاد و جامعه است. از آنجا که تغییرات در کاربری زمین، تغییرات تقریباً برگشت‌ناپذیری تلقی می‌شود (Mertens and Lambin, 2000)، بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین برای آگاهی یافتن از تغییرات محیط در سطح محلی و جهانی بسیار اهمیت دارد (Tiwari, Jain, 2014).

اصولاً تغییر در فضا، زمان یا ویژگی رخ می‌دهد (Wang, 2013) و این تغییرات ممکن است ناشی از تغییرات پوشش زمین در کوتاه مدت مانند برف یا سیلاب، تغییرات کاربری همچون توسعه شهری یا تبدیل زمین کشاورزی به کاربری‌های مسکونی و صنعتی باشد (Srivastava, et al., 2012). یکی از ابزارهای مناسب در زمینه مطالعات محیط و زمین‌شناسی، فناوری سنجش از دور و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای است (علوی پناه، ۱۳۸۲)؛ به طوری که ماهواره‌های سنجش از دور، رایج‌ترین منبع داده برای تشخیص، کمی‌سازی و نقشه‌سازی الگوهای تغییرات کاربری زمین است (غلام علی و همکاران، ۱۳۹۱) و با استفاده از سامانه‌های سنجش از دور می‌توان این تغییرات را اندازه‌گیری کرد (Lusch, 1999).

در این میان، مدل‌سازی نقش مهمی در شناخت اثرات این تغییرات ایفا می‌کند و به برنامه‌ریزی مؤثر در محیط‌زیست، توسعه و تصمیم‌گیری‌ها کمک شایانی می‌کند (Borana, Yadav, 2017). به عبارتی، مدل‌ها ابزاری برای شناسایی تغییرات کاربری و اثرهای آن‌ها هستند و در کشف ارتباط کاربری زمین و عوامل مؤثر بر آن بسیار کارآمدند (Moghadam and Helbich, 2013). در عین حال، از آنجا که عوامل مؤثر در تغییر کاربری زمین پیچیده است و احتمالاً عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی در این فرایند با شدت و مقیاس‌هایی رخ داده باشد، شبیه‌سازی آن مشکل است (Verburg, et al., 2002). به همین دلیل، محققان مدل‌های مختلفی را اصلاح و توسعه داده‌اند تا پیچیدگی و پویایی زمین را شبیه‌سازی کنند (Singh, 2003).

مدل‌های پیش‌بینی کاربری زمین برای برنامه‌ریزی و استفاده پایدار از زمین، نیازی ضروری است (Epstein, 2002). زنجیره مارکوف، ابزار مناسبی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در جایی است که توصیف تغییرات و فرایندهای تحول سیمای سرزمین مشکل باشد. تجزیه و تحلیل زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری زمین از دوره‌ای به دوره دیگر را توصیف کرده و از آن به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند (Eastman, 2012). بنابراین آگاهی از رشد و توسعه در گذشته، حال و آینده نقش مهمی در روند تصمیم‌گیری‌ها دارد. هدف از این مطالعه، پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین برای سال ۲۰۳۰ شهر مشهد برای دستیابی به امکان برنامه‌ریزی شهری براساس روند تغییرات کاربری است.

پیشینه تحقیق

ریمال و همکارانش (۲۰۱۸) به مدل‌سازی روند توسعه شهر در منطقه کاتماندو^۱ در کشور نپال با استفاده از تلفیق مدل شبکه خودکار و زنجیره مارکوف پرداختند. در این مطالعه از تصاویر لندست استفاده شد که به منظور تجزیه و تحلیل بهتر، اطلاعات تغییرات کاربری و پوشش زمین به هفت دوره زمانی (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۲، ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶، ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴، ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸، ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶) طبقه‌بندی شد. در این مطالعه طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان^۲ (SVM) انجام شد و با بهره‌گیری از مدل شبیه‌سازی هیبریدی که از تلفیق مدل شبکه خودکار و زنجیره مارکوف به دست آمده است، به پیش‌بینی گسترش و توسعه کاربری شهر در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۳۲ پرداخته شد. نتایج نشان‌دهنده گسترش بی‌رویه شهر به خصوص از تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به کاربری شهری است که میانگین رشد سالانه آن‌ها ۹/۱۵ درصد است.

تراور و همکارانش (۲۰۱۸) 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^۳ پرداختند. در این مطالعه از داده‌های لندست سال‌های

1. Kathmandu
2. Support vector machines
3. Guinea

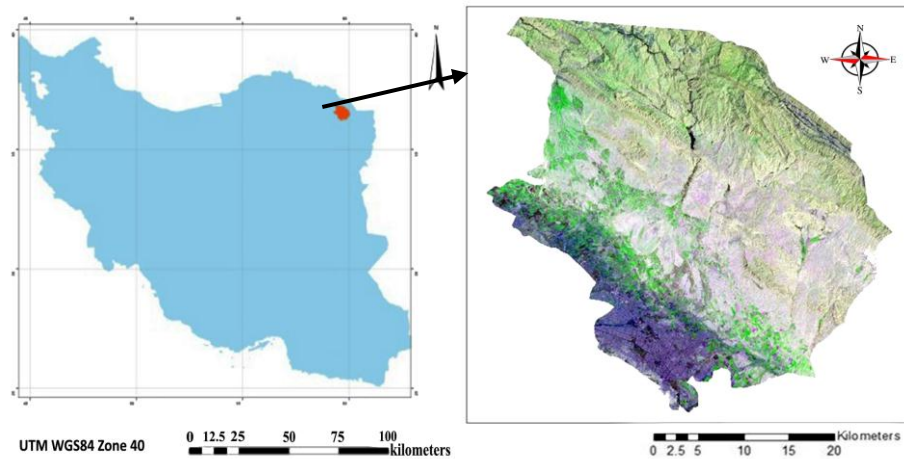
۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ استفاده شد. با استفاده از نقشه‌های تغییر کاربری سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۰، نقشه تغییر کاربری سال ۲۰۱۶ براساس مدل مارکوف- شبکه خودکار شبیه‌سازی شد. به‌منظور اعتبارسنجی، نتیجه شبیه‌سازی با نقشه پوشش زمین و تغییر کاربری سال ۲۰۱۶، از مشخصه عامل نسبی^۱ (ROC) استفاده شد که توافق فراوانی را میان دو نقشه نشان می‌دهد. بر همین اساس، نقشه تغییرات کاربری و پوشش زمین برای سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی شد. نتایج، افزایش کاربری شهری از ۴۹ به ۵۲ درصد و کاهش پوشش گیاهی از ۳۵ به ۳۲ درصد را نشان می‌داد. بر اساس نتیجه‌گیری این پژوهشگران، این مطالعه، مبنایی را برای ارزیابی پایداری و مدیریت منطقه شهری فراهم می‌کند. جعفرزاده و همکارانش (۱۳۹۷) با هدف رسیدن به توسعه پایدار شهری در قائم‌شهر به مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه‌ریزی فضایی پرداختند. در این مطالعه از تصاویر گوگل ارث، ماهواره Astrium و DigitalGlobe مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. مدل‌سازی نیروی انتقال با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی همراه با ۱۱ متغیر و تخصیص تغییر به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف انجام گرفت. سپس با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره واسنجی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴، مدل‌سازی برای سال ۱۴۰۲ صورت گرفت. نتایج این مدل‌سازی، نشان‌دهنده افزایش بسیار زیاد در کاربری مسکونی (۱۹۵ هکتار) و باغ (۱۰۴ هکتار) و کاهش چشمگیر ۳۳ هکتاری کاربری کشاورزی بود.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان مشهد با جمعیت حدود ۲۸۰۷۴۶۴ نفر با متوسط رشد سالانه از سال ۷۵ تا ۸۵، ۲/۵ درصد است که در استان خراسان رضوی با گستره جغرافیایی ۵۹°۲' تا ۶۰°۳۸' طول شرقی و ۳۵°۴۳' تا ۳۷°۷' عرض شمالی (جاودانی ایرانی نژاد، ۱۳۹۳) و در حوضه آبریز کشف‌رود، بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع شده است. ارتفاع شهر از سطح دریا حدود ۱۰۵۰ متر (حداکثر ۱۱۵۰ متر و حداقل ۹۵۰ متر) است.

1. Relative Operating Characteristic



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش‌ها

تصاویر ماهواره‌های لندست از قدرت تفکیک مکانی مناسب و بایگانی طولانی مدتی از تصاویر برخوردار است و در نتیجه، توانایی بالقوه‌ای در شناسایی تغییرات کاربری زمین و مدل‌سازی دارد. همچنین مدل زنجیره‌ای مارکوف- شبکه خودکار در ترکیب با تصاویر سنجش از دور، برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین به‌طور گسترده در محیط‌های شهری، غیرشهری و مقیاس‌های بزرگ در مناطق مختلف دنیا به‌خوبی عمل می‌کند (رمضانی و جعفری، ۱۳۹۳؛ Wu, 2006). در این مطالعه از روش‌های مرسوم در تحقیقات مشابه (Abdollahi et al., 2017; Barati et al., 2017) استفاده شده است. در مجموع، ۱۴ تصویر از ماهواره لندست با سنجنده‌های TM و OLI از سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ به کار گرفته شد (جدول ۱).

جدول ۱. تصاویر استفاده‌شده ماهواره لندست به تفکیک زمان و نوع ماهواره

سال	مشخصات تصاویر		تعداد تصاویر	تاریخ تصاویر
	ماهواره	ستون و ردیف		
۱۹۸۹	Landsat TM 5	۱۵۹-۳۵	۵	NOW, OCT, SEP, JUL, MAY
۲۰۰۸	Landsat TM 5	۱۵۹-۳۵	۶	NOW, OCT, SEP, JUL, JUN, MAY, APR
۲۰۱۴	Landsat OLI	۱۵۹-۳۵	۳	OCT, SEP, AUG

برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین، با استفاده از نرم‌افزارهای ERDAS و IDRISI Selva و تصاویر ماهواره‌ای، در فرایندی سه‌مرحله‌ای شامل پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش بررسی شد. در مرحله پیش‌پردازش، به انجام تصحیحات هندسی و اتمسفری پرداخته شد؛ به گونه‌ای که پس از تهیه نقاط کنترل زمینی، تصحیح هندسی با معادله درجه ۲ بر روی تصویر سال ۲۰۱۴ در نرم‌افزار ERDAS IMAGINE انجام شد و خطای RMS مربوط به تصحیح هندسی کمتر از ۰/۵ پیکسل به دست آمد.

سپس داده‌های خام مربوط به زمان‌های دیگر از نظر جابه‌جایی پیکسلی بررسی شد، تصاویر خروجی روی هم قرار گرفت و خطای هندسی آن‌ها به کمک فرآیند ثبت تصاویر، برطرف گردید. پس از جداسازی منطقه مورد مطالعه، برای افزایش وضوح تصاویر، پردازش‌های همسان‌سازی با استفاده از الگوریتم ATCOR در نرم‌افزار ERDAS IMAGINE بر روی تصاویر اعمال شد و داده‌های بازتابندگی بدون بُعد استخراج گردید. در نتیجه، داده‌های سنجنده‌های مختلف قابلیت ارتباط‌دهی پیدا کردند و خروجی‌ها در طبقه‌بندی هیبرید (ترکیب طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده) به کار گرفته شدند.

پس از مرحله پیش‌پردازش، از روش‌های آشکارسازی برای تفکیک کاربری‌ها از یکدیگر و تفسیر تصاویر از آنالیز جزء اصلی استفاده شد که به وضوح بهتر پدیده‌ها و تفسیر راحت‌تر آن‌ها انجامید. در این مرحله، به تعیین تعداد کلاس‌های مدنظر پرداخته شد. براساس خروجی‌های بازتابندگی بدون بُعد از روش ISODATA در الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌نشده (Unsupervised) همراه با طبقه‌بندی نظارت‌شده (Supervised) (به روش هیبریدی) با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شد و با توجه به نوع تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات میدانی و سطوح کاربری زمین، منطقه مورد مطالعه از لحاظ کاربری زمین به شش کلاس شهری، باغ، کشاورزی، زمین بایر، مرتع و پهنه آبی طبقه‌بندی شد. در نهایت، نقشه‌های کاربری مربوط به سال‌های مختلف به دست آمد.

الگوریتم‌های تعیین تغییر را می‌توان به‌طور مؤثر برای تعیین تغییر در منطقه‌ای خاص با استفاده از مجموعه داده‌های زمانی استفاده کرد. بنابراین برای تعیین تغییرات ایجادشده در محدوده مورد مطالعه، نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مختلف با استفاده از روش جدول متعامد (CROSSTAP) در نرم‌افزار IDRISI Selva به‌صورت دوه‌دو مقایسه شدند و نتایج به‌صورت ماتریس به دست آمد.

در این پژوهش برای مدل‌کردن و نقشه‌سازی تغییرات سال‌های آینده، از نقشه‌های کاربری سه دوره زمانی استفاده شد. دو روش استفاده‌شده برای مدل‌سازی در این تحقیق زنجیره مارکوف و مدل شبکه خودکار است. مدل مارکوف، یکی از روش‌های ریاضی است که می‌تواند به پیش‌بینی تغییرات کاربری در آینده کمک کند (Luo, Zhang, 2014) و برای تعیین احتمال تغییر کاربری زمین بین دو دوره زمانی بسیار قدرتمند است

(Houet and Hubert-Moy, 2006). مدل شبکه‌های خودکار^۱ نوعی سیستم دینامیک گسسته و مکانی است (خوش‌گفتار و همکاران، ۱۳۸۹) و شامل سه جزء اصلی سلول‌ها، همسایگی‌های سلول و قوانین انتقال است.

سلول، عنصر اساسی مدل شبکه خودکار است. سلول‌ها در یک شبکه سازمان‌یافته‌اند. قانون انتقال که وضعیت هر سلول را برای مرحله آینده تعریف می‌کند، به وضعیت فعلی سلول و سلول‌های همسایگی اطراف آن بستگی دارد؛ به طوری که حالت هر سلول در زمان $t+1$ به وسیله حالت سلول‌های همسایگی در زمان t و مطابق قوانین تبدیل از پیش تعریف‌شده تعیین می‌شود (Sang, et al., 2011). بنابراین نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۸، با استفاده از روش زنجیره مارکوف و مدل شبکه خودکار در نرم‌افزار IDRISI کاربری سال ۲۰۱۴ پیش‌بینی گردید و نقشه خروجی آن با کاربری واقعی سال ۲۰۱۴ مقایسه شد. با اعمال جدول متعامد صحت پیش‌بینی بر حسب کاپای کل به دست آمد و با توجه به مورد تأیید بودن خروجی مدل، از نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۱۴ به منظور پیش‌بینی و شبیه‌سازی کاربری‌ها برای سال ۲۰۳۰ در ناحیه مطلوب برای توسعه استفاده شد (به روش مارکوف-شبکه خودکار).

تهیه نقشه مطلوبیت زمین (ناحیه مطلوب جهت توسعه)

برای به دست آوردن نقشه مطلوبیت از روش ارزیابی چندمعیاره MCE (Multi-Criteria Evaluation) استفاده شد. مدل ارزیابی چندمعیاره به منظور بررسی هدف توسعه شهری براساس چندین معیار طراحی شد. در تحقیق حاضر از روش ترکیب خطی وزن‌دار فازی WLC (Weighted Linear combination) به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر آن از دیگر روش‌ها استفاده شد. ابتدا فاکتورها

- و محدودیت‌های مؤثر بر توسعه شهر به صورت تجربی و براساس تغییر اصولی کاربری زمین تهیه شد. فاکتورها استاندارد شدند و سپس برای آن‌ها وزن در نظر گرفته شد. محدودیت‌هایی که مناطق را برای توسعه محدود کرد، عبارت است از:
۱. داده‌های مربوط به پهنه آب که از نقشه کاربری زمین استخراج شد.
 ۲. کاربری شهری موجود امکان توسعه ندارد.
 ۳. راه‌های ارتباطی بزرگ هیچ درجه‌ای از مطلوبیت را ندارند.
 ۴. شیب بیشتر از ۲۰ درصد برای کاربری شهری مناسب نیست.
 ۵. نقشه ارتفاع بیش از ۱۸۰۰ متر نیز با توجه به شرایط منطقه دارای درجه مطلوبیت برای توسعه نیست.

تصاویر مربوط به محدودیت، به صورت تصاویر بولین به دست آمد که مناطق مناسب برای توسعه، دارای ارزش ۱ و مناطق نامناسب دارای ارزش صفر بودند. در منطقه مطلوب بر اساس روش WLC فاکتورهای توسعه به مقیاس پیوسته مطلوبیت از صفر (حداقل مطلوبیت) تا ۱ (حداکثر مطلوبیت) به شکل فازی استانداردسازی شد. در انتها معیارها با رویکرد ترکیب خطی وزن‌دار برای ارزیابی توسعه شهری استفاده شد؛ به طوری که هدف ایجاد تصویر نهایی بود که میزان مطلوبیت را برای توسعه نشان دهد.

$$WLC = \sum X_i \times \pi C_i$$

یافته‌های تحقیق

دقت طبقه‌بندی تصاویر

صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده حاصل از داده‌های ماهواره‌ای با مقایسه نقشه با داده‌های زمینی و اطلاعات موجود توسط نقاط شاهد به دست آمد که نشان‌دهنده همخوانی کاربری‌های طبقه‌بندی شده و واقعیت زمینی است. نتایج مربوط به برآورد دقت طبقه‌بندی‌ها در جدول ذیل آمده است. دقت طبقه‌بندی‌ها به طور کلی، بیش از ۸۵ درصد بدست آمد که برای استفاده در مدل مارکوف مناسب است.

جدول ۲. نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی کاربری زمین در دوره‌های زمانی

کاربری زمین	صحت کلی طبقه‌بندی	ضریب Kappa
سال ۲۰۱۴ / سنجنده OLI	۹۳/۰۰ درصد	۰/۹۱۴۷
سال ۲۰۰۸ / سنجنده TM	۹۲/۰۰ درصد	۰/۹۰۲۴
سال ۱۹۹۸ / سنجنده TM	۹۱/۰۰ درصد	۰/۸۹۰۳

جدول ۳. مساحت کاربری‌ها طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ برحسب هکتار و درصد کاربری‌ها

کاربری	هکتار			درصد		
	۱۹۹۸	۲۰۰۸	۲۰۱۴	۱۹۹۸	۲۰۰۸	۲۰۱۴
کاربری	۱۹۹۸	۲۰۰۸	۲۰۱۴	۱۹۹۸	۲۰۰۸	۲۰۱۴
شهری	۱۸۵۷۳/۱۲	۱۹۸۴۳/۵۶	۲۰۱۱۷/۲۵	۶/۵۲	۶/۴۳	۶/۵۲
باغ	۷۳۶۲/۹۹	۴۹۴۳/۵۲	۴۹۲۷/۷۷	۱/۶	۱/۶	۱/۶
کشاورزی	۴۴۰۶۵/۸۹	۱۹۰۷۱/۹	۲۴۷۴۴/۰۶	۸/۰۲	۶/۴	۱۴/۳
بایر	۶۸/۱۰۰۰۱۲	۱۸۵۷۳/۱۲	۱۲۱۱۸۲/۲۱	۳۹/۳	۳۹/۱	۳۲/۴۳
مرتع	۱۳۸۱۹۳/۰۲	۱۴۳۳۶۸/۶۵	۱۳۷۴۱۵/۲۴	۴۴/۵۴	۴۶/۴۴	۴۴/۸۲
پهنه آبی	۱۲۰/۸۷	۱۱۶/۲۸	۶۷/۴۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴

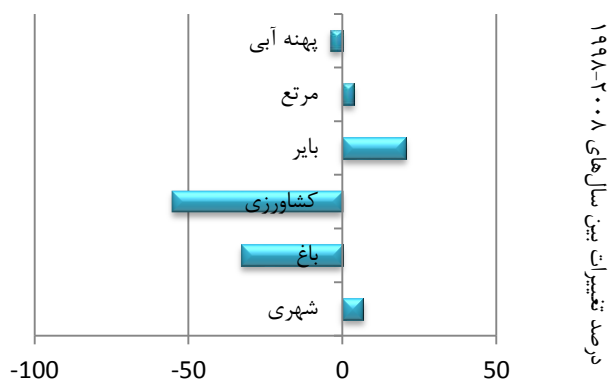
نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری‌ها

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ برای تهیه نقشه کاربری زمین استفاده شد. منطقه مطالعاتی به ۶ کاربری، زمین‌های شهری، باغ‌ها، کشاورزی، زمین‌های بایر، مرتع و پهنه آبی طبقه‌بندی شد. نتایج مربوط به مساحت هر کاربری در ۳ سال مورد مطالعه در جدول ۳ قابل مشاهده است.

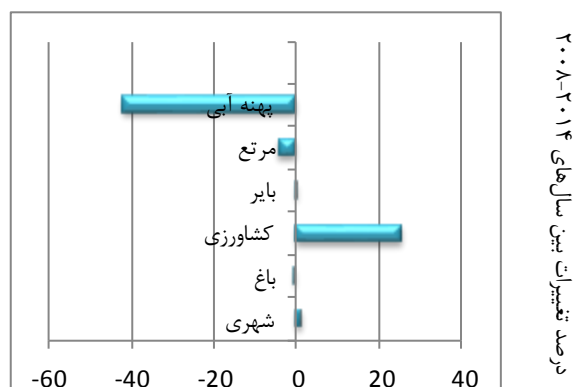
براساس نتایج شکل ۲، درصد تغییرات کاربری‌ها از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ نشان‌دهنده کاهش کاربری کشاورزی، باغ و پهنه آبی و افزایش کاربری شهری، بایر و مرتع است. بیشترین افزایش سطح به ترتیب به طبقه بایر با ۲۰ درصد، شهری با ۶/۸۴ درصد و مرتع با ۳/۷۴ درصد افزایش مربوط است. از طرف دیگر، بالاترین تغییرات کاهش به ترتیب به طبقات کشاورزی با ۵۵/۲۹ درصد، باغ با ۳۲/۸۶ درصد و پهنه آبی با ۳/۷۹ درصد کاهش مربوط می‌شود.

همچنین از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴، بیشترین نرخ افزایش مربوط به کاربری کشاورزی با ۲۵/۵۹ درصد بوده است. سپس کاربری شهری با ۱/۳۸ درصد و بایر با ۰/۴ درصد افزایش پیدا کرده

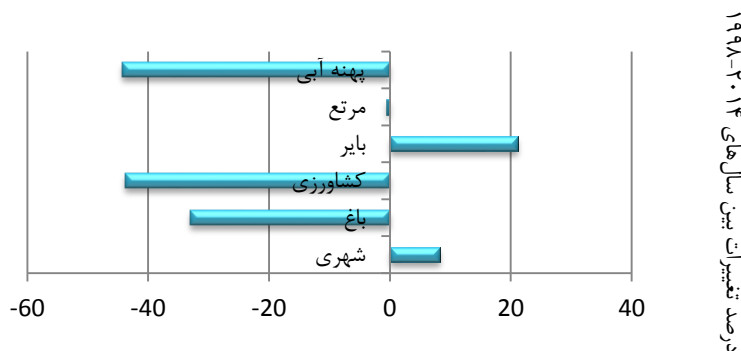
است؛ در حالی که پهنه آبی با ۴۲/۰۲ درصد، مرتع با ۴/۱۵ درصد و باغ با تغییر محسوس ۰/۳۸ درصدی، به ترتیب نرخ کاهشی داشته‌اند (شکل ۳). در نهایت، از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۱۴، کاربری‌های بایر با ۲۱/۱۶ درصد، بیشترین افزایش را داشته و کاربری شهری با ۸/۳۱ درصد افزایش در جایگاه بعد از آن قرار دارد. در این دوره همانند دوره قبلی، پهنه آبی با ۴۴/۲۲ درصد، بیشترین نرخ کاهشی را داشته است و کشاورزی با ۴۳/۸۴ درصد، باغ با ۳۳/۰۷ درصد و مرتع با ۰/۵۶ درصد روند کاهشی را داشته‌اند (شکل ۴).



شکل ۲. نمودار درصد تغییرات کاربری‌های شهر مشهد از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸



شکل ۳. نمودار درصد تغییرات کاربری‌های شهر مشهد از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴



شکل ۴. نمودار درصد تغییرات کاربری‌های شهر مشهد از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴

تحلیل زنجیره‌های مارکوف

ماتریس مساحت انتقال

ماتریس مساحت انتقال، میزان تغییر در تعداد پیکسل‌ها را از یک طبقه کاربری زمین به طبقه دیگر در دوره مشخص نشان می‌دهد. در ابتدا ماتریس مساحت انتقال میان سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده محاسبه شد (جدول ۴). سپس ماتریس مساحت انتقال با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده سال ۱۹۹۸ و ۲۰۱۴ محاسبه شد (جدول ۵) و همراه با نقشه مطلوبیت کاربری‌ها به عنوان ورودی در مدل شبکه خودکار زنجیره مارکوف با رویکرد حفظ شرایط اکولوژیکی اجرا شد. در جدول ماتریس مساحت انتقال، ردیف‌ها نشان‌دهنده طبقات کاربری زمین قدیمی‌تر و ستون‌ها نشان‌دهنده طبقات جدیدتر است.

جدول ۴. ماتریس مساحت انتقال کاربری‌های شهر مشهد سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف

پهنه آبی	مرتع	بایر	کشاورزی	باغ	شهری	
۰	۰	۱۷۷۷۳	۴۶۱	۶۶۹۲	۱۹۵۵۰۸	شهری
۰	۴۷۳۸	۹۷۴۱	۲۳۲۵	۳۳۱۷۱	۴۹۱۹	باغ
۰	۰	۱۲۸۷۲۸	۸۷۰۲۳	۰	۳۱۲۴	کشاورزی
۱	۶۲۹۷۲	۱۱۷۷۱۲۵	۷۳۸۴۲	۴۴۲۵	۲۲۴۷۵	بایر
۲۲	۱۵۶۳۹۰۲	۲۳۲۰۵	۰	۲۰۳۶	۰	مرتع
۱۲۴۰	۳۱	۲۱	۰	۰	۰	پهنه آبی

جدول ۵. ماتریس مساحت انتقال کاربری‌های شهر مشهد سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف

شهری	باغ	کشاورزی	بایر	مرتع	پهنه آبی
شهری	۱۸۳۳۶۹	۶۴۸۴	۴۶۳۳	۲۸۱۱۱	۲۲۲
باغ	۷۶۹۰	۲۲۸۳۹	۴۰۳۷	۱۴۶۸۳	۵۵۰۱
کشاورزی	۵۳۳۴	۲۴۵	۹۵۵۸۵	۱۷۲۹۹۶	۷۶۶
بایر	۴۰۰۶۷	۵۰۲۷	۱۱۴۴۱۸	۱۱۲۷۵۹۲	۵۹۳۳۴
مرتع	۳۶۵	۹۹۹۸	۵۴	۵۹۲۷۷	۱۴۵۴۵۱۷
پهنه آبی	۰	۰	۰	۱۴۹	۱۸۷
					۴۱۲

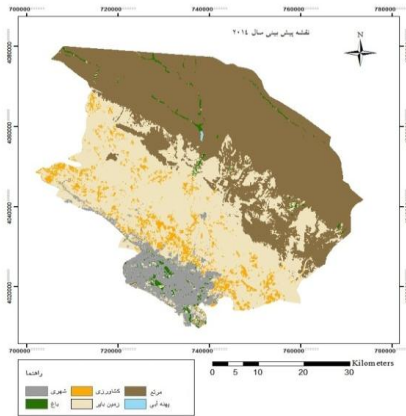
نقشه مطلوبیت زمین

برای شناسایی زمین‌های مناسب توسعه با رویکرد زیست‌محیطی در شهر مشهد با استناد به تحقیقات انجام گرفته از متغیرهای درصد شیب، ارتفاع، کاربری زمین، فاصله از مراکز شهری و فاصله از راه‌های اصلی استفاده شده است (پورخباز و همکاران، ۱۳۹۴؛ قربانی و همکاران، ۱۳۹۲). نقشه‌های محدودیت و نقشه‌های معیار با اعمال وزن‌های متناظر به‌عنوان وزن‌های معیار تلفیق شدند. سه معیار انتخاب شده، با نظر کارشناسی، وزن‌های زیر را دریافت نمودند:

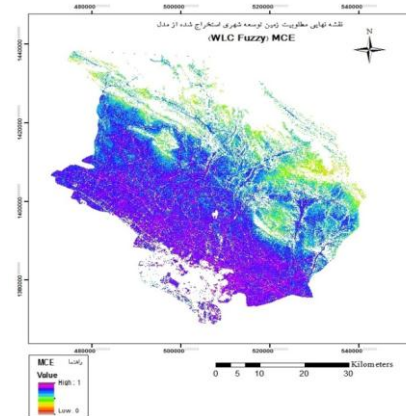
۱. نقشه COST ارزش جاده‌ها نسبت به مرکز شهر به‌عنوان معیار بارزش‌تر وزن ۰/۵ در نظر گرفته شد.
۲. نقشه شیب فازی شده به‌عنوان معیار دوم با وزن ۰/۳۴ در نظر گرفته شد.
۳. نقشه رقومی ارتفاعی فازی شده منطقه با وزن ۰/۱۶ در نظر گرفته شد.

مدل نهایی به روش ترکیب خطی وزن‌دار^۱ در محیط نرم‌افزار IDRISI اجرا شد (شکل ۲). سپس با به‌کارگیری نقشه کاربری سال ۲۰۰۸ به‌عنوان نقشه پایه، معرفی فایل مساحت انتقال و نقشه مطلوبیت زمین و با استفاده از ماژول مدل مارکوف- شبکه خودکار، نقشه کاربری سال ۲۰۱۴ پیش‌بینی شد (شکل ۳). برای اعتبارسنجی صحت مدل، نقشه واقعی و نقشه پیش‌بینی شده از نظر تعداد و موقعیت مکانی پیکسل‌ها مقایسه و شاخص کاپا در فاصله صفر تا یک برای تفسیر نتایج استفاده شد. بدین منظور از دستور Validate در محیط نرم‌افزار ادریسی برای مقایسه نقشه‌های واقعی و مدل‌سازی شده برای سال‌های ۲۰۱۴ استفاده شد و نتایج به‌صورت توافق و عدم توافق نقشه واقعی و پیش‌بینی شده در جدول ۶ به نمایش درآمد.

1. weighted linear combination (WLC)



شکل ۶. نقشه حاصل از پیش‌بینی سال ۲۰۱۴ با استفاده از روش مارکوف- شبکه خودکار



شکل ۵. نقشه نهایی درجه‌بندی مطلوبیت زمین مناسب برای توسعه شهر مشهد براساس مدل MCE (WLC Fuzzy MCE)

جدول ۶. توافق و عدم توافق نقشه واقعی و پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۱۴

Multiples of Base Resolution:		1x	۱	Information of Quantity	
Information of Location		Np[n]	Medium[m]	Perfect[p]	
Perfect[p(x)]		۰.۵۸۷۹	۰.۹۵۹۶	۱.۰۰۰	
Perfect Stratum[k(x)]		۰.۵۸۷۹	۰.۹۵۹۶	۱.۰۰۰	
Medium Grid[M(x)]		۰.۵۰۷۱	۰.۸۵۹۴	۰.۸۵۶۷	
Medium Stratum [H(x)]		۰.۱۶۶۷	۰.۳۲۵۶	۰.۳۱۹۸	
No[N(x)]		۰.۱۶۶۷	۰.۳۲۵۶	۰.۳۱۹۸	
Agree Grid cell	۰.۵۳۳۸	Agree Strata	۰.۰۰۰۰	Agree Quantity	۰.۱۵۹۰
Agree Chance	۰.۱۶۶۷	Disagree Quantity	۰.۰۴۰۴	Disagree Strata	۰.۰۰۰۰
Disagree Grid cell	۰.۱۰۰۲	kno	۰.۸۴۲۰	Klocation	۰.۸۴۲۰
Kstandard	۰.۷۹۱۶	Klocation Strata	۰.۸۴۲۰		

با توجه به شکل فوق، این نتایج برای سال ۲۰۱۴ تشریح می‌شود. توافق بین نقشه واقعی و پیش‌بینی‌شده [M(m)] برابر ۰/۸۵ است؛ عدم توافق بین دو نقشه نیز با توجه به رابطه $(1 - [M(m)])$

برابر ۰/۱۵ است. توافق ناشی از شانس [N (n)] که بدون داشتن هیچ اطلاعاتی از موقعیت و کمیت به دست می‌آید، برابر ۰/۱۶ است. توافق ناشی از کمیت (تعداد سلول‌ها برای هر طبقه در دو نقشه) که از رابطه ۱ محاسبه می‌شود، برابر ۰/۱۵ است. عدم توافق ناشی از کمیت نیز با توجه به رابطه ۲، برابر ۰/۰۴ و همین‌طور توافق^۱ و عدم توافق مکانی^۲ (مکان طبقه‌ها در دو نقشه واقعی و پیش‌بینی شده) به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۱۰ برآورد شده است. شاخص کاپا موقعیت (Klocation) که توانایی مدل در پیش‌بینی مکان پیکسل‌ها را نشان می‌دهد، برابر با ۰/۸۴ به دست آمد (رابطه ۳) و شاخص کاپا کمیت (Kquantity) که توانایی مدل در پیش‌بینی تعداد پیکسل‌ها را نشان می‌دهد، برابر با ۱ به دست آمد (رابطه ۴).

$$\{N(m) - N(n)\} \quad (1)$$

$$\{P(p) - P(m)\} \quad (2)$$

$$Klocation = \{M(m) - N(m)\} / \{P(m) - N(m)\} \quad (3)$$

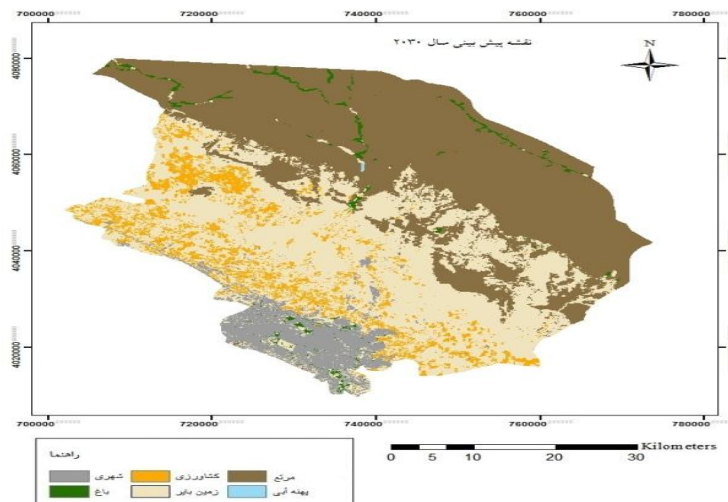
$$Kquantity = \{M(m) - NQML\} / \{PQML - NQML\} \quad (4)$$

شاخص کاپای توافق^۳ توسط Kstandard جدول مشخص می‌شود که برابر با ۰/۷۹ است. در نهایت، با توجه به مقادیر توافق کلی (بیش از ۸۰ درصد) برای هر ۲ سال نتیجه گرفته می‌شود که بین دو نقشه توافق خوبی وجود دارد و مدل توانایی بسیاری در پیش‌بینی کلاس‌ها داشته است. همچنین، با توجه به مقدار Klocation و Kquantity می‌توان گفت مدل، مکان پیکسل‌ها را نیز به خوبی پیش‌بینی کرده است و وزندهی معیارها، برای پیش‌بینی تغییرات مناسب بوده است.

پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها تا سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل شبکه خودکار- زنجیره مارکوف

برای نقشه‌سازی کاربری سال ۲۰۳۰ از همین مدل استفاده شد. بنابراین با وارد کردن نقشه مرجع ۲۰۱۴ به عنوان نقشه پایه و معرفی فایل مساحت انتقال، نقشه پیش‌بینی کاربری سال ۲۰۳۰ استخراج شد (شکل ۷).

-
1. AgreeGridcell
 2. DisagreeGridcell
 3. Kappa Index of Agreement (KIA)



شکل ۷. نقشه حاصل از پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش مارکوف- شبکه خودکار

با توجه به شکل ۸، درصد تغییرات طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۳۰ نقشه پیش‌بینی شده در این تحقیق، افزایش حدود ۱۰/۶ درصدی کاربری شهری و بعد از آن، افزایش ۳/۷ درصدی کاربری بایر را نشان می‌دهد. همچنین نرخ کاهشی در کاربری کشاورزی حدود ۲۰/۵ درصد است و بعد از آن، در کاربری باغ ۱۹/۳ درصد نرخ کاهش وجود دارد.

درصد تغییرات طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۳۰



شکل ۸. نمودار درصد تغییرات کاربری‌های شهر مشهد از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۳۰

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد بیشترین افزایش سطوح کاربری مربوط به کاربری شهری است که با این روند میزان کاربری شهری از ۲۰۱۱۷/۲۵ هکتار در سال ۲۰۱۴ به ۲۲۲۵۱/۰۶ هکتار در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. این افزایش طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۳۰ روی داده است و به ترتیب، مربوط به کاهش زمین‌های بایر (۱۹۲۵/۱۰ هکتار) و زمین‌های باغی (۱۴۹/۸۵ هکتار) است.

جدول ۷. پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها تا سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل شبکه خودکار-زنجیره مارکوف

مجموع ۲۰۱۴	پهنه آبی	مرتع	بایر	کشاورزی	باغ	شهری	نوع کاربری
۲۰۱۱۷.۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰۱۱۷.۲۵	شهری
۴۹۲۷.۷۷	۰	۵۲۹.۶۵	۱۲۴۰.۰۲	۲۶۱.۹۹	۲۷۴۶.۲۶	۱۴۹.۸۵	باغ
۲۴۷۴۴.۰۶	۰	۴۵.۳۶	۱۵۴۴۲.۳۸	۹۱۹۰.۸۹	۷.۲۹	۵۸.۱۴	کشاورزی
۱۲۱۱۸۲.۲	۰	۵۱۵۸.۹۸	۱۰۳۵۲۱.۴۲	۱۰۲۰۰.۳۳	۳۷۶.۳۸	۱۹۲۵.۱۰	بایر
۱۳۷۴۱۵.۲	۰	۱۳۱۳۳۰.۰۷	۵۲۳۱.۳۴	۷.۴۷	۸۴۵.۵۵	۰.۷۲	مرتع
۶۷.۵	۶۷.۴۱	۰.۰۹	۰	۰	۰	۰	پهنه آبی
	۶۷.۴۱	۱۳۷۰۶۴.۲	۱۲۵۴۳۵.۲	۱۹۶۶۰.۶۸	۳۹۷۵.۴۸	۲۲۲۵۱.۰۶	مجموع ۲۰۳۰

بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی جوامع شهری امروز سبب ناپایداری محیط زیست (محیط طبیعی و محیط مصنوعی) شده است. درک مکانیسم فرایند رشد شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است. با توجه به اینکه جمعیت شهر مشهد در سال ۱۳۸۵ نزدیک به ۲۵۴۲۸۴۱ نفر بود و در سال ۱۳۹۰ به ۲۷۶۶۲۵۸ نفر رسید (آمارنامه سال ۱۳۹۰، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد)، شاهد رشد شهری در این منطقه هستیم. مدل‌های مکانی، ابزارهای مفیدی برای درک فرایند توسعه شهری، سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و مناطق طبیعی و حفاظت شده هستند. (Rezazadeh et al., 2017)

با توجه به اینکه کارایی شبیه‌سازی در سیستم اطلاعات مکانی در مدیریت محیط زیست اثبات شده است (Jahani et al., 2012)، لذا در این تحقیق با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین

به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و ترکیب آن با روش‌های پیش‌بینی زنجیره‌های مارکوف و مدل شبکه خودکار، به شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات فیزیکی آبی شهر مشهد پرداخته شد و با توجه به بازدها و شناخت منطقه مورد مطالعه، شش کاربری شهری، باغ، کشاورزی، بایر، مرتع و پهنه آبی برای منطقه به دست آمد.

همچنین نقشه کاربری زمین برای تمامی سال‌ها با ضریب کاپای بالای ۰/۸ و دقت کلی بیشتر از ۹۰ درصد به دست آمد که دقتی قابل قبول است. بدین منظور، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، طی دوره ۱۶ ساله از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ در شهر مشهد، تغییرات کاربری زمین با روش ماتریس متعامد ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۸ حدود ۱۸۵۷۳/۷۷ هکتار کاربری زمین شهری داشته که در سال ۲۰۱۴ به حدود ۲۰۱۱۷/۲۵ هکتار افزایش یافته است.

بیشترین سهم را در این افزایش، کاربری بایر با ۲۹۷۳/۷۸ هکتار و بعد از آن، باغ‌ها با ۱۰۳۴/۹۲ هکتار داشته‌اند. همچنین نتایج نشان‌دهنده کاهش زمین‌های کشاورزی است که بیشترین سهم کاهش آن مربوط به تبدیل به زمین‌های بایر حدود ۲۷۷۲۵/۵۸ هکتار است.

با توجه به نتایج، یکی از دلایل کاهش زمین‌های کشاورزی و تبدیل آن‌ها به زمین‌های بایر، آماده‌سازی منطقه برای افزایش کاربری شهری بوده است. همچنین نتایج روند این تغییرات نشان‌دهنده کاهش زمین‌های باغی نیز است و بیشترین کاهش کاربری باغی در محدوده شهری دیده می‌شود.

نتایج نشان داد طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۳۰، شاهد روندی افزایشی در کاربری شهری و زمین‌های بایر و روندی کاهشی در کاربری کشاورزی و باغ‌ها خواهیم بود که می‌تواند حاکی از توسعه شهری در منطقه باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نقشه شبیه‌سازی شده از سال ۲۰۳۰، سهم زمین‌های بایر در افزایش کاربری شهری در مقایسه با زمین‌های کشاورزی و باغی بسیار زیاد بوده است؛ به‌خصوص اینکه میزان تغییرات و رشد در مساحت زمین‌های شهری طی سال‌های اخیر، سرعت بیشتری به خود گرفته است. نتایج نشان می‌دهد ادامه این روند می‌تواند به تشدید آسیب‌های زیست‌محیطی و کاهش هرچه بیشتر سطح زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها در منطقه منجر شود.

با توجه به نتایج مطلوب ارائه شده از مطالعات پیشین، در صورت نداشتن برنامه‌ریزی مناسب برای این شهر، با توجه به زمین‌های مساعد برای گسترش فیزیکی در پیرامون شهر مشهد، در

آینده‌ای نه‌چندان دور شاهد ازبین‌رفتن زمین‌های کشاورزی اطراف شهر و تبدیل آن‌ها به مناطق شهری خواهیم بود. با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را تعیین کرد و تغییرات موجود و احتمالی آینده را به سوی مسیرهای مناسب هدایت کرد (Brown et al., 2000; Hathout, 2002).

بنابراین، باید استفاده از راهکارهایی به‌منظور هدایت توسعه شهر به سمت پایداری بیشتر در دستور کار برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد. در نتیجه، با توجه به اینکه اغلب، هدف پیش‌بینی تغییر کاربری، ارزیابی پیامدهای سناریوهای مختلف به‌ویژه ادامه روند موجود است، نتایج این پیش‌بینی به‌رغم اختلاف با آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، می‌تواند هشدار برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد که بتوانند با برنامه‌ریزی‌های مناسب، از گسترش بی‌برنامه شهر جلوگیری کنند. نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد مدل شبکه خودکار-مارکوف می‌تواند به طراحی سیستم شهری پایدار کمک کند.

منابع

۱. پورخیزاب، حمیدرضا؛ محمدیاری، فاطمه؛ اقدر، حسین و توکلی، مرتضی (۱۳۹۴). رویکرد آمایشی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان بهبهان با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای. *مجله آمایش سرزمین*, ۷(۲), ۱۸۷-۲۰۷.
۲. جاودانی ایرانی نژاد، مجتبی (۱۳۹۴). *آمارنامه شهر مشهد ۱۳۹۳*، مشهد: معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد با نظارت مدیریت آمار، تحلیل و ارزیابی عملکرد.
۳. جعفرزاده، کاوه؛ سبزقبایی، غلامرضا؛ یوسفی، شهرام و سلطانیان، ستار (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه‌ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۷ (۱۰۷)، ۲۰۹-۲۲۲.
۴. خوش‌گفتار، محمدمهدی؛ طالعی، محمد و ملک‌پور، پیمان (۱۳۸۹). *مدل‌سازی زمانی- مکانی رشد شهری: روشی مبتنی بر تلفیق زنجیره مارکوف و Automata Cellular* همایش ملی ژئوماتیک ۸۹ اردیبهشت ۱۳۸۹.
۵. رضایی، نفیسه و جعفری، رضا (۱۳۹۳). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش زمین در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA-مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین)، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره چهارم، ۸۳-۹۶.
۶. شهرداری مشهد (۱۳۹۲). *آمارنامه شهر مشهد ۱۳۹۰*، مشهد: معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد با نظارت مدیریت آمار و تحلیلی اطلاعات.
۷. علوی پناه، سیدکاظم (۱۳۸۲). *کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۸. غلام‌علی، مهدی؛ جورابیان شوشتری، شریف؛ حسینی کهنوج، سیدحمزه و میرزایی، محسن (۱۳۹۱). مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS، *مجله محیط‌شناسی*.
۹. قربانی، رسول، پورمحمدی، محمدرضا، محمودزاده، حسن. (۱۳۹۲). رویکرد زیست‌محیطی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای، ارزیابی چندمعیاری و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف (۱۴۱۷-۱۳۶۳). *فصلنامه*

مطالعات شهری، ۲(۸)، ۱۳-۳۰ شماره چهارم، ۱۰۹-۱۲۴.

10. Abdollahi, A., Jahani, A., Rayegani, B., Mohammadi Fazel, A., 2017. Impact Assessment of Dam Construction on Land Use Changes in the Western and Southern Catchments of Lake Urmia Using Satellite Images. *Environmental Researches*, 8(15): 39-50.
11. Barati, B., Jahani, A., Zebardast, L., Rayegani, B. (2017). Integration assessment of the protected areas using landscape ecological approach (Case Study: Kolah Ghazy National Park and Wildlife Refuge). *The Journal of Town and Country Planning*, 9(1): 153-168.
12. Borana S.L., Yadav S.K. (2017). Prediction of Land Cover Changes of Jodhpur City Using Cellular Automata Markov Modelling Techniques. *International Journal of Engineering Science*, 17(11), 15402-15406.
13. Brown, D. G, B. C. Pijanowski, and J. D. Duh. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*. 59, 247-263.
14. Eastman, J.R. (2012) *IDRISI Selva Tutorial*. IDRISI Production. Worcester: Clark Labs-Clark University
15. Epstein, J., Payne, K., Kramer, E., (2002). Techniques for mapping suburban sprawl. *Photographer Engineering Remote Sensing*. 63 (9), 913-918.
16. 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), 229-238..
17. Houet, Thomas & Hubert-Moy, Laurence (2006). Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories: An improvement for simulation of plausible future states. *EARSeL eProceedings*, European Association of Remote Sensing Laboratories, 5 (1), 63-76.
18. Jahani, A., Fegghi, J., Zobeiri, M. (2012). Spatial Forest Simulation to Obtain Forest Statistics (Case Study: Gorazbon District of Kheyroud Forest). *Journal of Forest And Wood Products (Jfwp)*(Iranian Journal of Natural Resources), 65(2): 147-155.
19. Luo .D; Zhang .W. (2014). A comparison of Marcov model-based methods for predicting the ecosystem services value of land use in Wuhan, central China. *Journal of Ecosystem services*. 7, 57 - 65
20. Lusch, David (1999). *Introduction to environment remote sensing*. center for remote sensing and GIS: Michigan State University
21. Mertens, B. and E.F. Lambin (2000), *Land-cover-change trajectories in southern Cameroon*. *Annals of the association of American Geographers*. 90(3), 467-494
22. Moghadam, H.S.; Helbich, M. *Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai India: A Markov chains-cellular automata urban growth model*. *Appl. Geogr.* 2013, 40, 140-149.
23. Rezazadeh, S., Jahani, A., Makhdoum, M., Ghoshtasb, H. (2017). Evaluation of the Strategic Factors of the Management of Protected Areas Using SWOT Analysis—Case Study: Bashgol Protected Area-Qazvin Province. *Open Journal of Ecology*, 7(1): 55-68.
24. 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.
25. Sang, L.; C, Zhang, J, Yang, D, Zhu, and W, Yun (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 54, Issue 3-4, 938-943.
26. Singh, A.K. *Modeling Land use/ Land cover Changes Using Cellular Automata in Geo-Spatial Environment, MSC Theses*. Netherland.2003; 58 P.
27. Srivastava, P.K., et al (2012). *Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation*. *Advances in Space Research*,. 50(9), 1250-1265
28. Tiwari, A., & Jain, K. (2014). GIS Steering smart future for smart Indian cities. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(8), 442-446.
29. 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*. Volume 2, Issue 2.
30. Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R. and Espaldon, V (2002). *Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model*. *Environ. Manage.* 30(1): 391-405.
31. Wang, Ninghua (2013). *Statistics for Time-Series Spatial Data: Applying Survival Analysis to Study Land-Use Change*. Santa Barbara: University of California.
32. Wu, Qiong, Li, Hong-qing, Wang, Ru-song., Paulussen, Juergen, He, Yong, Wang, Min, Wang, Bi-hui, Wang, zhen (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Journal of Landscape and Urban Planning*. Volume 78, Issue 4, 28 No, 322-333.