

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۹، شماره پیاپی ۳۵، پاییز ۱۳۹۸

شاپای چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ - شاپای الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

<http://jzpm.miau.ac.ir>

مقاله پژوهشی

تحلیل عوامل محرک و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران با تأکید بر یک مدل منطقه‌ای یکپارچه

هاشم داداش پور^۱: دانشیار برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حسین پناهی: کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

علی شمس‌الدینی: استادیار گروه سنجش از دور، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۸

صص ۵۶-۳۹

دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۶

چکیده

مناطق کلان‌شهری به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه با رشد سریع جمعیت روبه‌رو شده‌اند که این امر در دهه‌های گذشته تأثیرات مخربی را با تغییر در کاربری زمین محیط پیرامونی خود به محیط‌زیست وارد کرده است. تغییرات کاربری زمین در این مناطق با پیچیدگی و سرعت بالایی رخ داده و موجب تخریب اراضی سبز و کشاورزی، افزایش آلودگی زیست‌محیطی و آسیب‌های اکولوژیکی شده است. روند برنامه‌ریزی حاضر کاربری زمین، این ضرورت را ایجاد می‌کند تا بر پایه معیارهای مناسب با محیط طبیعی، اقتصادی و اجتماعی الگوی آینده کاربری زمین مناطق شناسایی شوند بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، در گام نخست تغییرات کاربری زمین در منطقه تحلیل می‌شود. سپس، با شناسایی میزان تأثیر عوامل محرک تغییر و پتانسیل‌های انتقال کاربری‌ها، تغییرات کاربری اراضی سال‌های آتی ترسیم می‌شود. لذا، برای این منظور، ابتدا کاربری‌های سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵، با استفاده از نرم‌افزار ENVI و روش SVM طبقه‌بندی و تحلیل می‌شوند. در گام دوم پس از شناسایی عوامل محرک تغییر با روش رگرسیون لجستیک، میزان تأثیر عوامل مشخص می‌شود. در بخش پیش‌بینی با ترکیب روش‌های مارکوف و خودکار سلولی تغییرات آتی در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ شبیه‌سازی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روند تغییرات گذشته در منطقه کلان‌شهری تهران منجر به تخریب مراتع، زمین‌های کشاورزی و زمین‌های بایر شده و این روند آسیب‌مناطق ساخته‌شده بر منابع با ارزش طبیعی و زیست‌محیطی را بیشتر خواهد کرد؛ که در این بین، راه‌ها، فاصله از مناطق ساخته‌شده و عوامل طبیعی بیشترین تأثیر را بر تغییر دارند. تغییرات در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ روند گذشته را خواهد داشت. در این میان، مناطق ساخته‌شده افزایش یافته و در محورهای غربی، جنوبی و شرقی محدوده بیشترین تغییرات اتفاق خواهد افتاد.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری زمین، منطقه کلان‌شهری تهران، شبیه‌سازی فضایی، رگرسیون لجستیک، خودکاره سلولی

^۱ نویسنده مسئول: H-dadashpoor@modares.ac.ir، ۰۹۱۲۳۵۴۰۲۹۰

مقدمه:

رشد سریع جمعیت، توسعه اقتصادی و به تبع آن افزایش شهرنشینی منجر به ایجاد تأثیرات گسترده بر منابع زیست‌محیطی و زمین‌های بارز کشاورزی از طریق تبدیل آن‌ها به مناطق ساخته‌شده می‌شود (Han et al, 2015: 4262). این تأثیرات در سه سطح جهانی، منطقه‌ای و محلی بر محیط‌زیست شامل منابع طبیعی (Rounsevell et al, 2006: 59) منابع آبی، اراضی کشاورزی (Verburg et al, 2002: 395) کیفیت محیط سکونتگاه‌ها (Dadashpoor & Ahani, 2019a:2; Al-sharif & Pradhan, 2014: 4293) و عدم انسجام در ساختار فضایی منطقه (داداش‌پور و سالاریان، ۱۳۹۴، ۱۴۶) بوده است. در این بین، مناطق کلان‌شهری به ویژه در کشورهای در حال توسعه با رشد سریع جمعیت که ناشی از جذب مهاجران اقتصادی بوده در دهه‌های گذشته تأثیرات مخرب بیشتری را با تغییرات در کاربری زمین محیط پیرامونی خود به محیط‌زیست وارد نموده‌اند (Wu et al, 2006: 324; Hosseinali et al, 2013: 106; Dadashpoor et al, 2019a: 709).

رشد و توسعه مناطق کلان‌شهری با پراکندگی و گسترش برنامه‌ریزی نشده، که در آن هیچ‌گونه تفکر از پیش تعیین‌شده درباره شکل‌گیری منطقه کلان‌شهری وجود ندارد با رهاشدگی و پیامدهای ناخواسته همراه است (Dadashpoor & Ahani, 2019b: 219)، که باعث تبدیل کاربری‌های دیگر مانند کشاورزی، باغ، زمین‌های باز و مراتع به مناطق ساخته‌شده جدید در حومه این مناطق شده است (Arsanjani et al, 2011: 331). و زیرساخت‌های سبز که سیستم پشتیبان حیات و خدمات اکولوژیک در مناطق کلان‌شهری هستند، در حال زوال می‌باشند. روند برنامه‌ریزی‌های ضعیف کاربری زمین در مناطق کلان‌شهری می‌تواند منجر به تأثیر جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست و اکولوژی منطقه‌ای شود (Han and Jia, 2017: 109; Dadashpoor and Salarian, 2018: 5). همچنین عدم درک صحیح از نتایج اکولوژیکی تغییرات کاربری زمین، برقراری تعادل میان توسعه شهری و توسعه پایدار را مشکل می‌سازد. ادامه این روند تخریب زیست‌محیطی را به دنبال داشته و این ضرورت را ایجاد می‌کند تا بر پایه معیارهای متناسب با محیط طبیعی، اقتصادی و اجتماعی الگوی بهینه برای این مناطق ترسیم گردد (داداش‌پور و جهانزاد، ۱۳۹۴: ۳۴۳). از سوی دیگر فرآیند کاربری زمین نیازمند درک، تعریف و تحلیلی درست از مشکلات توسط برنامه‌ریزان و همچنین شناسایی دلایل اولیه و پیش‌بینی فرآیند و روند تغییر کاربری زمین، پیش‌بینی الگوی توسعه آینده و پیشنهاد برنامه‌ها بر اساس اطلاعات موجود به منظور برنامه‌ریزی کاربری زمین، بهره‌برداری از منابع منطقه‌ای و مدیریت زیست‌محیطی است (Dadashpoor et al, 2019b:3). در حال حاضر مطالعه در مورد تغییرات کاربری/پوشش زمین و تأثیرات آن به‌طور گسترده‌ای به عنصر اصلی در تحقیقات تغییر زیست‌محیطی و توسعه پایدار تبدیل شده است (شمس‌الدینی و امیری‌فهلپانی، ۱۳۹۴: ۸۶). فرآیند تغییرات کاربری زمین پویا و پیچیده است که ناشی از اثر متقابل عوامل طبیعی، اجتماعی و اقتصادی است و اثرگذاری هر کدام از این عوامل در زمان و مقیاس مختلف متفاوت است (Han et al., 2015: 4265). از این رو، فهم جامع از این پویایی می‌تواند در شناسایی روند گذشته تغییرات و پیش‌بینی تغییرات آینده مفید بوده و به گسترش شیوه‌های مدیریت پایدار با هدف حفظ اکولوژی و محیط کمک نماید (Amini Parsa and Salehi, 2016: 45).

در سال‌های اخیر، مدل‌سازی به‌عنوان روشی کارا برای فهم این تغییرات به کار گرفته می‌شود. استفاده از مدل‌ها به‌عنوان ابزاری مفید برای شبیه‌سازی تغییرات و فهم سیستم‌های شهری و منطقه‌ای و ارزیابی تأثیرات بالقوه تغییرات کاربری زمین بر سیستم اکولوژی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (داداش‌پور و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۰). با توجه به اینکه برنامه‌ریزی کاربری زمین و مدیریت زیست‌محیطی نیاز به اطلاعاتی درباره پویایی کاربری زمین دارند، مدل‌ها می‌توانند برای درک این پویایی و مسیر آینده کاربری زمین بر اساس اهداف تصمیم‌گیران کمک‌کننده باشند (Verburg et al, 2002: 396). به‌عبارت‌دیگر، این امکان وجود دارد تا با استفاده از این مدل‌ها نقش تعیین‌کننده هریک از عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی را بررسی و اثرات آن را پیش‌بینی نمود. مطالعات مختلف به مدل‌سازی کمی تغییرات فضایی-زمانی کاربری زمین در مناطق پرداخته‌اند و دستاوردهای مفیدی را برای مدیریت پایدار فراهم نموده‌اند (Han et al, 2015: 4266). علاوه بر این، پیش‌بینی به‌وسیله مدل‌ها می‌تواند الگوی فضایی کاربری زمین در منطقه را بر اساس تصمیماتی که امروز تصمیم‌گیران اخذ می‌کنند را نشان داده (Sun et al, 2016: 275). و از طریق تحلیل پیامدهای آینده به‌صورت علمی، برنامه‌ریزان منطقه‌ای و تصمیم‌سازان را حمایت کند (Koomen et al, 2011: 242). در مطالعات صورت گرفته، روش‌های پیش‌بینی تجربی و شبیه‌سازی پویا، دو رویکرد اصلی استفاده‌شده در طی دو دهه گذشته برای شبیه‌سازی تغییرات آتی کاربری زمین بوده‌اند (Rounsevell et al, 2012: 227). رویکردهای تجربی با استفاده از روش‌های آماری و بر اساس داده‌های تاریخی به بررسی رابطه بین متغیرها و تأثیر آن بر کاربری زمین و پیش‌بینی کمی تغییرات می‌پردازند (Irwin & Geoghegan, 2001: 10). مدل‌های پویا شرایط را در زمان‌های مختلف بررسی کرده و تغییرات کاربری زمین را در بعد فضایی و بر اساس داده‌های فضایی مؤثر بر تغییرات، شبیه‌سازی می‌نمایند. اخیراً ترکیب پیش‌بینی‌های

تجربی و شبیه‌سازی‌های پویا به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مدل‌سازی شهری و منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Shafizadeh, 2017: 299). که در این پژوهش نیز با ترکیب این دو روش سعی در ارائه مدلی بهینه در حوزه تغییرات کاربری زمین است. پژوهش‌های صورت گرفته با هدف شبیه‌سازی تغییرات آتی کاربری زمین با ترکیب مدل‌ها می‌توان به مواردی همچون: جوکار ارسنجانی و همکاران (۲۰۱۲) که گسترش شهری تهران و پیرامون آن را با استفاده از تلفیق مدل رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف و خودکاره سلولی مدل‌سازی نمودند، اشاره کرد. آنها با تحلیل عوامل زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی گسترش شهری تهران را برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۶ را پیش‌بینی کردند. نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده نشان داد که موج جدیدی از توسعه حومه‌ای در مرزهای غربی کلان‌شهر تهران در طول دهه‌های آینده به وقوع خواهد پیوست (Arsanjani et al, 2012: 329). همچنین جیانگ و همکاران (۲۰۱۶)، با به‌کارگیری مدل تلفیقی CLUE-S^۱ و رگرسیون لجستیک در منطقه‌ای در چین اقدام به شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین در منطقه کردند. آن‌ها با شناسایی ۱۵ عامل تأثیرگذار بر کاربری زمین و به دست آوردن میزان تأثیرگذاری هرکدام از این عوامل، بر اساس تصاویر هوایی سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹، شبیه‌سازی تغییرات نمودند (Jiang et al, 2016: 112).

منطقه کلان‌شهری تهران شاهد رشد بالای شهرنشینی و افزایش مناطق ساخته‌شده بوده است؛ به‌طوری‌که کلان‌شهر تهران بدون هرگونه طرح و برنامه جامعی گسترش پیدا کرده است (کاویانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۱۱). رشد مناطق ساخته‌شده و شهری و نیاز به اراضی به منظور توسعه در منطقه کلان‌شهری تهران، تخریب اراضی کشاورزی، آلودگی زیست‌محیطی، تهدید اکولوژی منطقه و مشکلات عمده زیست‌محیطی را به دنبال داشته است. در دهه‌های گذشته این روند ادامه داشته و در نتیجه مناطق کشاورزی، مراتع و زمین‌های باارزش به نواحی شهری و سکونتگاه‌های انسانی تبدیل شده و این مسئله به مشکلات زیست‌محیطی منطقه افزوده است (منصوریان، ۱۳۹۵: ۶۱۵). بنابراین، بررسی کلان‌شهر تهران به تنهایی نشان‌دهنده‌ی فهم مشکلات زیست‌محیطی نبوده و ضرورت بررسی و مدل‌سازی یکپارچه تغییرات کاربری زمین در سطح منطقه کلان‌شهری تهران ضروری است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، تا کنون در رابطه با تغییرات کاربری زمین در سطح منطقه کلان‌شهری تهران به صورت یکپارچه مطالعات چندانی صورت نگرفته است و از سویی تغییرات کاربری زمین در مناطق مختلف از منظر روش‌شناسی و تأکید بر مدل‌سازی بوده است اما در این پژوهش ترکیب سه مدل رگرسیون لجستیک، مارکوف و خودکار سلولی با توجه به سؤالات و اهدافی که از منظر برنامه‌ریزی منطقه‌ای به دنبال پاسخگویی به آن‌هاست، مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهش حاضر با تأکید بر مناطق کلان‌شهری و تغییرات پیچیده و ناسازگار آن‌ها با محیط‌زیست، ابتدا به درک و توصیف تغییرات گذشته کاربری بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ در منطقه کلان‌شهری تهران اقدام شد. سپس به تبیین نیروهای محرک تغییر در بین سال‌های مذکور به منظور فهم عوامل تأثیرگذار و ورود به فرآیند مدل‌سازی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداخته شد. براین اساس و با ترکیب نتایج با روش‌های زنجیره مارکوف و خودکاره سلولی در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ شبیه‌سازی تغییرات آتی این منطقه صورت گرفت.

مواد و روش تحقیق:

برای جمع‌آوری اطلاعات و پیشینه موضوع، روش کتابخانه‌ای و استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور نیز برای بررسی وضعیت موجود منطقه مورد مطالعه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های توپوگرافی از سازمان نقشه‌برداری کشور و داده‌های محیطی، طبیعی به کمک مطالعات گذشته در منطقه کلان‌شهری گردآوری شد. با هدف به تصویر کشیدن الگوهای فضایی زمانی کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه از داده‌های آرشو سنجش از دور استفاده شد. به منظور استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های مختلف توجه به پوشش فضایی بدون ابر، کیفیت فضایی و باندی تصاویر، همزمانی تصاویر در سال‌های مختلف (به خصوص زمان مشابه رشد گیاهان) نیاز است (Amini Parsa & Salehi, 2016: 45). اطلاعات مربوط به داده‌های سنجش از دور مورد استفاده در این تحقیق در راستای بررسی عوامل تأثیرگذار بر تغییر کاربری زمین و شناسایی این تغییرات، دو بازه زمانی ۱۵ ساله انتخاب شده است که تغییرات قابل ملاحظه باشند. همچنین با توجه به بررسی تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت در دسترس و به روز، سه سال ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ انتخاب شده است. منطقه کلان‌شهری تهران در هر دوره در دو تصویر قرار می‌گیرد که از فایل (فراداده) MTL که تمامی باند‌ها را پوشش می‌دهد، برای نمایش و پردازش تصاویر استفاده شده است. مشخصات آن‌ها در جدول ۱ مشخصات آن‌ها ذکر شده است. ۰۱LGN۸۱۶۵۰۳۵۲۰۱۵۱۶۰LC

¹ the Conversion of Land Use and its Effect at Small regional extent

جدول ۱- تاریخ اخذ و کیفیت تصاویر ماهواره‌ای در سال ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵

سال	تاریخ	مشخصات	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی
۱۹۸۵	۱۵ June	LT۵۱۶۴۰۳۵۱۹۸۵۱۶۶AAA۰۲	لندست ۵(TM)	۳۰ متر
	۲۲ June	LT۵۱۶۵۰۳۵۱۹۸۵۱۷۳AAA۰۲	لندست ۵(TM)	
۲۰۰۰	۸ June	LT۵۲۶۴۰۳۵۲۰۰۱۶۰RSA۰۰	لندست ۵(TM)	۳۰ متر
	۳۱ May	LT۵۱۶۵۰۳۵۲۰۰۱۵۱AAA۰۲	لندست ۵(TM)	
۲۰۱۵	۲ June	LC۸۱۶۴۰۳۵۲۰۱۵۱۵۳LGN۰۱	لندست ۸(OLI)	۳۰ متر
	۹ June	LC۸۱۶۵۰۳۵۲۰۱۵۱۶۰LGN۰۰	لندست ۸(OLI)	

منبع: سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، ۱۳۹۷.

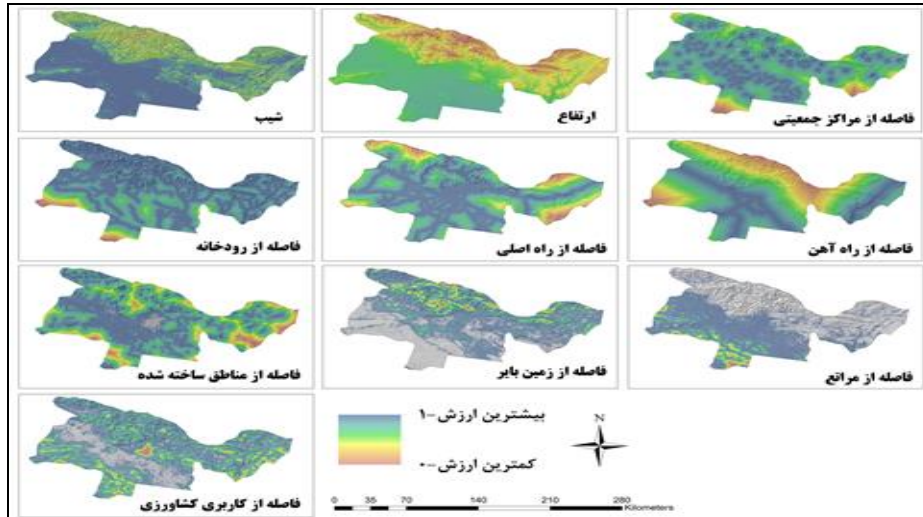
عوامل محرک تغییر بر اساس پژوهش‌های گذشته و نظر متخصصین حوزه کاربری زمین مشخص شده است. پارامترهای توپوگرافی شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب است. این پارامترها برای در نظر گرفتن تأثیر عوامل جغرافیایی و محیطی و طبیعی در فرآیند تغییرات کاربری اراضی انتخاب شده‌اند. پیکسل‌های موجود در این دو پارامتر با توجه به مقدار واقعی ارتفاع و شیب زمین وزن دهی می‌شوند و پارامترهای فاصله ای شامل فاصله تا مناطق ساخته شده موجود، فاصله تا زمین‌های کشاورزی، فاصله تا زمین‌های بایر موجود، فاصله تا مراتع، فاصله تا نقاط مراکز جمعیتی، فاصله تا منابع آب سطحی، فاصله تا راه‌های اصلی، فاصله تا راه‌آهن است. این پارامترها برای در نظر گرفتن اثرات عوامل محیطی و وضعیت منطقه کلان‌شهری انتخاب گردیدند. مجموعه عوامل فوق در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی در منطقه کلان‌شهری تهران و نیز پیش‌بینی تغییرات آتی، تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند. (جدول ۲).

جدول ۲- عوامل محرک تغییرات کاربری زمین و منابع

موضوع عوامل	عوامل	منابع
عوامل توپوگرافی	ارتفاع از سطح دریا	(Oğuz, 2004, 117) و (Arsanjani et al., 2012, 270)
	شیب	(Liu et al., 2017, 103)
عوامل فاصله ای	فاصله تا مناطق ساخته شده	(Dadashpoor & Nateghi, 2017, 534) و (Liu et al., 2017, 103)
	فاصله تا اراضی کشاورزی	(Aburas et al, 2016, 384) و (Arsanjani et al., 2012, 270)
	فاصله تا زمین های بایر	(Cheng & Masser, 2004, 185) و (Aburas et al., 2016, 384)
	فاصله تا مراتع	(Manuschevich & Beier, 2016, 252) و (Zarei et al., 2016, 45)
	فاصله تا مراکز جمعیتی	(Arsanjani et al., 2012, 270) و (El-Khoury, 2012, 64)
	فاصله تا رودخانه	(H. Han et al., 2015, 4268) و (El-Khoury, 2012, 64)
	فاصله تا راه های اصلی	(Arsanjani et al., 2012, 270) و (Oğuz, 2004, 117)
	فاصله تا راه آهن	(H. Han et al., 2015, 4268) و (Aburas et al., 2016, 384)

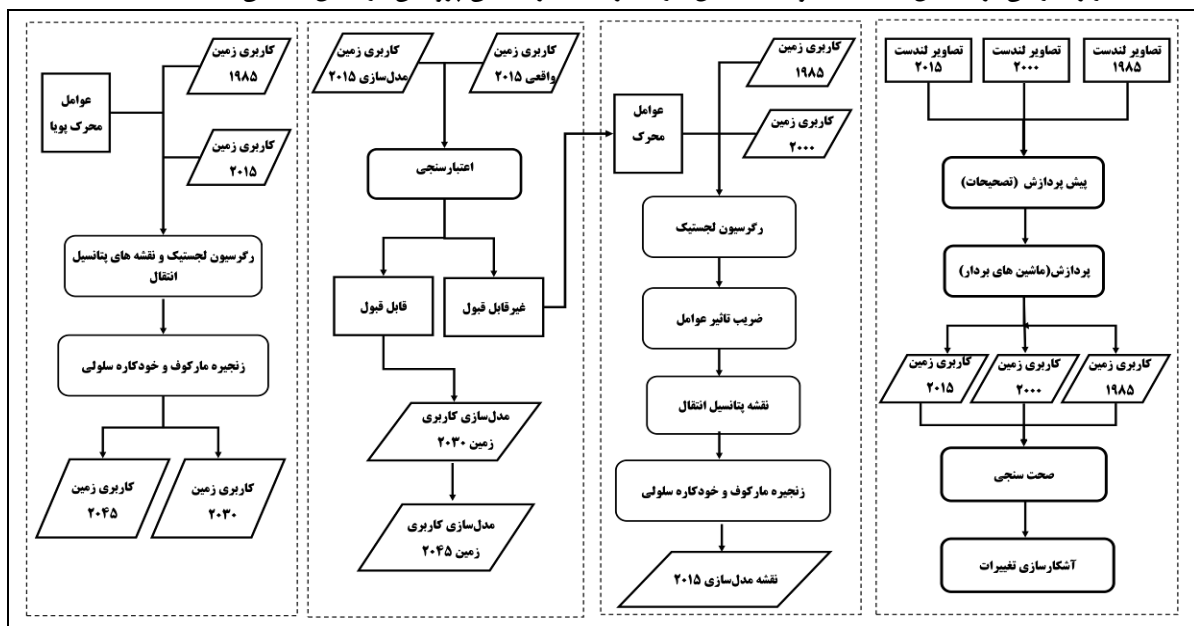
منبع: مطالعات نویسندگان براساس منابع مذکور در جدول، ۱۳۹۷.

عوامل محرک با توجه به فاصله هر پیکسل تا عوارض موجود مقاردهی می‌شوند. این موارد در نقشه‌های زیر مشخص شده است. تمامی این عوامل به صورت نرمال درآمده و اعدادی بین صفر و ۱ گرفته اند. سپس به شبکه گریدی با اندازه گرید برابر با گریدهای نقشه‌های کاربری تبدیل گردیدند عوامل همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، از داده‌های خام موجود و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تولید شدند.



شکل ۱- عوامل محرک و مستقل در فرآیند مدل‌سازی (منبع: نویسندگان بر اساس تصاویر ماهواره ای و سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۷).

فرآیند کلی این پژوهش بر چهار گام اصلی قرار گرفت. به منظور شناسایی تغییرات در گذشته با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های طبقه‌بندی شده در سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، ۲۰۱۵ تهیه گردید و آشکارسازی تغییرات با توجه به نقشه‌های کاربری بدست آمده برای این سال‌ها ایجاد گردید. با روش رگرسیون لجستیک ضریب تأثیر هر یک از عوامل محرک و نقشه‌های پتانسیل انتقال در آینده کاربری زمین مشخص شد. با استفاده از نقشه‌های پتانسیل انتقال و با ترکیب مدل مارکوف و خودکاره سلولی نقشه کاربری زمین برای سال ۲۰۱۵ مدل‌سازی گردید و با استفاده از نقشه کاربری اراضی بدست آمده از سال ۲۰۱۵، اعتبارسنجی این مدل‌سازی انجام شد. در انتها نیز نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ مدل‌سازی گردیدند. فرآیند این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- فرآیند پژوهش (منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۷)

در شبیه‌سازی کاربری زمین، پیش‌نیاز اولیه تهیه نقشه طبقه‌بندی شده کاربری زمین در دوره‌های مختلف مورد بررسی می‌باشد. به این منظور می‌توان از داده‌های سازمان‌های مرتبط با کاربری زمین نقشه را تهیه کرد و یا با استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور و تهیه تصاویر ماهواره‌ای اقدام به طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه اقدام نمود (شمس‌الدینی، ۱۳۹۵: ۱۲۸). در این پژوهش به دلیل عدم دسترسی به نقشه‌های کاربری زمین و دقت پایین این نقشه‌ها از تصاویر ماهواره‌ای بهره گرفته شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست به منظور طبقه‌بندی کاربری زمین نیاز به پیش‌پردازش دارند. پیش‌پردازش شامل تصحیحات هندسی،

تصحیحات اتمسفریک و تصحیحات رادیو متریک درجهت کاهش خطاها می‌باشد. بررسی تصاویر مورد استفاده در این تحقیق نشان داد که این تصاویر تنها نیاز به تصحیح اتمسفری دارند و بدین منظور از روش کوئیک اتمسفریک استفاده شد. در روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، حداکثر شباهت و ماشین بردار پشتیبان در سالهای اخیر متداولتر از سایر روش‌ها بوده‌اند که در این میان ماشین بردار پشتیبان دقت بیشتری را نشان می‌دهند (اسماعیلی و شمس‌الدینی، ۱۳۹۸: ۱۲۵) به همین خاطر در این تحقیق از روش ماشین بردار پشتیبان به منظور انجام طبقه‌بندی و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده گردید. به منظور صحت‌سنجی نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی، صحت کلی و نیز ضریب کاپا برای این نقشه‌ها محاسبه گردید.

در فرآیند مدل‌سازی، ضریب تأثیر هر عامل بر تغییر نیاز به سنجش دارند. رگرسیون لجستیک، یک مدل برآورد تجربی است که ارتباط بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و یک متغیر وابسته طبقه‌بندی‌شده را ارزیابی می‌کند (Puertas et al, 2014: 420). از قابلیت‌های این مدل می‌توان به توانایی آن در به‌کارگیری متغیرهای مستقل زیاد در اجرای آن اشاره کرد. متغیر وابسته در این مدل ماهیت باینری (۰ و ۱) دارد و متغیرهای مستقل می‌توانند به‌طور پیوسته، یا باینری باشند. فرض پایه در این روش این است که متغیر وابسته مقادیر ۱ را به دست می‌آورد. عدد ۱ نشان دهنده وقوع یک رویداد و ارزش صفر نشان دهنده عدم وقوع رویداد است. در رگرسیون چندگانه و لجستیک ارتباط بین چند متغیر مستقل با یک متغیر وابسته سنجیده می‌شود. رگرسیون لجستیک نوع خاصی از رگرسیون‌های چندگانه است که در آن متغیر وابسته، گسسته است. وجه تمایز مدل لجستیکی رگرسیون با مدل خطی رگرسیون در این است که متغیر وابسته در رگرسیون لجستیک دوگانه است. اگر متغیر وابسته دارای ارزش دوتایی باشد، Y فقط ارزش صفر یا یک می‌گیرد که ارزش یک نشان‌دهنده وقوع رویداد و ارزش صفر نشان‌دهنده عدم وقوع رویداد است (محمودزاده و خوش‌روی، ۱۳۹۴: ۳۶) بنابراین معادله حاصل از رگرسیون لجستیک به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$\log\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا P_i احتمال برای رخداد کاربری نوع X_{i1} نشان‌دهنده به عوامل محرک است، n تعداد عوامل محرک است، β_n ضریب رگرسیون و β_0 ضریب ثابت می‌باشد.

خروجی مدل رگرسیون لجستیک نقشه پتانسیل انتقال کاربری‌ها و ضریب تأثیر هر عامل بر تغییر کاربری خواهد بود. نقشه پتانسیل انتقال، احتمال انتقال هر کاربری را در فرآیند مدل‌سازی به صورت فضایی نمایش می‌دهد. در مدل‌سازی کمی تغییرات کاربری زمین، زنجیره مارکوف مورد استفاده قرار گرفته است. مدل زنجیره مارکوف بر اساس پیشرفت سیستم فرآیند تصادفی مارکوف است که تغییرات از یک حالت به حالت دیگر را پیش‌بینی می‌کند (Al-sharif & Pradhan, 2014: 4295). مدل زنجیره مارکوف معمولاً برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییرات مربوط به ابعاد و روند کاربری زمین استفاده می‌شود. مدل مارکوف تغییر در کاربری زمین را توسط احتمالات انتقال منطقه را از یک وضعیت به وضعیت دیگر در طول یک دوره زمانی مشخص تجزیه و تحلیل می‌کند (Guan et al, 2011: 3763). علاوه بر این، از احتمال انتقال مناطق تولیدی می‌توان برای پیش‌بینی و کشف سناریوهای احتمالی آینده تغییر کاربری زمین و رشد شهری به کار برد (Hu et al, 2013: 96). به این ترتیب این مدل مؤثر و قدرتمند توانایی پیش‌بینی و تخمین کمی تغییرات را دارد. پیش‌بینی کاربری زمین آینده را می‌توان با استفاده از فرمول‌های احتمال شرطی محاسبه نمود:

$$A_{(t+1)} = B_{ij} \times A_t; B_{ij} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{n1} & B_{n2} & \dots & B_{nn} \end{bmatrix} \quad (0 \leq B_{ij} < 1; \sum_{j=1}^n B_{ij} = 1; i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{رابطه (۲)}$$

A_t کاربری زمین در زمان t ، A_{t+1} کاربری زمین در زمان $t+1$ و B_{ij} ماتریس احتمال انتقال می‌باشد. براین اساس می‌توان تغییرات مساحتی هر یک از کاربری‌های را در آینده به دست آورد. ماتریس مناطق انتقال جدولی است که مقدار پیکسل‌هایی را که از کاربری به کاربری دیگر قابل تغییر هستند، پیش‌بینی می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده (ماتریس‌ها) برای تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کمی کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفت و برای ورود به مدل رگرسیون لجستیک مقدار تخمین زده‌شده را تعیین می‌کند. زنجیره مارکوف یک مدل صریح مکانی نیست؛ بنابراین، این یک مدل مناسب برای برآورد محل تغییر نیست و به همین خاطر لازم است تا با سایر مدل‌های فضایی ترکیب شود (Han et al, 2015: 4265). این رویدادها را می‌توان با استفاده از مدل‌های خودکاره سلولی به‌طور مؤثر شبیه‌سازی کرد. مدل خودکاره سلولی یک مدل شبیه‌سازی شناخته شده است که در آن فضا و زمان گسسته است و تعامل به صورت محلی است. در حقیقت، در مدل خودکاره سلولی، فضا به شکل سلول‌های منظم جدا می‌شود و حالت هر سلول خاص، توسط حالت سلول خود و همچنین سلول‌های اطراف

آن در یک دوره زمانی گذشته از طریق مجموعه‌ای از قوانین گذار از پیش تعریف شده، تعیین می‌شود. با این حال، حالت‌های هر سلول را می‌توان هم‌زمان به‌روزرسانی کرد. عملکرد کلی سیستم به‌وسیله اقدامات متداول تمام قوانین تعریف شده محلی تعیین می‌شود (Arsanjani et al, 2012: 270).

هر یک از مدل‌های مذکور نیاز به اعتبارسنجی دارند که صحت مدل را در فرآیند شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه نشان دهند. در اعتبارسنجی مدل‌ها، دو معیار صحت کلی^۱ و ضریب کاپا^۲ در تحقیقات زیادی (Ku, 2016: 5) برای بیان صحت شبیه‌سازی استفاده شده‌اند. این معیارها بیان‌گر تطابق بین واقعیت و مدل شبیه‌سازی شده می‌باشند. از مزایای شاخص کاپا استفاده از تمام مقادیر ماتریس مقایسه جهت محاسبه صحت می‌باشد. روابط زیر نحوه به دست آوردن صحت کلی و شاخص کاپا از ماتریس مقایسه را نشان می‌دهد: (Pontius, 2000: 1012):

$$\text{Kappa} = \frac{\sum_{i=1}^c P_{ii} - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}}{1 - \sum_{i=1}^c P_{iT} \cdot P_{Ti}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

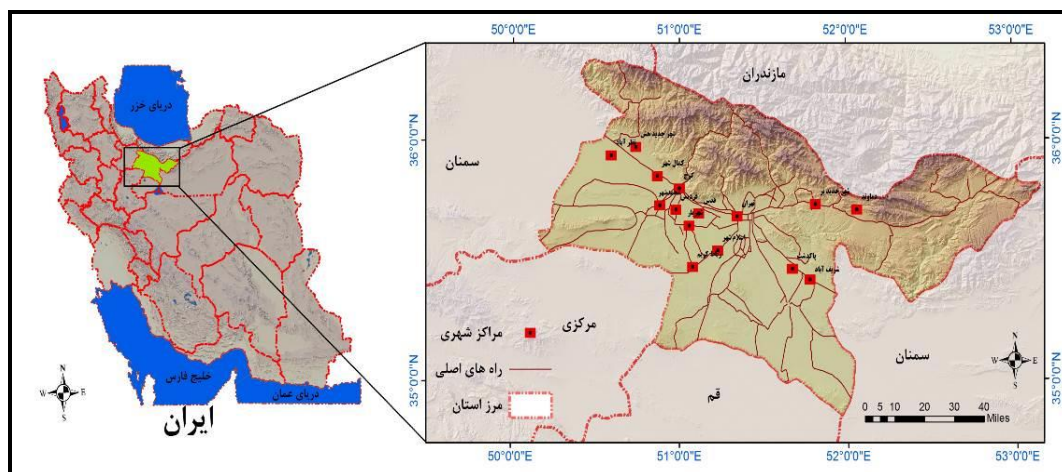
که $i=1, \dots, c$ نشان‌دهنده کاربری‌های موجود در منطقه و P_{ii} نشان‌دهنده پیکسل‌هایی از کاربری i در واقعیت که در مدل شبیه‌سازی شده نیز در کاربری i هستند و P_{iT} نشان‌دهنده پیکسل‌هایی از کاربری i در واقعیت که در مدل شبیه‌سازی شده در کاربری j قرار گرفتند و P_{Ti} نشان‌دهنده مجموع پیکسل‌های کلاس i در واقعیت و P_{Ti} نشان‌دهنده مجموع پیکسل‌های کلاس i در مدل شبیه‌سازی شده است. صحت کلی بین ۰ و ۱ متغیر است که هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد بیان‌گر تطابق بیشتر مدل با واقعیت است. شاخص کاپا کمتر از ۰/۴ بیان‌گر ضعف مدل و شاخص کاپا بالاتر از ۰/۸ بیان‌گر قدرت مدل در شبیه‌سازی می‌باشد (Pontius, 2000: 1012).

منطقه مورد مطالعه:

منطقه کلان‌شهری تهران دو استان البرز و تهران را شامل می‌شود در مرکز شمالی ایران واقع شده است (شکل ۳). این منطقه پرجمعیت‌ترین و مهم‌ترین منطقه اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی در ایران می‌باشد (Dadashpoor & Alidadi, 2017: 43) و با مساحتی بالغ بر ۱۸۸۱۳ کیلومتر مربع، در بین رشته‌های کوه البرز، در شمال و مناطق بیابانی، در جنوب قرار گرفته است (وزارت کشور، تقسیمات سیاسی اداری، ۱۳۹۳). در آخرین سرشماری کشور، این منطقه دارای جمعیت ۱۵۹۸۰۰۳۷ نفر بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). بیشترین جمعیت و مساحت شهری را نیز دو کلان‌شهر تهران با جمعیت ۸۶۹۳۷۰۶ نفر و کلان‌شهر کرج ۱۵۹۲۴۹۲ نفر در خود جای داده‌اند. منطقه کلان‌شهری تهران در دهه‌های گذشته رشد بالای شهرنشینی و به تبع آن تغییرات عمده کاربری زمین را تجربه کرده است (داداش‌پور و لواسانی، ۱۳۹۴: ۱۳۰). این امر ناشی از رشد طبیعی جمعیت، مهاجرت‌های روستا-شهری، ایجاد و توسعه صنایع بزرگ و به تبع آن جذب جمعیت، مرکزیت سیاسی و اداری کشور بوده است (Dadashpoor & Nateghi, 2017: 531). این تغییرات در مناطق جنوبی شهر تهران، زمین‌های بارز کشاورزی، در شمال، منابع طبیعی و در مناطق غربی و شرقی، محیط‌زیست را تهدید نموده (آمایش استان تهران، ۱۳۸۸) و شاهد کاهش مداوم کاربری‌های سبز به نفع کاربری‌های انسان‌ساخت بوده است. در منطقه کلان‌شهری و در اطراف کلان‌شهرهای تهران و کرج محدودیت‌های ناشی از رشد مناطق ساخته‌شده و تراکم جمعیتی، در جنوب، نواحی خشک و شورزار، در شمال، توپوگرافی و فرسایش خاک، سه محدودیت عمده برای کاربری‌های بارز محسوب می‌شوند.

¹. Overall accuracy

². Kappa index

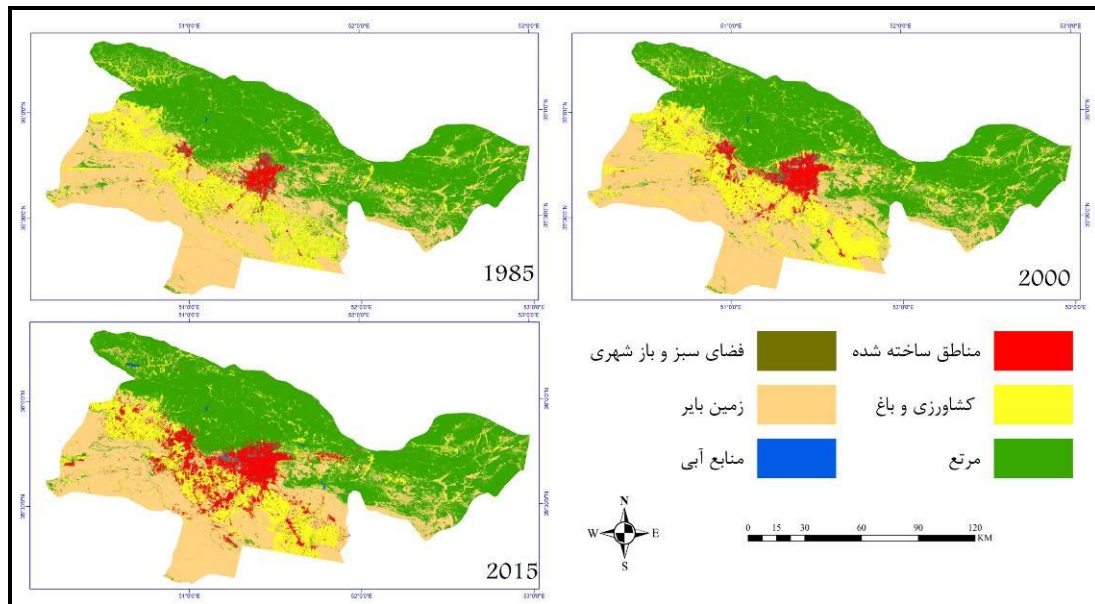


شکل ۳- موقعیت منطقه کلان‌شهری تهران - (منبع نویسندگان بر اساس تقسیمات سیاسی وزارت کشور، ۱۳۹۳).

یافته‌های تحقیق:

با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در دوره ۱۹۸۵ - ۲۰۱۵ تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران مشخص شد (جدول ۳ و شکل ۴). در منطقه کلان‌شهری تهران عمدتاً مراتع که سطح شمالی و شرقی منطقه را در بر می‌گیرند، بیشترین مساحت را دارا هستند. مناطق ساخته‌شده در دو لکه بزرگ شهری تهران و کرج مشاهده می‌شود. در سال ۱۹۸۵ مساحت مناطق ساخته‌شده ۳۵۳ کیلومترمربع، در سال ۲۰۰۰ به ۶۴۵ کیلومترمربع و در سال ۲۰۱۵ به ۱۳۲۷ کیلومترمربع رسیده است. سهم مساحتی مناطق ساخته‌شده از ۲/۱ درصد به ۷/۸۸ درصد رسیده است. در بعد فضایی تغییرات مناطق ساخته‌شده، شاهد افزایش مساحتی در پیوستگی با مناطق موجود و در اطراف کلان‌شهرها و خصوصاً در اطراف دو کلان‌شهر تهران و کرج بوده است. این رشد در اطراف محورهای اصلی کرج، شهریار، ورامین، پاکدشت و در سال ۲۰۱۵ نیز در محور پردیس رخ داده است. در این دوره سی ساله کاربری کشاورزی ۱/۴۶ درصد کاهش مساحتی را نشان می‌دهد. این مناطق که در جنوب منطقه کلان‌شهری است با تعرض مناطق شهری و صنایع در حال کاهش می‌باشند. مساحت مراتع نیز با ۲ درصد کاهش در منطقه مواجه شده‌اند. کاربری مرتع ۴۷/۴۳ درصد از کل منطقه را در سال ۱۹۸۵ پوشش داده است، در حالی که در سال ۲۰۱۵ به ۴۵/۴۴ درصد کل منطقه کلان‌شهری تقلیل یافته است. با بررسی تغییرات کمی و فضایی کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران مشخص گردید که کاربری‌های ساخته‌شده با رشد و گسترش، به مناطق سبز آسیب رسانده و در حال تخریب مناطق زیست‌محیطی و اکولوژیکی در منطقه می‌باشند.

پس از استخراج کاربری زمین به روش ماشین بردار پشتیبان، نتایج حاصل صحت سنجی شدند. برای این کار ۴۱۷ نقطه به‌صورت تصادفی بر روی تصاویر ایجاد شد و کاربری این نقاط توسط بازبینی میدانی، تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری مشخص شد. در طبقه‌بندی ۱۹۸۵ صحت کلی ۸۶ درصد و ضریب کاپا ۸۱ درصد، سال ۲۰۰۰، صحت کلی ۹۰ درصد و ضریب کاپا ۸۶ درصد و در سال ۲۰۱۵، صحت کلی ۸۸ درصد و ضریب کاپا ۸۵ درصد به دست آمد.

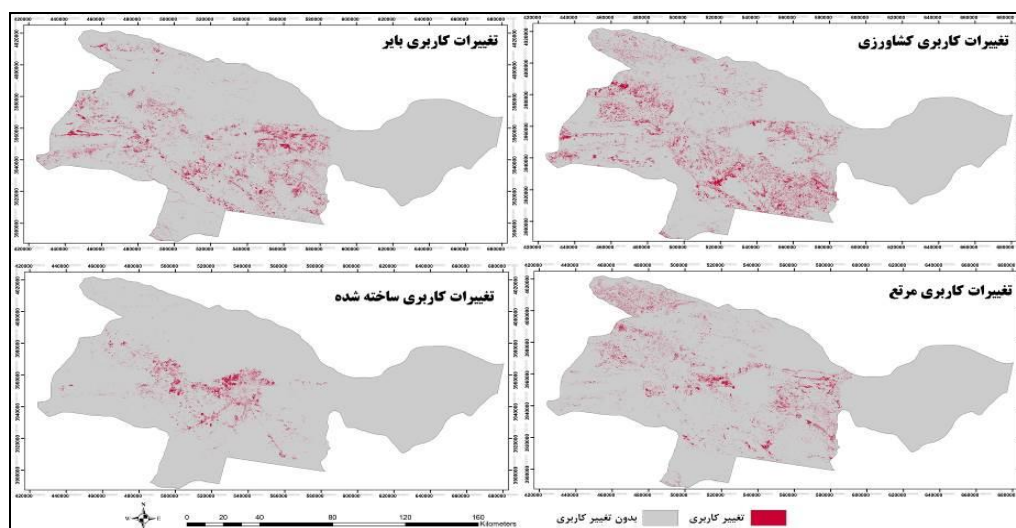


جدول ۳- تغییرات مساحتی کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران در سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵

۲۰۱۵		۲۰۰۰		۱۹۸۵		کاربری
درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	
۷,۸۸	۱۳۲۷,۶۰	۳,۸۳	۶۴۴,۹۴	۲,۱	۳۲,۳۵۳	ساخته شده
۱۴,۸۲	۲۴۹۷,۴۵	۱۸,۷۴	۳۱۱۳,۴۵	۱۶,۲۸	۲۷۴۴,۴۷	کشاورزی
۰,۵۴	۹۱,۶۴	۰,۴۹	۸۲,۱۶	۰,۲۹	۴۸,۱۶	فضای باز و سبز شهری
۴۵,۴۳	۷۶۵۷,۴۰	۴۵,۴۲	۷۶۷۳,۷۳	۴۷,۴۴	۷۹۹۷,۰۶	مراتع
۳۱,۲۳	۵۲۶۵,۰۹	۳۱,۷۶	۵۳۳۷,۷۳	۳۳,۸۶	۵۷۰۷,۵۰	بایر
۰,۱	۱۷,۵۶	۰,۰۳	۴,۶۴	۰,۰۴	۶,۱۸	آب
۱۰۰	۱۶۸۵۶,۷۳	۱۰۰	۱۶۸۵۶,۷۳	۱۰۰	۱۶۸۵۶,۷۳	مجموع

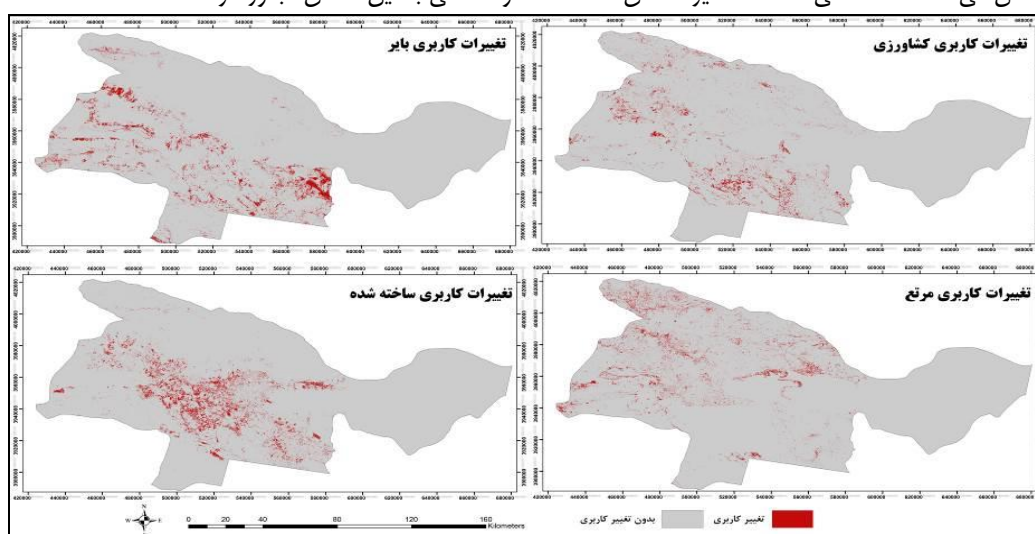
منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۷

براساس نقشه کاربری سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵، تغییرات هر یک از کاربری‌ها در هر دوره حاصل شد. این تغییرات به وسیله نقشه باینری صفر و ۱ مشخص می‌شود؛ به این صورت که ۱ نشان‌دهنده تغییر این کاربری و صفر نشان‌دهنده عدم تغییر است. در شکل ۵ تغییرات رخ داده شده در بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ مشخص شده است. در نقشه‌های تغییرات کاربری مشاهده می‌شود که در بخش شرقی منطقه کلان‌شهری تهران تغییرات به صورت محدود اتفاق افتاده و این مناطق تغییرات کمی را داشته است. تغییرات کاربری ها به ساخته شده در اطراف کلان‌شهر تهران و محور غربی و جنوب غربی اتفاق افتاده است. تغییرات کاربری کشاورزی در جنوب شرقی تا جنوب غربی منطقه و بخش غربی کلان‌شهر کرج است. کاربری مرتع در غرب تهران و شمال غربی منطقه بیشترین تغییر را داشته‌اند. در نقشه‌های تغییر کاربری بیشترین تبدیل در اطراف کلان‌شهرها بوده است که می‌تواند ناشی از گسترش مناطق ساخته شده باشد.



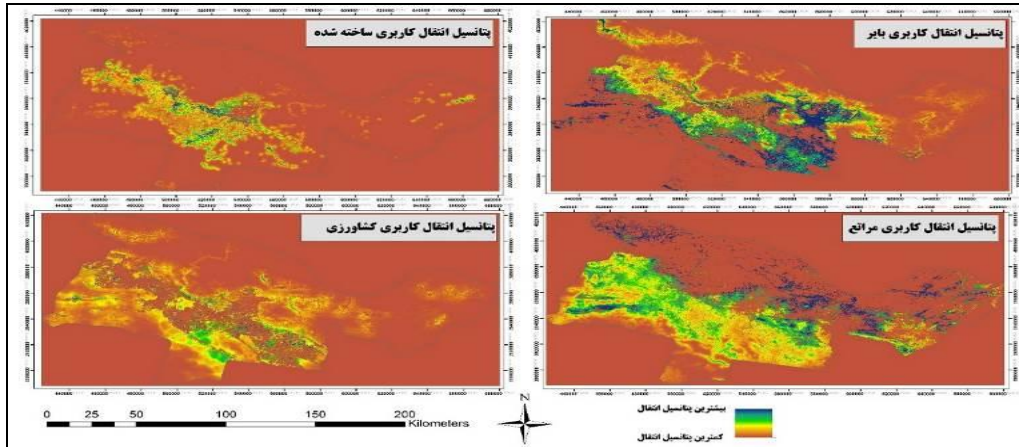
شکل ۵- تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان شهری تهران بین سال های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰ (منبع:مطالعات نویسندگان).

تغییرات کاربری در بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ نشان می دهد(شکل ۶) که کاربری ساخته شده در جنوب و جنوب غربی اتفاق افتاده است که در این دوره بخش های شمال شرقی و جنوب شرقی کلان شهر تهران به عنوان محور های گسترش مناطق ساخته شده، نیز اضافه گردیده است. در نتیجه محورهای چهارگانه توسعه منطقه کلان شهری، محور کرج، محور ورامین، محور پردیس و محور پاکدشت می باشد. کاربری بایر نیز در جنوب منطقه کلان شهری تغییر وضعیت پیدا کرده است. اراضی کشاورزی بیشترین تغییراتش در منطقه ورامین و غرب کرج بوده است که نشان دهنده ی تخریب تدریجی این مناطق با ارزش می باشد. کاربری مرتع در شمال منطقه و شمال غربی تغییرات را نشان می دهد که مناطقی است که اخیرا مناطق ساخته شده و خدماتی به این مناطق تجاوز کرده اند.



شکل ۶- تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان شهری تهران بین سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ (منبع:مطالعات نویسندگان)

در راستای مدل سازی و پیش بینی تغییرات هر کاربری، نقشه پتانسیل انتقال آن کاربری مورد نیاز می باشد. با توجه به این که در این تحقیق تعداد ۴ کاربری به عنوان کاربری تغییرپذیر انتخاب گردید، بنابراین تعداد ۴ پتانسیل انتقال برای پیش بینی تغییرات کل نقشه نیاز است. در این تحقیق رگرسیون لجستیک ۴ بار (برای هر کاربری یک بار) به منظور پیش بینی نقشه های پتانسیل انتقال کاربری ها اجرا گردید و نقشه های انتقال ایجاد شده در شکل ۷ نشان داده شده اند.



شکل ۷- نقشه پتانسیل انتقال کاربری‌ها - (منبع: مطالعات نویسندگان)

نقشه پتانسیل انتقال در واقع نقشه‌ای است که ارزش‌گریدهای آن بین ۰ و ۱ است و هر چه گریدی بیشتر باشد بیانگر این است که آن گرید تمایل بیشتری به تغییر کاربری دارد. در این مرحله برای تولید نقشه‌های پتانسیل انتقال از روش رگرسیون لجستیک استفاده شده است. رگرسیون لجستیک در مرحله آموزش، با استفاده از نقشه تغییر هر کاربری از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ به صورت بولین (شکل ۵ و ۶)، اقدام به تعیین ضریب تأثیر هر یک از عوامل مستقل در تغییر کاربری می‌نماید. سپس با استفاده از این ضرایب و نقشه‌های عوامل سال ۲۰۰۰ و اجرای رگرسیون لجستیک به صورت روبه‌جلو، نقشه پتانسیل انتقال هر کاربری برای سال ۲۰۱۵ تولید می‌گردد. در نقشه‌های پتانسیل انتقال کاربری‌ها، مناطق بایر بیشترین پتانسیل انتقال را نشان می‌دهد. مناطق جنوب شرقی و شرق در کاربری بایر بیشترین پتانسیل را برای تغییر دارند. در غرب کلان‌شهر تهران، محور تهران کرج، محور اسلام‌شهر و بخش غربی کرج بیشترین پتانسیل انتقال کاربری بایر به ساخته شده را دارا هستند. این مناطق در آینده می‌توانند به عنوان مناطق مستعد برای گسترش مناطق ساخته شده باشند. این مناطق به دلیل شیب مناسب و نزدیکی به راه و مناطق ساخته شده دارای قابلیت گسترش می‌باشند. در کاربری مرتع در بخش‌های شمالی که مناطق پوشیده از مرتع است، بیشترین پتانسیل انتقال مشاهده می‌شود. مناطق جنوبی کمترین پتانسیل را برای تبدیل به مرتع دارند. این مناطق عمدتاً دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک و بیابانی هستند و قابلیت گسترش پوشش گیاهی را ندارند و در نقشه‌های پتانسیل انتقال نیز این امر مشخص می‌باشد.

در تغییرات کاربری زمین نیروهای محرک بیشترین نقش را در تغییرات کاربری در آینده دارند. ضریب تأثیر هر یک از این متغیرها با استفاده از رگرسیون لجستیک در جدول ۴ مشخص شده است. در تغییر کاربری کشاورزی، عوامل محرک شامل ارتفاع، فاصله از مراکز جمعیتی، فاصله از مناطق ساخته شده و شیب زمین به ترتیب بیشترین تأثیرگذاری را داشته‌اند. تخریب مناطق کشاورزی در مناطق کلان‌شهری عمدتاً ناشی از گسترش مناطق ساخته شده می‌باشد که در این پژوهش هم تأثیر بالای مراکز جمعیتی و مناطق ساخته شده بر این مناطق مشاهده می‌شود. دو عامل طبیعی (شیب و ارتفاع) در توسعه مناطق کشاورزی همواره تأثیرگذار بوده‌اند، در منطقه کلان‌شهری تهران نیز در بخش جنوبی و مرکزی به دلیل ارتفاع مناسب و شیب مناسب برای توسعه، مکان بهینه‌ای به منظور توسعه کشاورزی محسوب می‌شوند. در تغییرات کاربری بایر فاصله از مناطق بایر، ارتفاع و فاصله از مناطق ساخته شده تأثیرگذاری بیشتری را داشته‌اند. این مناطق نیز با افزایش مساحتی مناطق ساخته شده در ارتباط مستقیم بوده‌اند و با گسترش مناطق سکونت، اراضی بایر تبدیل به مناطق مسکونی و صنعتی شده‌اند. در کاربری ساخته شده، ضریب فاصله از مناطق ساخته شده بیشترین تأثیرگذاری را داشته است. این عامل در ضریب‌های جدول رگرسیون لجستیک بیشترین عدد را نشان می‌دهد. مناطق ساخته شده عموماً به دلیل رشد پیوسته با مناطق موجود، در اطراف کلان‌شهرها و شهرها گسترش یافته‌اند. بنابراین هرچه کاربری‌ها به مناطق ساخته شده نزدیک باشند احتمال تغییر در آن‌ها افزایش خواهد یافت. در عوامل طبیعی شیب زمین عامل محدودکننده توسعه مناطق ساخته شده است و با ضریب $5/12$ ، بر تغییر مناطق ساخته شده تأثیرگذار است. موقعیت راه‌های اصلی به عنوان سومین عامل محرک مؤثر بر تغییر می‌باشد. مناطق نزدیک‌تر به شبکه ارتباطی، پتانسیل بیشتری را برای تغییر به مناطق ساخته شده دارا می‌باشند. در تغییرات پوشش مرتعی منطقه، فاصله از مراتع موجود و رودخانه‌های اصلی که در بخش‌های شمالی منطقه جریان دارند و همچنین مناطق ساخته شده که باعث تخریب مراتع شده‌اند، بیشترین تأثیرگذاری بر تغییر را داشته‌اند.

جدول ۴- ضریب تأثیر هر یک از عوامل محرک بر تغییر کاربری زمین

متغیر/کاربری	کاربری کشاورزی	کاربری بایر	کاربری ساخته شده	کاربری مرتع
فاصله از کاربری کشاورزی	۰,۹۵	۰,۷۸	۱,۱۶	۰,۲۷
فاصله از زمین‌های بایر	-۱,۹۷	۶,۵۸	-۰,۰۱	-۰,۱۲
فاصله از مناطق ساخته شده	۲,۸۵	۲,۵۰	۲۳,۶۸	۲,۷۵
فاصله از مراکز جمعیتی	۵,۰۶	-۱,۵۷	۱,۰۵	۰,۸۴
فاصله از راه‌های اصلی	-۰,۶۴	۰,۳۸	۳,۱	-۰,۳۸
فاصله از راه آهن	-۰,۰۲	-۲,۷۹	۰,۷۵	-۰,۸
فاصله از مراتع	-۳,۱۵	۰,۴۷	۰,۹۱	۶,۶۲
فاصله از رودخانه	-۰,۹۲	-۰,۲۱	۰,۳۷	۲,۲۹
ارتفاع	۸,۸۶	۳,۸	-۲,۸۹	-۲,۳۵
شیب	۱,۶۸	۰,۵۵	۵,۱۲	-۳,۱۲
ضریب ثابت	-۱۳,۵۳۲	-۱۷,۴۵	-۱۴,۷۲	-۸,۸۷

منبع: مطالعات نویسنده‌گان، ۱۳۹۷

در این مرحله صحت نقشه‌های پیش‌بینی شده توسط رگرسیون لجستیک، بررسی می‌گردد. اعتبار سنجی به روش ROC انجام شد. معیار ROC عددی بین ۰ تا ۱ را نشان می‌دهد. ارزش ۱ نشان‌دهنده توافق کامل مکانی بین نقشه شبیه‌سازی شده و نقشه مرجع است. ارزش ۰/۵ بیان‌کننده تصادفی بودن مکانی کاربری‌ها است و نشان می‌دهد پتانسیل انتقال با این روش به صورت فضایی تصادفی ایجاد شده است. در رگرسیون لجستیک بر طبق جدول ۵ بیشترین دقت در کاربری ساخته شده می‌باشد.

جدول ۵- ضریب ROC نقشه‌های پتانسیل انتقال به روش رگرسیون لجستیک

کاربری	کشاورزی	بایر	ساخته شده	مرتع
ROC	۰/۹۲۴۸	۰/۹۵۶۳	۰/۹۶۲۸	۰/۹۳۵۲

منبع: مطالعات نویسنده‌گان، ۱۳۹۷

با توجه به ضرایب ROC در جدول ۵، دقت مدل‌سازی زمین‌های کشاورزی از سه کاربری دیگر تا اندازه‌ای کمتر است که با توجه به این‌که این کاربری در طول سال در حال تغییر است این اتفاق قابل توجیه می‌باشد؛ و همچنین از دیگر دلایل دستیابی به این نتیجه را می‌توان دقت پایین طبقه‌بندی این کاربری بیان نمود. کاربری ساخته شده دارای دقت بالاتری نسبت به سایر کاربری‌ها است که این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که در این کاربری مناطق جدید طبق اصولی خاص به وجود می‌آیند ولی در سایر کاربری‌ها برای به وجود آمدن عوارضی جدید اصول خاصی وجود ندارد.

داده خروجی مدل رگرسیون لجستیک یک سطح احتمالی است که وقوع متغیر وابسته که در اینجا ۴ کاربری مدنظر است را نشان می‌دهد (شکل ۷). سطح احتمالات نشان می‌دهد که هر سلول با یک مقدار خاص از احتمال (۱ = احتمال بالا، ۰ = احتمال کم) توسعه می‌یابد. با این حال، این روش نمی‌تواند میزان و مکان تغییر را مشخص کند، اما می‌تواند با روش‌های دیگر برای اندازه‌گیری و تخصیص تغییرات با یکدیگر ترکیب شوند. از این رو، این نقشه احتمالی با مدل زنجیره مارکوف برای اندازه‌گیری میزان تغییرات و خودکاره سلولی برای تخصیص فضایی تغییرات پیش‌بینی شده، ترکیب شد. پس از آن، مقدار به دست آمده از تغییر در کل نقشه اختصاص خواهد یافت. فرایند تخصیص از حداکثر مقدار احتمال به پایین شروع می‌شود. بر این اساس نقشه کاربری زمین سال ۲۰۱۵ مدل‌سازی شد. به منظور اعتبار سنجی مدل نقشه طبقه‌بندی شده کاربری ۲۰۱۵ و نقشه مدل‌سازی شده ۲۰۱۵ با هم مقایسه شدند. بر اساس (Pontius & Millones, 2011: 4410)، شاخص کاپا مشخص‌کننده اعتبار مدل‌سازی است. ضریب کاپا در این مقایسه برابر با ۰/۸۴۵ بود. این درصد نشان‌دهنده دقت بالای مدل‌سازی می‌باشد (Landis & Koch, 1977: 165). به همین خاطر با استفاده از مدل بدست آمده می‌توان برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ با اتکا به این روش مدل‌سازی را انجام داد. به این منظور مدل زنجیره مارکوف با هدف اندازه‌گیری میزان تغییرات با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده در دوره‌های زمانی متوالی اجرا شد. نتایج تولیدی، ماتریس احتمالی تغییرات از یک نوع کاربری به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. (جدول ۶) بر این اساس در سال ۲۰۳۰، ۹۸ درصد مناطق ساخته شده باقی خواهند ماند و به احتمال ۲ درصد احتمال تغییر به کاربری‌های دیگر را دارند. در کاربری کشاورزی به احتمال ۷۶ درصد باقی خواهند ماند و بیشترین تغییر این کاربری با احتمال ۹/۶ درصد به کاربری ساخته شده خواهد بود. کاربری فضای سبز و باز شهری به احتمال ۳۹/۳۳ درصد به کاربری ساخته شده تبدیل خواهند شد. مراتع به

احتمال ۹۳/۲۷ درصد حفظ می‌شوند. مناطق بایر با احتمال ۷/۳ درصد و ۶/۹ درصد به ترتیب به کاربری‌های ساخته‌شده و کشاورزی تبدیل می‌شوند. در سال ۲۰۴۵ نیز که بر اساس تغییرات ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ به دست آمده است؛ بیشترین احتمال تغییر را کاربری کشاورزی و فضای سبز و باز به کاربری ساخته‌شده دارند. در این دوره همچنین کاربری‌های مرتع و بایر به ترتیب با ۸۸ درصد و ۷۹ درصد حفظ خواهند شد، اما به نسبت دوره قبل این مقدار کمتر می‌شود.

جدول ۶- ماتریس احتمال انتقال مارکوف در بازه‌های زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۰، ۲۰۰۰-۲۰۱۵ و ۲۰۱۵-۱۹۸۵

آبی	باير	مراتع	فضای سبز و باز شهری	کشاورزی	ساخته شده	
۰	۰,۰۲	۰,۰۰۲	۰,۰۰۵	۰,۰۰۷	۰,۹۶	احتمال انتقال ساخته شده
۰	۰,۰۹	۰,۰۶۶	۰,۰۰۴	۰,۸۰	۰,۰۲	احتمال انتقال کشاورزی
۰	۰,۰۱۲	۰,۰۰۳	۰,۴۳	۰,۱۰	۰,۳۲	احتمال انتقال فضای سبز و باز شهری
۰	۰,۰۴	۰,۸۹	۰,۰۰۲	۰,۰۵	۰,۰۰۵	احتمال انتقال مراتع
۰	۰,۱۸	۰,۰۶	۰,۰۴۳	۰,۰۸	۰,۰۳	احتمال انتقال باير
۰,۷۹	۰,۰۰۷	۰,۲۴	۰	۰,۰۱۴	۰,۰۰۰۱	احتمال انتقال آبی
۰	۰,۰۰۴	۰,۰۰۳	۰,۰۰۸	۰,۰۰۳	۰,۹۸	احتمال انتقال ساخته شده
۰,۰۰۲	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۰۵	۰,۰۷۶	۰,۰۹	احتمال انتقال کشاورزی
۰	۰,۰۷	۰,۰۴	۰,۴۵	۰,۰۲	۰,۳۹	احتمال انتقال فضای سبز و باز شهری
۰,۰۰۷	۰,۰۳	۰,۹۳	۰,۰۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	احتمال انتقال مراتع
۰,۰۰۳	۰,۸۶	۰,۰۳۴	۰,۰۰۳	۰,۰۴	۰,۰۴	احتمال انتقال باير
۰,۹۰	۰	۰,۰۹	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۷	احتمال انتقال آبی
۰	۰,۰۱۴	۰,۰۰۷	۰,۰۰۴	۰,۰۰۴	۰,۹۷	احتمال انتقال ساخته شده
۰,۰۰۲	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۰۸	۰,۷۴	۰,۱۳	احتمال انتقال کشاورزی
۰	۰,۰۱۹	۰,۰۷	۰,۳۵۳	۰,۰۳	۰,۵۲	احتمال انتقال فضای سبز و باز شهری
۰,۰۰۷	۰,۰۴	۰,۸۸	۰,۰۰۳	۰,۰۴۲	۰,۰۲	احتمال انتقال مراتع
۰,۰۰۳	۰,۷۹	۰,۰۵	۰,۰۰۴	۰,۰۶	۰,۰۷	احتمال انتقال باير
۰,۷۵	۰	۰,۲۱	۰,۰۰۹	۰,۰۰۳	۰,۰۲	احتمال انتقال آبی

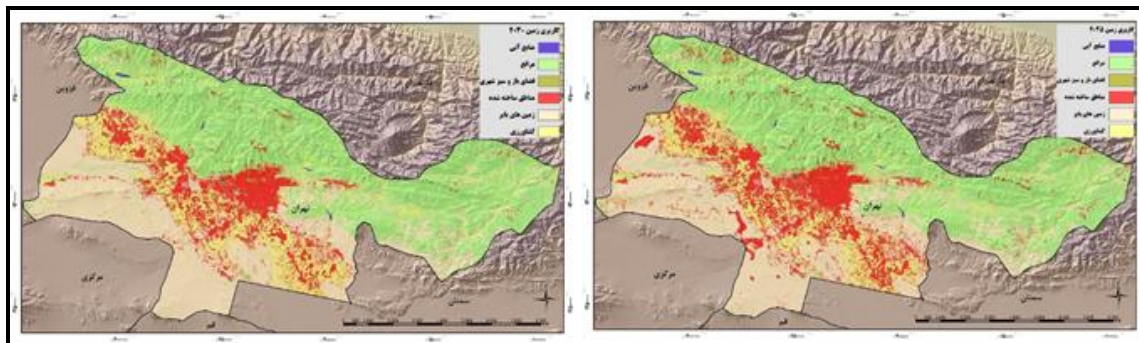
منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۷.

احتمال تبدیل هر طبقه کاربری زمین به دیگر کاربری توسط مدل MC در جدول ۶ نشان داده شده است. این ماتریس بیشتر برای تعیین مقدار تغییر برای هر کاربری استفاده می‌شود. علاوه بر این، مقدار تخمینی تغییر از هر کاربری به سایر انواع کاربری‌های موجود برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷- ماتریس انتقال مساحت مارکوف در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ (هکتار)

آبی	باير	مراتع	فضای سبز و باز شهری	کشاورزی	ساخته شده	کاربری زمین
۳۳	۶۸۰۶	۵۴۶۴	۱۱۹۲۱	۴۵۱۶	۱۴۴۸۱۱۴	ساخته شده
۵۸۷۰	۳۶۴۸۴۲	۲۷۴۰۷۰	۱۵۱۹۲	۱۸۴۸۰۸۹	۲۶۸۲۸۰	کشاورزی
۰	۷۶۰۳	۴۸۸۸	۴۶۶۱۸	۲۸۰۰	۴۰۱۳۷	فضای سبز و باز شهری
۵۵۹۲	۲۵۵۳۹۰	۷۹۳۹۲۷۷	۱۳۷۸۳	۱۹۰۷۱۵	۱۰۷۰۶۰	مراتع
۱۹۰۵	۵۰۶۱۴۸۵	۲۰۳۳۵۳	۲۱۴۷۰	۲۷۲۸۴۴	۲۹۱۵۰۷	باير
۱۷۵۷۴	۰	۱۷۷۲	۲۶	۱۱	۱۳۶	آبی
۴۱	۲۱۱۲۹	۸۴۳۵	۵۹۱۱	۶۱۶۳	۱۴۳۵۱۵۷	ساخته شده
۵۷۸۲	۳۲۴۲۳۸	۲۶۰۷۳۶	۲۳۱۷۱	۱۷۸۲۸۲۲	۳۷۹۵۹۱	کشاورزی
۰	۱۹۹۰	۷۲۴۸	۳۶۰۲۱	۳۲۸۱	۵۳۵۰۵	فضای سبز و باز شهری
۵۷۷۳	۴۲۰۹۰۲	۷۵۲۲۶۴۴	۲۹۷۱۳	۲۵۷۲۲۸	۱۷۵۵۵۶	مراتع
۱۷۶۲	۴۶۵۸۱۳۸	۳۳۳۱۵۷	۲۳۱۳۱	۴۰۶۶۱۴	۴۲۹۸۲۵	باير
۱۴۸۱۲	۰	۴۱۴۲	۱۷	۶	۵۴۲	آبی

در این مرحله با به دست آوردن نقشه‌های پتانسیل انتقال و پتانسیل مساحت انتقال، اقدام به شبیه‌سازی با استفاده از روش خودکاره سلولی شد. در اینجا با پایه قرار دادن کاربری زمین در سال ۲۰۱۵ و واردکردن نقشه‌های پتانسیل انتقال، کاربری زمین برای دو سال ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ به دست آمد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در سال ۲۰۳۰ افزایش مناطق ساخته‌شده و به طبع آن مناطق کشاورزی و بایر در اطراف شهر تهران رخ خواهد داد. رشد مناطق ساخته‌شده عمدتاً در محور غربی تهران، محور جنوب شرقی (ورامین) و جنوب تهران است. تغییرات در مناطق صنعتی و دارای زیرساخت‌های ارتباطی بیشتر دیده می‌شود و نشان از تأثیرگذاری این عوامل می‌باشد.



شکل ۸- نقشه‌های کاربری زمین شبیه‌سازی‌شده در منطقه کلان‌شهری تهران در سال‌های ۲۰۴۵ (راست) و ۲۰۳۰ (چپ) با ترکیب روش‌های MC, LR و CA - (منبع: مطالعات نویسندگان)

در سال ۲۰۴۵ بر اساس نقشه شبیه‌سازی‌شده مساحت مناطق ساخته‌شده روندی افزایشی را ادامه خواهد داد و ۲۳ درصد از مساحت منطقه کلان‌شهری را مناطق ساخته‌شده در برمی‌گیرند و این خود باعث نابودی مناطق کشاورزی جنوب شهر تهران و حتی مراتع در شمال شرقی کلان‌شهر تهران که شهرهای پردیس و بومهن و رودهن واقع هستند نیز می‌شود. مناطق بایر جنوب شرقی تهران و غرب تهران نیز مورد تهدید مناطق ساخته‌شده هستند.

بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش نخست تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران در گذشته شناسایی شد؛ که مناطق ساخته‌شده در دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ گسترش چشم‌گیری را داشته است. این رشد را می‌توان ناشی از رشد فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی در منطقه کلان‌شهری تهران و به طبع آن جذب جمعیتی آن دانست که با نیاز این جمعیت به مسکن، مناطق ساخته‌شده روندی افزایشی را طی کرده است. گسترش مناطق ساخته‌شده به منظور تأمین ناحیه‌ی موردنیاز رشد، به مناطق سبز و باارزش زیست‌محیطی تعرض نموده است و این کاربری‌ها تخریب شده‌اند. بنابراین عامل اصلی کاهش کاربری‌های طبیعی منطقه، افزایش کاربری‌های مسکونی و صنعتی بوده است. در تحلیل‌های فضایی همان‌طور که در مطالعات انجام‌گرفته در منطقه کلان‌شهری تهران نشان داده شده است (Arsanjani et al, 2012; عبدی دانشپور و تاراتاش، ۱۳۹۷؛ کاویانی و همکاران، ۱۳۹۴). ابتدا گسترش مناطق ساخته‌شده در اطراف شهرهای تهران و کرج بوده است و سپس به‌صورت گسترش باریکه‌ای و جهنده در جنوب غرب و غرب کلان‌شهر تهران ادامه پیدا نموده است. در دهه گذشته نیز علاوه بر اینکه در مناطق مذکور گسترش شهری ادامه یافته است، مناطق جنوب شرقی و شرقی در محورهای ورامین و پاکدشت و پردیس نیز افزایش مناطق ساخته‌شده را داشته‌اند. روند گسترش همان‌طور که در تحلیل‌های فضایی نیز مشخص می‌باشد در اطراف شبکه‌های ارتباطی اصلی بوده و مناطق مسکونی و صنعتی در مکانی با بیشترین دسترسی به شبکه ارتباطی گسترش یافته‌اند. در تحلیل‌های رگرسیون نیز نتایج حاکی از تأثیر بالای شبکه ارتباطی در تغییر کاربری زمین می‌باشد.

در بخش دوم این تحقیق تأثیر هر عامل در تغییر کاربری مدنظر بود. در تغییر کاربری کشاورزی بیشترین تأثیر را ارتفاع، مراکز جمعیتی، شیب و مناطق ساخته‌شده داشته‌اند. در تعیین زمین‌های کشاورزی عمدتاً عوامل طبیعی مانند شیب و ارتفاع مؤثر می‌باشند به این صورت که در مناطق با ارتفاع بالا و شیب بالا امکان کشاورزی وجود ندارد. این موضوع در نتایج رگرسیون نیز نشان داده شد. همچنین نقش مراکز جمعیتی و مناطق ساخته‌شده به‌عنوان عوامل انسانی تأثیرگذار بر تخریب مناطق کشاورزی مشهود است. از سویی با افزایش جمعیت نیاز به تولید غذا و امنیت غذایی مطرح خواهد شد و از سوی دیگر نیاز به مناطق ساخته‌شده در منطقه کلان‌شهری تهران شاهد بوده‌ایم که نقش افزایش مناطق ساخته‌شده شاخص‌تر بوده است و زمین‌های کشاورزی که بخشی از نیازهای غذایی را برطرف می‌کنند، کاهش مساحتی دارند. کاربری ساخته‌شده که یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر تغییر دیگر کاربری‌ها بوده است، به صورت پیوسته

گسترش یافته است و در نتیجه بیشترین تأثیر را نزدیکی به مناطق ساخته شده موجود بر تغییر کاربری‌ها داشته است. همچنین عامل فاصله از راه اصلی از عوامل دیگر تأثیرگذار بر تغییر مناطق ساخته شده بوده است. مسیر گسترش مناطق مسکونی و صنعتی در مناطقی است که دارای زیرساخت‌های طبیعی و مصنوعی بالفعل در توسعه هستند و به همین دلیل در مناطق کلان‌شهری، مناطق ساخته شده در نواحی دارای زیرساخت‌های مانند شبکه ارتباطی، خدمات و غیره توسعه می‌یابند. شیب نیز که در فرایند توسعه مسکونی یکی از عوامل محدودکننده محسوب می‌شود در نتایج این پژوهش نشان داده شد که عاملی تأثیرگذار بر تغییرات کاربری ساخته شده می‌باشد. در مطالعه‌ای که در منطقه شهری تهران انجام گرفته (Arsanjani et al., 2012: 270)، عوامل فاصله تا کشاورزی، فاصله تا ساخته شده، فاصله تا پارک و فاصله از فضای باز بیشترین تأثیرگذاری را داشته است که نشان می‌دهد مقیاس فضایی که مطالعات در آن انجام می‌گیرند بر نتایج تأثیرگذار است به این صورت که در مقیاس‌هایی که در سطح خرد انجام شده عوامل انسانی و مصنوعی بیشترین تأثیرگذاری را نشان می‌دهد و هر مقدار که مقیاس کلان‌تر شده و بحث منطقه‌ای می‌شود، نقش عوامل طبیعی بارزتر می‌شود، همان‌طور که در منطقه کلان‌شهری پکن (Han et al, 2015: 4268) بیشترین تأثیر را ارتفاع، فاصله از رودخانه و نرخ شهرنشینی بر تغییر کاربری ساخته شده گذاشته‌اند.

مدل‌سازی تغییرات آبی کاربری زمین در مناطق کلان‌شهری تهران نشان داد که روند مخرب و تهدیدات زیست‌محیطی موجود در منطقه ادامه خواهد داشت. منطقه کلان‌شهری تهران نقش مرکزیت سیاسی و قطب خدماتی کشور است و تاکنون بیشتر سیاست‌های تمرکززدایی در کشور نتیجه مناسبی را نداشته است. در نتیجه جذب جمعیت و به طبع آن گسترش مناطق مسکونی و صنعتی و تخریب مناطق منابع طبیعی در منطقه را به دنبال داشته است. براین اساس مدیران و برنامه‌ریزان منطقه‌ای به منظور جلوگیری از نابودی زیست‌محیطی و گسترش فزاینده مناطق ساخته در منطقه کلان‌شهری راهبردها و سیاست‌های جامع و یکپارچه‌ای را اجرایی کنند. در این بررسی، مدل رگرسیون لجستیک با ترکیب روش‌های زنجیره مارکوف و خودکار سلولی به منظور توسعه یک مدل جامع و مؤثر در فرایند مدل‌سازی کاربری زمین در مناطق کلان‌شهری ترکیب شد. مدل رگرسیون لجستیک قابلیت بالایی برای توضیح رابطه‌ی بین تغییر کاربری زمین و عوامل محرک را دارد و کمک مؤثری را برای فهم متغیرهای تأثیرگذار می‌کند (Ku, 2016:8). با این حال مدل رگرسیون لجستیک دارای محدودیت‌هایی در مدل‌سازی مانند تغییرات کمی و تخصیص تغییرات است (Arsanjani et al., 2012:273). بنابراین رویکرد این پژوهش بر اساس رفع محدودیت‌های ذکر شده با ترکیب روش‌های مارکوف و خودکار سلولی و آشکارسازی تعاملات متغیرهای تغییر کاربری زمین بوده است.

سه مدل رگرسیون، مارکوف و خودکار سلولی سه هدف ترکیب شده‌اند اولاً رگرسیون لجستیک مفید برای ساختن سطوح احتمال و مشخص کردن مکان‌های با بیشترین احتمال تغییر برای توسعه هر کاربری و میزان تأثیرگذاری هر عامل بر تغییر کاربری زمین است. دوم مدل زنجیره مارکوف برای به دست آوردن تغییرات کمی مساحت استفاده شد. از آنجا که سیاست‌های توسعه زمین در سال‌های اخیر در منطقه کلان‌شهری ناسازگار و روندی نامشخص را طی کرده است و افزایش جمعیت با نرخ توسعه زمین برای همگام‌سازی غیرممکن بوده است. این مدل بر اساس روند گذشته می‌تواند پاسخگو باشد. سوم مدل CA یک مدل ابزار قوی برای تخصیص تغییرات احتمال با قوانین از قبل تعیین شده، است. CA میزان تغییرات با بیشترین احتمال را تخصیص می‌دهد؛ بنابراین این رویکرد توانایی پیش‌بینی مکان‌های با احتمال بیشتر برای توسعه هر کاربری را با مدل‌های کمی و فضایی را دارا است. ترکیب خودکار سلولی و مارکوف در منطقه انجام شده و نتایج آن دارای اعتبار می‌باشد.

این مقاله تلاش کرد تا نشان دهد که این روش ترکیبی (یعنی Logistic-Markov-CA) مزایای خاصی را نسبت به روش‌های سنتی ارائه می‌دهد. در ابتدا، این رویکرد قادر به در نظر گرفتن و ادغام عوامل محیطی و اجتماعی-اقتصادی است که در مدل‌های CA فعلی، مانند SLUETH (Silva & Clarke, 2002: 548) در نظر گرفته نشده است. ثانیاً هر عامل فضایی می‌تواند به این رویکرد وارد شود تا تأثیر آن بر تغییر کاربری زمین را اندازه‌گیری کند. در نهایت، رویکرد ذکر شده در دو مرحله آزمون و تأیید شد: در فرایند تهیه نقشه‌های پتانسیل انتقال (ROC) و از طریق مقایسه نقشه واقعی و نقشه شبیه‌سازی شده در سال ۲۰۱۵. این درحالی‌که اعتبار مدل‌های فعلی تغییرات کاربری زمین هنوز ضعیف است (Pontius & Millones, 2011: 4425)، و نمی‌توان با قطعیت از فرایند شبیه‌سازی، نتایج را تبیین کرد. بنابراین، تنها راه ممکن برای تأیید مدل، اعتبارسنجی آن با مقایسه نقشه شبیه‌سازی شده و نقشه واقعی ۲۰۱۵ بود و پس از اطمینان از عملکرد مدل، نقشه‌های کاربری زمین در آینده می‌تواند با اطمینان بیشتری شبیه‌سازی شود. با این حال، با وجود نقاط قوت این رویکرد، تحقیقات ما همچنین محدودیت‌های قابل توجه این رویکرد را برجسته کرده است. اگرچه این روش می‌تواند عوامل محرک مختلف را در خود جای دهد، اما محدودیت‌های خاصی در مدل وجود دارد، مانند عدم تمرکز بر رفتار افراد، اقتصاد سیاسی و اقدامات دولتی در تغییر

کاربری زمین که به مدل‌سازی با این روش ترکیبی نمی‌توان وارد کرد. از سوی دیگر با ورود به بخش سناریو نگاری در تغییرات آتی، به مدیران و سیاست‌گذاران در برنامه‌ریزی در برابر آینده‌های محتمل می‌توان کمک شایانی را انجام داد.

منابع و مأخذ:

۱. داداش پور، هاشم و نریمان جهانزاد. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی تغییرات آتی کاربری زمین بر اساس الگوی بهینه‌ا کولوژیک در مجموعه شهری مشهد. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، سال ۳، شماره ۳، تهران، صص ۳۴۳-۳۵۹.
۲. داداش پور، هاشم و فردیس سالاریان. (۱۳۹۴). تحلیل تاثیر پراکنده‌رویی بر تغییر کاربری زمین در منطقه شهری ساری. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، سال ۷، شماره ۳، صص ۱۴۵-۱۶۴.
۳. داداش پور، هاشم و امیررضا میری لواسانی. (۱۳۹۴). تحلیل الگوهای فضایی پراکنده‌رویی در منطقه کلان‌شهری تهران. برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، سال ۱۶، شماره ۵، اصفهان، صص ۱۲۳-۱۴۶.
۴. داداش پور، هاشم، خیرالدین، رضا، یعقوب خانی، مرتضی و بهنام چمنی. (۱۳۹۳). مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در کلانشهر تهران با استفاده از مدل MOLAND. فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۴، شماره ۱۶، مردشت، صص ۴۹-۶۴.
۵. شمس‌الدینی، علی و محمدرضا امیری فهلیانی. (۱۳۹۴). بررسی عوامل اثرگذار بر مدیریت کاربری اراضی روستایی در شهرستان ممسنی (با استفاده از مدل ترکیبی TOPSIS-SWOT). فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۵، شماره ۱۹، مردشت، صص ۸۵-۱۰۰.
۶. عبدی دانشپور، زهره و مسعود تارنتاش. (۲۰۱۷). آشکارسازی دگرگونی کاربرد زمین: تحلیل ویژگی‌های گسترش برنامه‌ریزی‌نشده در منطقه کلان‌شهری تهران. نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، سال ۳۳، شماره ۳، صص ۱۵-۳۱.
۷. کاویانی، آزاده، فرهودی، رحمت‌الله، و آریتا رجبی. (۱۳۹۴). تحلیل الگوی رشد شهر تهران با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، سال ۹، شماره ۳، تهران، صص ۴۰۷-۴۲۹.
۸. محمودزاده، حسن و قهرمان خوش روی. (۱۳۹۴). کاربرد رگرسیون لجستیک در مدل‌سازی توسعه شهری (مطالعه موردی: منطقه شهری بناب). فصلنامه مطالعات شهری، شماره ۱۴، سندج، صص ۳۱-۴۶.
۹. سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۵، مرکز آمار ایران
۱۰. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، آمایش استان تهران، ۱۳۸۸
۱۱. منصوریان، حسین. (۱۳۹۵). پویای جمعیتی و الگوهای پوشش زمین در منطقه کلان‌شهری تهران. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، سال ۴، شماره ۴، تهران، صص ۶۱۳-۶۳۳.
۱۲. وزرات کشور، تقسیمات اداری و سیاسی کشور، ۱۳۹۳
13. Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., & Ash'aari, Z. H. (2016). The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, pp380-389.
14. Al-sharif, A., & Pradhan, B. (2014). Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10), pp4291-4301.
15. Amini Parsa, V., & Salehi, E. (2016). Spatio-temporal analysis and simulation pattern of land use/cover changes, case study: Naghadeh, Iran. *Journal of Urban Management*, 5(2), pp43-51.
16. Arsanjani, J. J., Helbich, M., Kainz, W., & Boloorani, A. D. (2012). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21(1), pp265-275.
17. Arsanjani, J. J., Kainz, W., & Mousivand, A. J. (2011). Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov chain based on cellular automata: The case of Tehran. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2(4), pp329-345.
18. Cheng, J., & Masser, I. (2004). Understanding spatial and temporal processes of urban growth: Cellular automata modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(2), pp167-194.
19. Dadashpoor, H., & Alidadi, M. (2017). Towards decentralization: Spatial changes of employment and population in Tehran Metropolitan Region, Iran. *Applied Geography*, 85, pp51-61.
20. Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Analyzing spatial patterns, driving forces and predicting future growth scenarios for supporting sustainable urban growth: Evidence from Tabriz metropolitan area, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101502.

21. Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Science of The Total Environment*, 655, pp707-719.
22. Dadashpoor, H., & Salarian, F. (2018). Urban sprawl on natural lands: analyzing and predicting the trend of land use changes and sprawl in Mazandaran city region, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, pp1-22.
23. Dadashpoor, H., & Ahani, S. (2019). Land tenure-related conflicts in peri-urban areas: A review. *Land Use Policy*, 85, pp218-229.
24. Dadashpoor, H., & Ahani, S. (2019). A conceptual typology of the spatial territories of the peripheral areas of metropolises. *Habitat International*, 90, 102015.
25. Dadashpoor, H., & Nateghi, M. (2017). Simulating spatial pattern of urban growth using GIS-based SLEUTH model: a case study of eastern corridor of Tehran metropolitan region, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 19(2), pp527-547.
26. El-Khoury, A. (2012). *Modeling Land-Use Changes in the South Nation Watershed using Dyna-CLUE*. University of Ottawa.
27. Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222(20-22), pp3761-3772.
28. Han, H., Yang, C., & Song, J. (2015). Scenario Simulation and the Prediction of Land Use and Land Cover Change in Beijing, China. *Sustainability*, 7(4), pp4260-4279.
29. Han, Y., & Jia, H. (2017). Simulating the spatial dynamics of urban growth with an integrated modeling approach: A case study of Foshan, China. *Ecological Modelling*, 353, pp107-116.
30. Hosseinali, F., Alesheikh, A. A., & Nourian, F. (2013). Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city. *Cities*, 31, pp105-113.
31. Hu, Y., Zheng, Y., & Zheng, X. (2013). Simulation of land-use scenarios for Beijing using CLUE-S and Markov composite models. *Chinese Geographical Science*, 23(1), 92-100.
32. Irwin, E. G., & Geoghegan, J. (2001). Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1-3), pp7-24.
33. Jiang, W., Chen, Z., Lei, X., He, B., Jia, K., & Zhang, Y. (2016). Simulation of urban agglomeration ecosystem spatial distributions under different scenarios: A case study of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration. *Ecological Engineering*, 88(April), pp112-121.
34. Koomen, E., Koekoek, A., & Dijk, E. (2011). Simulating Land-use Change in a Regional Planning Context. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 4(4), pp223-247.
35. Ku, C.-A. (2016). Incorporating spatial regression model into cellular automata for simulating land use change. *Applied Geography*, 69, pp1-9.
36. Lambin, E. F., Geist, H., & Rindfuss, R. R. (2004). Chapter 1 Introduction : Local Processes with Global Impacts. *Land-Use and Land-Cover Change*, (Turner), pp1-8.
37. Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), pp159-174.
38. Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Pei, F. (2017). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*, 168(October), pp94-116.
39. Manuschevich, D., & Beier, C. M. (2016). Simulating land use changes under alternative policy scenarios for the conservation of native forests in south-central Chile. *Land Use Policy*, 51, pp350-362.
40. Oğuz, H. (2004). Modeling urban growth and land use/land cover change in the Houston Metropolitan Area from 2002-2030, (May), pp1-163.
41. Pontius, R. G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8), 1011-1016
42. Pontius, R. G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), pp4407-4429.
43. Puertas, O. L., Henríquez, C., & Meza, F. J. (2014). Assessing spatial dynamics of urban growth using an integrated land use model. Application in Santiago Metropolitan Area, 2010-2045. *Land*

- Use Policy*, 38, pp415–425.
44. Rounsevell, M. D. A., Pedrolí, B., Erb, K. H., Gramberger, M., Busck, A. G., Haberl, H., Wolfslehner, B. (2012). Challenges for land system science. *Land Use Policy*, 29(4), pp899-910.
 45. Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Araújo, M. B., Carter, T. R., Dendoncker, N., Ewert, F., Tuck, G. (2006). A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(1), pp57–68.
 46. Shafizadeh-Moghadam, H., Asghari, A., Tayyebi, A., & Taleai, M. (2017). Coupling machine learning, tree-based and statistical models with cellular automata to simulate urban growth. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, pp297–308.
 47. Silva, E. A., & Clarke, K. C. (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), pp525–552.
 48. Sun, P., Xu, Y., Yu, Z., Liu, Q., Xie, B., & Liu, J. (2016). Scenario simulation and landscape pattern dynamic changes of land use in the Poverty Belt around Beijing and Tianjin: A case study of Zhangjiakou city, Hebei Province. *Journal of Geographical Sciences*, 26(3), pp272-296
 49. Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., & Mastura, S. S. A. (2002). Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model. *Environmental Management*, 30(3), pp391–405.
 50. Wu, Q., Li, H. qing, Wang, R. song, Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 78(4), pp322–333.
 51. Zarei, A., Dadashpoor, H., & Amini, M. (2016). Determination of the optimal land use allocation pattern in Nowshahr County, Northern Iran. *Environment, Development, and Sustainability*, 18(1), 37–56.