

مدلسازی تغییرات کاربری زمین در کلانشهر تهران با استفاده از مدل *MOLAND*

هاشم داداش‌پور^۱: استادیار برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

رضا خیرالدین: استادیار برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

مرتضی یعقوب‌خانی: کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

بهنام چمنی: کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده

در شهرهای امروز، زمین کالایی گران‌بها و کمیاب به شمار می‌آید، به طوری که هرگونه توسعه بی‌برنامه و یا ایجاد هرگونه تغییر در زمین و کاربری آن، آثار و عواقب قابل‌توجهی بر مردم، وضعیت کسب‌وکار آن منطقه و مهم‌تر از همه، بر ریخت شهر و محیط‌زیست آن می‌گذارد. مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین شهری، در درک و شناخت پویایی‌های شهری مؤثر بوده و می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد و ضروری برای برنامه‌ریزان به شمار رود که توانایی ایجاد پیش‌بینی عواقب سیاست‌های شهری را داراست. این پژوهش با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل تغییردهنده کاربری زمین و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در کلانشهر تهران انجام می‌شود و پس از شناسایی مهم‌ترین محرک‌های تغییردهنده کاربری زمین، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین کلانشهر تهران از مدل ملند^۲ استفاده می‌کند. این مدل در نخستین مرحله از اطلاعات اجتماعی اقتصادی مانند جمعیت و اشتغال، برای محاسبه تقاضای کاربری زمین استفاده می‌کند و این تقاضا را با استفاده از یک زیر مدل مبتنی بر اتوماتای سلولی^۳ و با در نظر گرفتن ویژگی‌های طبیعی و عوامل مدیریتی (برنامه‌ریزی) موجود در منطقه، به سطح فضایی تخصیص می‌دهد. برای انجام عملیات کالیبراسیون و راستی‌آزمایی مدل از داده‌های کاربری زمین در سه مقطع ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ استفاده شد. نتایج مدل‌سازی، نشان‌دهنده این است که مدل بعد از مرحله معتبر سازی، دارای توانایی مناسبی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در یک افق ۲۰ ساله است. تبدیل اراضی بایر و زمین‌های کشاورزی به کاربری مسکونی و صنعتی و سایر کاربری‌های وابسته از مهم‌ترین تغییرات کاربری زمین در منطقه است که عمده این تغییرات در اطراف کاربری‌های شهری موجود و در قسمت‌های جنوب، جنوب غرب و غرب کلانشهر تهران رخ می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین، کلانشهر تهران، اتوماتای سلولی، مدل *MOLAND*.

^۱ نویسنده مسئول: dadashpour@modares.ac.ir، ۰۹۱۲۳۵۴۰۲۹۰

^۲ *MOLAND (Modelling Land Use Dynamics)*

^۳ *Cellular Automata (CA)*

بیان مسأله:

تغییر کاربری زمین، یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه‌ریزی کاربری زمین است که در برابر برنامه‌ریزان، تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران قرار دارد و تأثیر مستقیمی بر بسیاری از مسائل، از فرصت‌ها و تهدیدهای به وجود آمده در جوامع کلانشهری گرفته تا مسائل مهم‌تر از قبیل رشد اقتصادی و کیفیت محیط دارد (Skole, 2002). تغییر کاربری زمین در اثر کنش عوامل مختلف از قبیل اقتصاد، مسکن، اشتغال، محیط‌زیست و مانند این‌ها ایجاد می‌شود. رشد جمعیت و نحوه پراکنش آن مهم‌ترین مسئله‌ای است که منجر به افزایش شتاب تغییرات کاربری زمین در قرن‌های اخیر شده است (Adger et al, 1994; Richards, 1990). توسعه شهری و تغییرات الگوهای کاربری زمین باعث ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و زیست‌محیطی می‌گردد. این تأثیرات شامل کاهش فضاهای طبیعی، افزایش تجمع وسایل نقلیه، بروز ناهنجاری‌های اجتماعی- زیست‌محیطی، مشکلات حمل و نقل، کاهش کیفیت آب، کاهش زمین‌های کشاورزی و فضای سبز اطراف شهر و... است (Turner II et al, 1995). این‌ها به نوعی با تغییر الگوهای کاربری زمین بر اثر فعالیت‌های انسانی مرتبط‌اند، لذا درک چگونگی تغییرات کاربری و پوشش زمین، چه از نظر کمیت تغییرات و چه از نظر الگوی مکانی آن به دلیل اثرات گسترده بر محیط‌زیست شهری، زیستگاه‌های طبیعی و تأثیری که بر سایر ساختارهای شهری نظیر وضعیت سیستم حمل‌ونقل شهر می‌گذارد، حیاتی به نظر می‌رسد.

در برنامه‌ریزی کاربری زمین مؤثر، فرآیند تصمیم‌سازی باید کلیه عوامل تأثیرگذار بر توسعه و تغییر کاربری زمین مانند رشد جمعیت و پراکنش آن، توسعه اقتصادی و توزیع مکانی آن، کیفیت اشتغال و سایر عوامل را در نظر بگیرد (Skole, 2002). فرآیند برنامه‌ریزی باید این عوامل را هم در وضعیت کنونی و هم در شرایط آتی آن‌ها مورد بررسی قرار دهد. یک برنامه کاربری زمین مؤثر باید قادر باشد تا با آگاهی از وضعیت کنونی کاربری زمین یک ناحیه و عوامل مؤثر بر آن و همچنین پیش‌بینی آن‌ها در آینده، بهترین کاربری‌های زمین را ارائه دهد (FAO, 1995). یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای تحلیل و درک سیستم‌های پیچیده مانند شهرها، استفاده از مدل‌های گوناگون برای شناسایی، تحلیل و پیش‌بینی رفتار این سیستم‌هاست. روش‌های مدل‌سازی موجود از ساده‌ترین روش‌ها مانند روش‌های ریاضیاتی که بر پایه فرمول‌های خطی ریاضی و معادلات ساده قرار دارند تا روش‌های ترکیبی و آماری که از ترکیب چندین روش برای مدل‌سازی جهان واقعی استفاده می‌کنند و روش‌های مبتنی بر محاسبات رایانه‌ای که محاسبات فراوانی را برای شبیه‌سازی انجام می‌دهند، هر یک به نوبه‌ی خود و در جای مناسب دارای اهمیتی خاص هستند. شرایط موجود سیستم مورد مدل‌سازی و میزان واقع‌بینی که برای یک مدل‌سازی در نظر گرفته‌شده، روش مناسب برای مدل‌سازی هر پدیده‌ای را تعیین می‌کند. پژوهش حاضر در تلاش است تا با بررسی و شناسایی روش‌های تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهری و به کارگیری آن‌ها برای نمونه مطالعاتی (کلانشهر تهران و اطراف آن)، با استفاده از مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به "روش ملند"، به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه کلانشهری تهران بپردازد. همچنین مهم‌ترین سؤالاتی که در این پژوهش به آن پاسخ داده می‌شود این است که تغییرات کاربری‌های زمین کلانشهر تهران در سال‌های بین ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۵ چقدر است؟ و این تغییرات در چه مکان‌هایی از کلانشهر تهران رخ می‌دهند؟ و کدام محدوده‌های مکانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند؟

پیشینه تحقیق:

از مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین می‌توان به مدل اتوماتای سلولی مقید^۱ وایت و انگلن اشاره کرد. آن‌ها با بهره‌گیری از یک مدل چند مقیاسی و استفاده از اتوماتای سلولی، مطالعه‌ای

^۱. Constrained CA

بر روی تغییرات کاربری زمین کشور هلند انجام دادند. آن‌ها ابتدا در یک مقیاس منطقه‌ای و با استفاده از یک مدل جاذبه‌ای^۱، تغییرات و جابجایی فعالیت و جمعیت را میان مناطق مختلف مورد محاسبه قرار دادند. در مرحله بعد این فعالیت‌ها را به تقاضا برای کاربری‌های زمین در سطح این مناطق تبدیل کردند و با بهره‌گیری از آتوماتای سلولی این تقاضاها را به کاربری زمین در سطح محلی تخصیص دادند (White et al, 2000). نتایج مدل‌سازی نشان‌دهنده این بود که به کارگیری آتوماتای سلولی به همراه یک مدل دیگر، باعث بهبود قابل توجه نتایج مدل‌سازی خواهد شد. پتروف و همکاران هم در مطالعه‌ای بر روی تغییرات کاربری زمین منطقه شهری آگارو در جنوب پرتغال، از مدل ملند برای پیش‌بینی تأثیر فعالیت‌های اقتصادی و توسعه گردشگری بر کاربری زمین منطقه استفاده کردند و با توجه به سناریوهای مختلف توسعه گردشگری و توسعه اقتصادی، الگوهای محتمل کاربری زمین آینده این منطقه را به دست آوردند (Petrov et al, 2009). از دیگر نمونه‌ها می‌توان به کار جوادى اشاره کرد که از تلفیق شبکه‌های عصبی و آتوماتای سلولی جهت مدل‌سازی توسعه شهری در اصفهان استفاده کرد (جوادى، ۱۳۸۷). ضیائیان و همکاران نیز با بهره‌گیری از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در کنار مدل آتوماتای سلولی، تغییرات کاربری زمین شهرکرد را برای یک افق ۳۵ ساله (سال ۱۴۰۴) محاسبه کرده و نقشه کاربری زمین منطقه در این سال را برای چهار سناریوی مختلف برنامه‌ریزی شهری به دست آوردند (ضیائیان و همکاران، ۱۳۸۸). داداش‌پور و زارعی برای پیش‌بینی توسعه شهری شهرستان نوشهر از یک مدل پویای فضایی به نام لوسیا^۲ استفاده کردند و دریافتند که مناطق پیرامونی سکونتگاه‌ها و تأسیسات زیرساختی دارای بالاترین پتانسیل برای توسعه بوده و بیشتر تغییرات توسعه شهری در این مناطق رخ می‌دهد (داداش‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). بابایی اقدم و همکاران (۱۳۹۱) نیز در پژوهشی درباره تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری اردبیل، با استفاده از تحلیل آماری میزان و نوع رابطه بین متغیرهای تغییردهنده کاربری زمین و با استفاده از رگرسیون لجستیک و به کارگیری مدل کلو-اس^۳ به مدل‌سازی الگوی آتی کاربری اراضی این منطقه تا سال ۱۴۰۰ پرداختند.

مبانی نظری:

زمین هم به عنوان یک ورودی و هم یک خروجی در فرآیند برنامه‌ریزی مطرح است و به عنوان عمده‌ترین عنصر و بستر اصلی کلیه برنامه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد (Kaiser et al, 1995: 196). کاربری زمین شامل عمل یا هدفی است که زمین به منظوری خاص، توسط مردم محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند به عنوان بستری برای فعالیت‌های انسانی تعریف شود که مستقیماً با زمین و استفاده‌های ناشی از منابع آن و همچنین اثراتی که بر روی آن گذاشته می‌شود تعریف گردد (FAO, 1995: 21). تغییر کاربری زمین هم به معنی تغییر در ساختار و کارکرد یک نوع خاص از کاربری زمین (تغییر کیفی) و هم به معنی تغییر در ابعاد فضایی و وسعت آن کاربری (تغییر کمی) است (Seto et al, 2002).

کاربری زمین و تحولات مربوط به آن نتیجه یک شبکه پیچیده تعامل بین نیروهای بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی در فضا و زمان است (بریسولیس، ۱۳۸۹: ۱۶۲). رشد جمعیت و نحوه پراکنش آن مهم‌ترین مسئله‌ای است که منجر به افزایش شتاب تغییرات کاربری زمین در قرن‌های اخیر شده است (Adger et al, 1994). به نظر ترنر مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کاربری زمین عبارتند از: عوامل جمعیتی مانند اندازه و تراکم جمعیت، فن‌آوری،

^۱. Gravity Model

^۲. LUCIA

^۳. CLUE-S

سطح بارش‌ها، ساختار سیاسی، عوامل اقتصادی مانند سیستم خرید و فروش یا مبادله یا مالکیت، و ارزش‌ها و عقاید حاکم (Turner et al, 1995, 18). بر طبق تحلیل‌های بانک جهانی و نظریه‌های وربگ و همکاران بیشتر تغییرات کاربری زمین به واسطه‌ی افزایش تقاضا برای زمین‌های غیرکشاورزی به دلیل توسعه شهری و صنعتی اتفاق می‌افتد. این نیروهای تغییردهنده کاربری زمین که وابسته به توسعه شهری هستند به عنوان اصلی‌ترین نیروهای تغییردهنده کاربری زمین شناخته می‌شوند و نقش مهمی را در کاهش کیفیت زمین‌های قابل کشت در اطراف شهرها ایفا می‌کنند (Long et al. 2007: 357). بسیاری از محققین به لزوم وجود یک نظریه جامع و فراگیر برای تحلیل تغییر کاربری زمین اشاره کرده‌اند (Verbarg et al, 2004; Benenson et al, 2004; Batty et al, 2001; Turner II et al., 1995) و تعدادی از آن‌ها اولویت‌ها و مسائلی که در راستای دستیابی به این رویکرد جامع باید مد نظر قرار گیرند را شناسایی کرده‌اند. لامبین و همکاران از جمله افرادی هستند که به مسائل زیر به عنوان مهم‌ترین مسائل و چالش‌ها برای دستیابی به یک نظریه جامع و فراگیر برای کاربری زمین اشاره کرده‌اند: الف) در نظر گرفتن رفتار مردم و جامعه و روابط دو سویه آن‌ها با کاربری زمین و دخیل کردن آن‌ها در پروسه تغییر کاربری زمین، ب) انجام تحلیل‌های مربوط به کاربری زمین در سطوح مختلف فضایی و زمانی با در نظر گرفتن مردم و محیط‌زیست و ج) توجه به چند زمانه بودن تحلیل‌ها به منظور در نظر گرفتن چارچوبی که در آن زمین، مردم و محیط‌زیست با یکدیگر تعامل دارند (Lambin, 2006 : 1-8).

در میان مشهورترین پیشگامان تحلیل و مدل‌سازی مسائل و تغییرات کاربری زمین شهری می‌توان به جورج پرکینز مارش در ایالات متحده و فون تانن در آلمان اشاره کرد. مارش اثرات رفتار انسانی بر محیط‌زیست را مورد مطالعه قرارداد و فون تانن کارآمدترین آرایش فضایی محصولات در اطراف یک شهر بازاری مشخص کرد. قاعده کلی این بود که هر بخش از زمین باید به کاربری اختصاص یابد که بالاترین اجاره در آن به دست آید. در سال ۱۹۳۳ کریستالر، نظریه مکان مرکزی^۱ را برای محاسبه تئوریک اندازه و توزیع مراکز خرده‌فروشی در یک منطقه شهری فرموله کرد و از دو مفهوم اساسی بهره جست: محدوده^۲ یک کالا و آستانه^۳ برای یک کالا. برای نمونه‌ای دیگر، می‌توان به نظریه‌های اقتصاد خرد مانند مدل اجاره زمین آلونسو اشاره کرد. در این مدل فقط کاربری‌های مسکونی لحاظ شده‌اند و فاصله از مرکز تجاری شهر عامل تعیین‌کننده برای انتخاب زمین است و خانوارها و کاربران زمین همواره برای دستیابی به زمین‌هایی با دسترسی بهتر با هم در رقابت هستند (Irwin et al, 2001: 12).

با عبور از مرحله برنامه‌ریزی فیزیکی و ورود به مرحله جدید برنامه‌ریزی عقلایی در دهه ۱۹۶۰، طراحی مدل‌های شهری آغاز شد (میزبان شاکر، ۱۳۸۰: ۷۶). در این زمان، آگاهی از پیچیدگی شهرها و جزئیات پیچیده آن‌ها به طور چشمگیری افزایش یافت و اولین بار توسط افرادی چون لینچ، جیکوبز و الکساندر به آن اشاره شد. دیدگاه این افراد بیانگر این نکته بود که کاربری زمین در شهرها حاصل تعامل مجموعه‌ای از نیروهای چندگانه است که این نیروها در غالب یک سیستم و به صورت پیچیده‌ای با هم کنش دارند (Agostinho, 2007: 6-7). به کارگیری اتوماتای سلولی در علوم جغرافیایی توسط تابلر آغاز شد. در اتوماتای سلولی شهری، سطح زمین به مجموعه‌ای از سلول‌های همگن با کاربری خاص تقسیم می‌شود و وضعیت آتی کاربری هر سلول، با توجه به وضعیت سلول‌های مجاور آن و مجموعه‌ای از قوانین تغییر کاربری زمین (قوانین انتقال^۴) تعیین می‌شود (Barredo et al, 2007).

¹. Central Places

². Range

³. Threshold

⁴. Transition Rules

3: 2002). این دیدگاه تابلر مبنی بر در نظر گرفتن زمین به صورت مجموعه‌ای از سلول‌های مربعی که هر کدام دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند و در عین حال با یکدیگر ارتباط دارند، توسط افرادی چون هلن کوللیس، رابرت ایتمی و مایکل فیپس دنبال شد (Phipps, 1989). بتی با بهره‌گیری از این مفهوم ساختار سکونتگاه‌های شهری را مورد بررسی قرارداد. استفاده از آتوماتای سلولی به همراه سایر سیستم‌ها، یکی از کارهای مثبتی بود که در جهت ارتقای مدل‌سازی شهری انجام گرفت و اثرات خوبی داشت و باعث افزایش نقاط قوت و کاهش محدودیت‌های آن شد. به عنوان مثال می‌توان به ترکیب آتوماتای سلولی و GIS اشاره کرد که در آن قدرت بالقوه مدل‌سازی آتوماتای سلولی با توانایی‌های GIS در مدیریت داده و انجام تحلیل‌های فضایی ترکیب می‌شود (Wagner, 1997: 229). وایت و انگلن با تکیه بر این قابلیت‌ها و معرفی مدل ملند، یکی از مهم‌ترین اقدامات را در جهت تکامل آتوماتای سلولی شکل دادند (White et al, 1999).

روش تحقیق:

در این پژوهش با استفاده از روش اسنادی و مطالعه منابع مختلف، عوامل و محرک‌های مختلف تأثیرگذار بر کاربری زمین شناسایی می‌شوند، سپس با استفاده از یک رویکرد تحلیلی و با استفاده از مدل ملند، تأثیرات این عوامل بر یکدیگر و بر تغییرات کاربری زمین مورد مطالعه قرار می‌گیرند. برای انجام تحلیل با استفاده از چارچوب مدل ملند، در وهله اول با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین و مقایسه مساحت کاربری‌ها با اطلاعات جمعیتی و اشتغال، سرانه زمین برای کاربری‌های مختلف حساب می‌شود و با توجه به سرانه به دست آمده و پیش‌بینی‌های انجام‌شده برای جمعیت و اشتغال در افق مدل‌سازی، تقاضای کاربری زمین به دست می‌آید. سپس تقاضای کاربری زمین با استفاده از یک زیر مدل مبتنی بر آتوماتای سلولی به سطح فضایی اختصاص داده می‌شود (Williams et al, 2012: 230). به طور کلی زیر مدل مبتنی بر آتوماتای سلولی از چهار نوع داده به عنوان ورودی استفاده می‌کند که عبارت‌اند از:

- ۱) نقشه‌های کاربری زمین: با توجه به لزوم انجام کالیبراسیون برای بهینه‌سازی مدل و راستی آزمایی برای سنجش نتایج مدل، نیاز به نقشه‌های کاربری زمین در سه دوره زمانی است که معمولاً با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی تهیه می‌شوند و به فرمت رستری با اندازه سلول مشخص تبدیل می‌گردند.
- ۲) نقشه شبکه راه‌ها: به کمک این نقشه امتیاز دسترسی که بیانگر اهمیت دسترسی به شبکه حمل‌ونقل برای هر کاربری در هر سلول است، با استفاده از رابطه شماره ۱ محاسبه می‌شود (Agostinho, 2007: 36).

$$A_{K,x,y}^t = \frac{1}{1 + D/a_K} \quad \text{رابطه شماره ۱-}$$

$A_{K,x,y}^t$: امتیاز دسترسی سلول x,y به شبکه حمل‌ونقل برای کاربری زمین K در زمان t

D : فاصله میان سلول x,y و نزدیک‌ترین سلول شبکه حمل‌ونقل

a_K : ضریب دسترسی به شبکه حمل‌ونقل که بیانگر اهمیت دسترسی به شبکه حمل‌ونقل برای کاربری

زمین K است.

- ۳) نقشه‌های تناسب کاربری زمین: به ازای هر کاربری، یک نقشه تناسب که نشان‌دهنده میزان تناسب کاربری هر سلول با خصوصیات طبیعی آن (مانند ارتفاع، شیب و جنس خاک) است به مدل معرفی می‌شود.
- ۴) نقشه‌های منطقه بندی زمین: برای هر کاربری یک نقشه منطقه بندی که نشان‌دهنده مجاز یا ممنوع بودن توسعه این کاربری در هر سلول است، به دست می‌آید.

پویایی تغییرات کاربری زمین در مدل با بهره‌گیری از مفهوم اثر همسایگی اتوماتای سلولی تضمین می‌شود. در ابتدا برای نشان دادن میزان تأثیرگذاری هر دو کاربری (سازگاری یا ناسازگاری) وزنهایی به مدل معرفی می‌شود و برای هر سلول یک همسایگی به شعاع ۸ سلول تعریف می‌گردد و اثر همسایگی با توجه به وزنه‌های تعریف‌شده و فاصله از سلول مرکزی به دست می‌آید. در نهایت امتیاز همسایگی سلول i برای کاربری زمین L از رابطه شماره ۲ محاسبه می‌شود:

$$R_{K,x,y}^t = \sum_c \sum_j W_{K,L,c} \times I_{c,j}^t \quad \text{رابطه شماره ۲-}$$

$R_{K,x,y}^t$: میزان تأثیرگذاری قوانین انتقال در محاسبه پتانسیل

تغییر (تبدیل) سلول x,y برای کاربری زمین K در زمان t

$W_{K,L,c}$: پارامتر وزندهی که بیانگر میزان تعامل بین سلول با کاربری زمین K با کاربری زمین L در فاصله c از سلول مرکزی است.

$I_{c,j}^t$: تابع دلتای کرونیکر^۱، اگر سلول J در درون همسایگی باشد، یک است و در غیر این صورت مقدار آن صفر است.

در نهایت پتانسیل تغییر هر سلول i به هر کاربری L ($P_{L,i}$)، با توجه به مقادیر به دست آمده برای امتیاز تناسب (S)، امتیاز منطقه بندی (Z)، و امتیاز دسترسی (A) و با در نظر گرفتن امتیاز همسایگی آن سلول برای آن کاربری (N) از رابطه شماره ۳ محاسبه می‌شود:

$$P_{L,i} = v \times S_{L,i} \times N_{L,i} \times Z_{L,i} \times A_{L,i} \quad \text{رابطه شماره ۳-}$$

$$v^t = v + (-\ln[\text{rand}])^\alpha \quad 0 < \text{rand} < 1$$

v یک تابع توزیع تصادفی است که سبب حصول نتایج غیریکنواخت و واقعی تر در مدل‌سازی می‌شود و مقدار آن به متغیر α بستگی دارد که در طی فرآیند کالیبراسیون به دست می‌آید.

در هر مرحله از اجرای مدل، پتانسیل تغییر برای هر کاربری در هر سلول محاسبه می‌شود و کاربری سلول به کاربری که دارای بیشترین پتانسیل است تغییر می‌یابد. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که مقادیر به دست آمده برای تک‌تک کاربری‌ها، با میزان تقاضای برآورد شده، برابر شود. همان طور که بیان شد مدل از نقشه‌های کاربری زمین در سه دوره زمانی برای کالیبراسیون و راستی آزمایی استفاده می‌کند. معیار مقایسه نقشه‌ها در مراحل کالیبراسیون و راستی آزمایی مدل، شاخص کاپای فازی است. در این مقاله، فازی بودن نشان‌دهنده سطحی از عدم اطمینان و ابهام در کاربری‌ها و مکان آن‌هاست. فازی بودن کاربری، بدین معناست که برخی کاربری‌ها نسبت به برخی دیگر، شباهت بیشتری باهم دارند که هنگام مقایسه نقشه‌ها، این شباهت باید در نظر گرفته شود. فازی بودن مکان کاربری‌ها هم بیان‌کننده این حقیقت است که جانمایی فضایی کاربری‌ها در نقشه، همواره دقیق نیست و مکان واقعی کاربری‌ها در یک محدوده شامل سلول مرکزی و سلول‌های اطراف آن قرار دارد (Hagen, 2003: 236). برای محاسبه این شاخص ابتدا ماتریس مقایسه‌ای مانند جدول شماره ۱ تشکیل می‌شود. شاخص کاپای فازی با توجه به این جدول و با استفاده از رابطه شماره ۴ به دست می‌آید که در این رابطه $P(A)$ نشان‌دهنده میزان تطابق بین نقشه مدل‌سازی و نقشه واقعی است و $P(E)$ نشان‌دهنده عدم تطابق بین این دو است.

¹.the Kronicker Function

جدول ۱- ماتریس مقایسه نقشه‌ها

		نقشه حاصل از مدل‌سازی				
		کاربری ۱	کاربری ۲	کاربری ۳	...	مجموع
نقشه واقعی	کاربری ۱	P_{11}	P_{11}	P_{11}	...	P_{11}
	کاربری ۲	P_{11}	P_{11}	P_{11}	...	P_{11}
	کاربری ۳	P_{11}	P_{11}	P_{11}	...	P_{11}

	مجموع	P_{11}	P_{11}	P_{11}	...	P_{11}

$$K = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)} = \frac{\sum_{i=1}^c P_{ii} - \sum_{i=1}^c P_{iT} P_{Ti}}{1 - \sum_{i=1}^c P_{iT} P_{Ti}} \quad \text{رابطه شماره ۴-}$$

i : کلاس‌های مشترک بین نقشه واقعی و نقشه حاصل از مدل‌سازی،

P_{ii} : سلول‌هایی از کلاس i در واقعیت که در نقشه حاصل از مدل‌سازی هم وجود دارند.

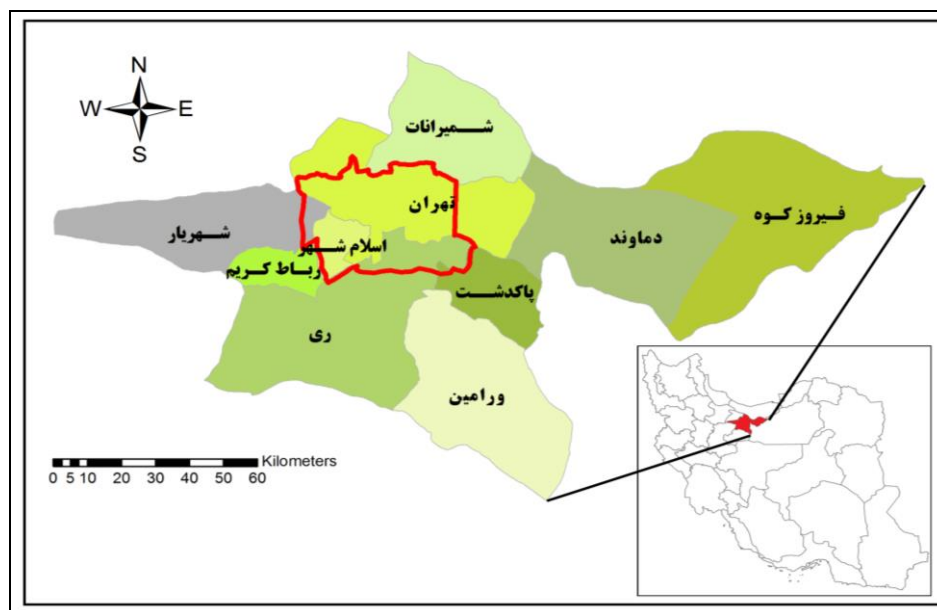
P_{iT} : نشان‌دهنده مجموعه سلول‌هایی از کلاس i در واقعیت است که در نقشه حاصل از مدل‌سازی در این کلاس قرار ندارند.

P_{Ti} : نشان‌دهنده مجموعه سلول‌هایی از کلاس i در نقشه حاصل از مدل‌سازی است که در این کلاس در واقعیت قرار ندارند.

همان‌طور که بیان شد شاخص کاپای فازی میزان شباهت میان دو نقشه را با عددی بین ۰ و ۱ بیان می‌کند. هر چه مقدار این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که شباهت بیشتری میان دو نقشه وجود دارد و مقادیر بالاتر از ۰/۸ برای این شاخص، نشان‌دهنده تطابق بالا میان دو نقشه و مقادیر بالاتر از ۰/۸۵ نشان‌دهنده تطابق خیلی زیاد بین نقشه‌هاست (Pijanowski et al, 2005: 202; Hagen, 2003). لازم به ذکر است که برای آماده‌سازی داده‌های مکانی و نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و برای انجام عملیات مدل‌سازی از نرم‌افزار Metronamica 4.2.2 استفاده شده است. همچنین مقایسه نقشه‌ها برای عملیات کالیبراسیون و راستی‌آزمایی با استفاده از نرم‌افزار Map Comparison Tools استفاده شده است.

محدوده مطالعه:

کلانشهر تهران، مرکز استان تهران، پایتخت ایران و بزرگ‌ترین شهر ایران و غرب آسیاست و به عنوان بزرگ‌ترین کانون تجمع مراکز صنعتی، اداری، تجاری، جمعیتی و فرهنگی کشور از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش کلانشهر تهران و شهرستان اسلامشهر را به طور کامل در بر می‌گیرد و قسمت‌های کوچکی از شهرستان‌های شهریار و ری را هم در خود دارد. این محدوده در بستر طبیعی بین ۳۵ تا ۳۶ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی قرار گرفته است که دارای طول تقریبی ۵۱ کیلومتر و عرض ۴۷ کیلومتر می‌باشد. (شکل شماره ۱).

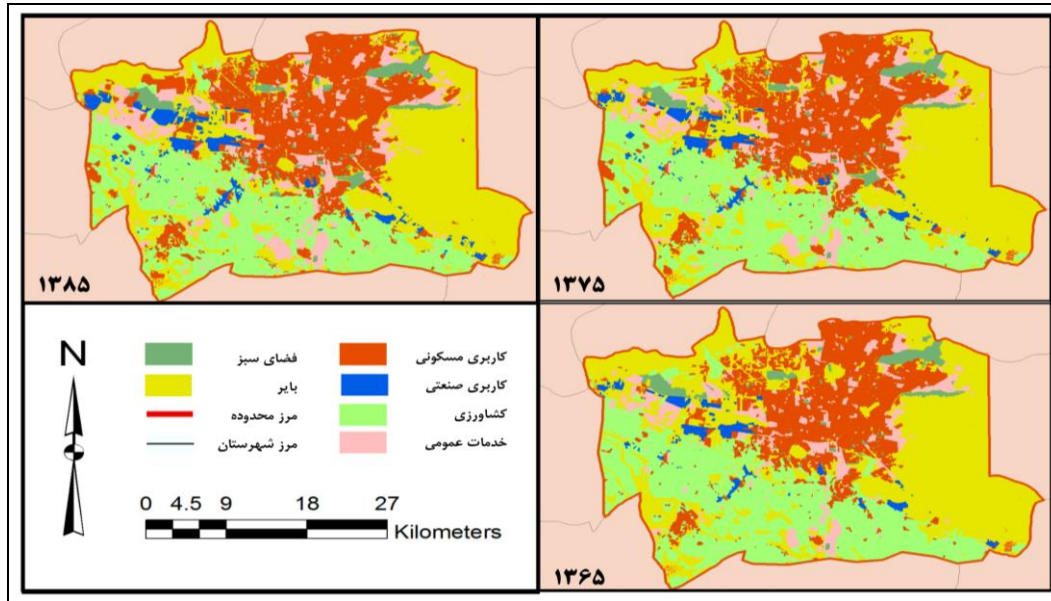


شکل ۱- مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

تهران از اوایل قرن حاضر به نخستین مقصد مهاجرت‌های داخلی تبدیل شده و تا به امروز این جایگاه را حفظ کرده است. جمعیت شهر تهران از ۲۷۱۹۷۳۰ نفر در سال ۱۳۴۵ به ۸۵۰۰۰۰۰ نفر در سال ۱۳۹۰ رسیده و بر اساس شش دوره سرشماری انجام شده، جمعیت تهران طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ حدوداً ۵ برابر شده است. این در حالی است که شهرستان اسلامشهر در سال ۱۳۳۵ اصلاً وجود نداشته و در طول این مدت رشد کرده و جمعیت آن در سال ۱۳۸۵ به حدود ۴۴۹ هزار نفر رسیده که این امر نشان‌دهنده این است که رشد جمعیت در شهرهای اطراف تهران به مراتب بیشتر از شهر تهران بوده است. مقایسه آمار مربوط به بخش اشتغال در شهر تهران با استان و کل کشور نشان می‌دهد که اقتصاد منطقه در فعالیت‌های خدماتی و صنعتی توسعه یافته و بخش کشاورزی به دلیل محدودیت اراضی قابل کشت و منابع آبی سهم ناچیزی را به خود اختصاص داده است. به طوری که تعداد شاغلین بخش کشاورزی به کمتر از ۰/۵ درصد کل اشتغال در سال ۹۰ رسیده است.

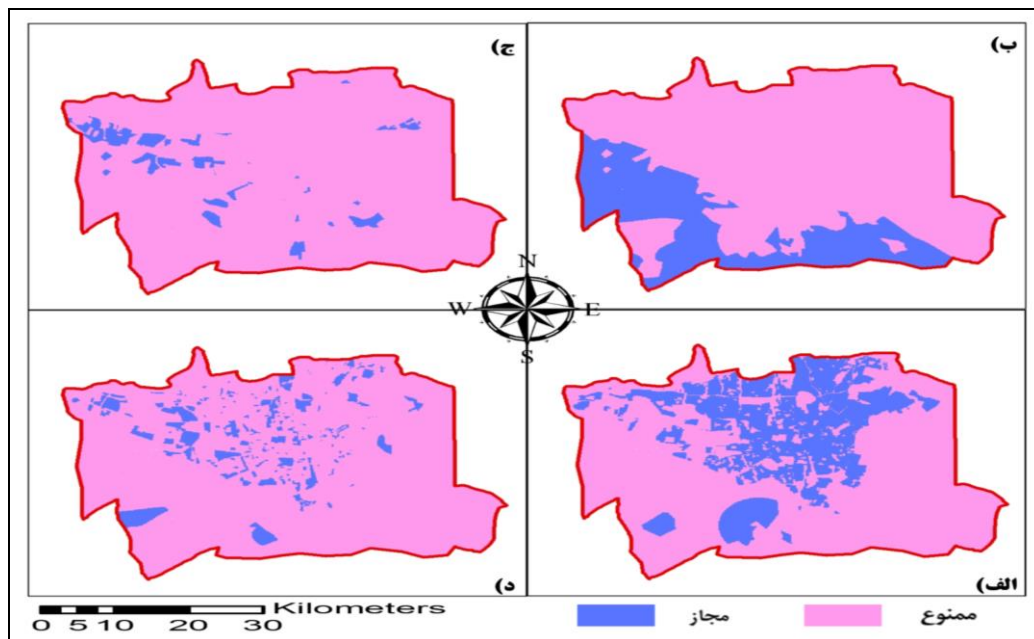
تحلیل یافته‌های تحقیق:

برای آغاز فرآیند انجام تحلیل بر روی داده‌های جمع‌آوری شده در کلانشهر تهران، ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده باید برای ورود به مدل آماده سازی شوند. بدین معنی که این داده‌ها باید از فرمت اولیه‌ای که جمع‌آوری شده‌اند به فرمت مورد قبول مدل تبدیل شوند. سه نقشه کاربری زمین از محدوده مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ نیاز است که با استفاده از آن‌ها کلیه مراحل مدل‌سازی انجام می‌گیرد. شکل شماره ۲ وضعیت کاربری زمین منطقه مورد مطالعه را در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ نمایش می‌دهد.



شکل ۲- نقشه های کاربری زمین کلانشهر تهران

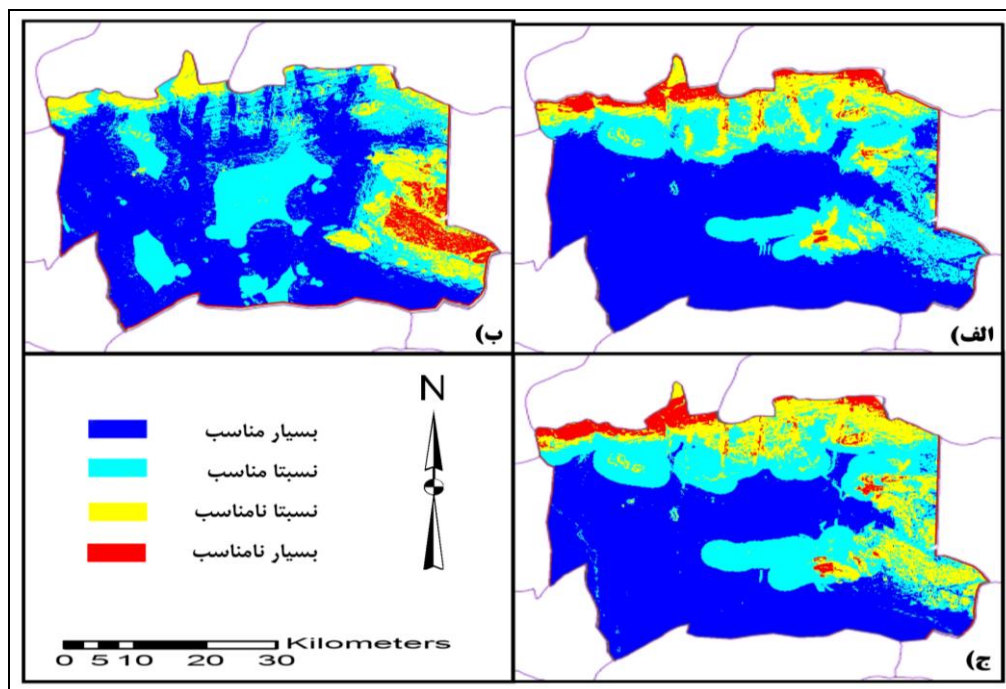
همان طور که گفته شد با داشتن نقشه‌های کاربری زمین و اطلاعات جمعیتی و اشتغال منطقه در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵، سرانه کاربری زمین در این سال‌ها برای تمام کاربری‌ها محاسبه می‌شود. با توجه به این سرانه‌های محاسبه‌شده و پیش‌بینی‌های انجام‌گرفته برای جمعیت و اشتغال تهران در افق مدل‌سازی (سال ۱۴۰۵)، تقاضای کاربری زمین برای این سال به دست می‌آید. در مرحله بعد برای هر کاربری، نقشه‌های منطقه بندی زمین که به عنوان شاخصی از وضعیت برنامه‌ریزی و مدیریتی در سطح منطقه به شمار می‌روند، با استفاده از نقشه منطقه بندی زمین و نقشه حریم تهران که از مطالعات طرح جامع شهر تهران استخراج شده است به دست می‌آیند. نقشه‌های منطقه‌بندی (شکل شماره ۳) وضعیت مجاز یا ممنوع بودن اشغال هر زمین را توسط هر کاربری به ترتیب با اعداد یک و صفر نمایش می‌دهند.



شکل ۳- نقشه های منطقه بندی زمین برای کاربری های الف) مسکونی، ب) کشاورزی، ج) صنعتی، د) خدماتی

نقشه دسترسی هم که نشان‌دهنده وضعیت دسترسی به راه‌ها و مسیرها هستند، با فرمت برداری به مدل معرفی می‌شوند. برای تهیه نقشه تناسب برای هر کاربری، پس از مشخص شدن این کاربری‌ها، شاخص‌هایی که بیان‌کننده تناسب بیوفیزیکی این کاربری‌ها هستند انتخاب و طبقه‌بندی می‌شوند و بر اساس نظرات کارشناسی وزندهی می‌شوند. برای تهیه نقشه تناسب کاربری زمین در این مطالعه شاخص‌هایی نظیر ارتفاع، شیب زمین، وضعیت نزدیکی به گسل‌ها، دوری از مسیل‌ها و حریم رودخانه‌ها و خاک مناسب در نظر گرفته شدند (شکل شماره ۴).

پس از به دست آوردن نقشه‌های تناسب، کاربری زمین، دسترسی و منطقه بندی برای هر یک از کاربری‌های مسکونی، صنعتی، کشاورزی و اراضی خدماتی، برای ورود به نرم‌افزار مدل، آن‌ها را به فرمت رستری با اندازه سلول ۱۰۰ متر تبدیل می‌کنیم. همان‌طور که اشاره شد، قوانین انتقال نحوه و میزان تأثیرگذاری کاربری‌های مختلف را بر یکدیگر مشخص می‌کنند و برای تعریف آن‌ها از یک نمودار استفاده می‌شود که تابعی از فاصله است و تأثیرگذاری یک کاربری بر کاربری دیگر، را با عددی بین ۱۰۰ تا منهای ۱۰۰ نشان می‌دهد. هیچ روش علمی خاصی برای تعریف این قوانین انتقال وجود ندارد، ولی روال کلی بر این است که در اجرای اولیه مدل، این توابع به صورت تجربی و بر حسب قضاوت مدل‌ساز تعریف می‌شوند و در طی فرآیند معتبرسازی مدل تغییر داده می‌شوند تا به یک شکل بهینه دست یابند. با وارد کردن اطلاعات مربوط به پیش‌بینی تقاضای زمین و نقشه‌های منطقه بندی، تناسب و دسترسی به مدل و با تعریف قوانین انتقال اتوماتای سلولی، مدل آماده به کار می‌شود. در هر تکرار، وضعیت نقشه پتانسیل برای کلیه کاربری‌ها به‌روز می‌شود و مدل با مقایسه پتانسیل کاربری‌های مختلف در یک سلول و انتخاب کاربری با بیش‌ترین پتانسیل تغییر، کاربری آینده سلول را انتخاب می‌کند. اجرای اولیه مدل با مبنا قرار دادن نقشه کاربری زمین در سال ۱۳۶۵ و با استفاده از داده‌های مورد نیاز برای به دست آوردن نقشه کاربری زمین سال ۱۳۷۵ صورت می‌گیرد.



شکل ۴- نقشه های تناسب کاربری زمین برای کاربری های الف) مسکونی و خدماتی، ب) کشاورزی، ج) صنعتی

پس از به دست آوردن نقشه شبیه‌سازی شده کاربری زمین در سال ۷۵، فرآیند کالیبراسیون با مقایسه این نقشه با نقشه واقعی کاربری زمین در سال ۷۵ آغاز می‌شود. در صورتی که این نقشه‌ها باهم به میزان مناسب همپوشانی نداشته باشند، ابتدا مقادیر α و سپس نمودارهای مربوط به قوانین انتقال اتوماتای سلولی تغییر داده می‌شوند تا جایی که نقشه حاصل از مدل‌سازی با نقشه واقعی بیش‌ترین همپوشانی را داشته باشد. نتایج حاصل از مقایسه نقشه مدل‌سازی سال ۱۳۷۵ با نقشه واقعی کاربری زمین در این سال در جدول شماره ۲ آورده شده‌اند. همان طور که ملاحظه می‌شود، مقادیر به دست آمده در مقایسه نقشه‌ها قبل از کالیبراسیون و بعد از آن تفاوت عمده‌ای باهم دارند و نتایج به دست آمده پس از کالیبراسیون به مراتب بهتر هستند که نشان‌دهنده تأثیر مثبت کالیبراسیون در بهبود کارکرد مدل است.

راستی آزمایی یک قسمت از عملیات کالیبراسیون است و بدین منظور انجام می‌شود که اطمینان حاصل کند مدل کالیبره شده همه متغیرها و شرایطی که نتایج مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهند به درستی ارزیابی می‌کند یا خیر. در عملیات راستی آزمایی، با استفاده از نقشه واقعی کاربری زمین در سال ۱۳۶۵ و به‌کارگیری مدل کالیبره شده، مدل‌سازی برای سال ۱۳۸۵ صورت می‌گیرد و نقشه شبیه‌سازی شده سال ۱۳۸۵ با نقشه واقعی سال ۱۳۸۵ مقایسه می‌شود. در صورتی که برازش لازم بین نقشه‌ها وجود داشته باشد، مدل برای استفاده در پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها برای سال ۱۴۱۰ مناسب است. در صورتی که مدل برازش لازم را نداشته باشد، مجدداً عملیات کالیبراسیون مدل صورت می‌گیرد تا پارامترهای مدل اصلاح شوند. در جدول شماره ۲ می‌توان مقادیر به دست آمده ضریب کاپای فازی را در عملیات راستی آزمایی برای کل نقشه و تک‌تک کاربری‌ها مشاهده کرد.

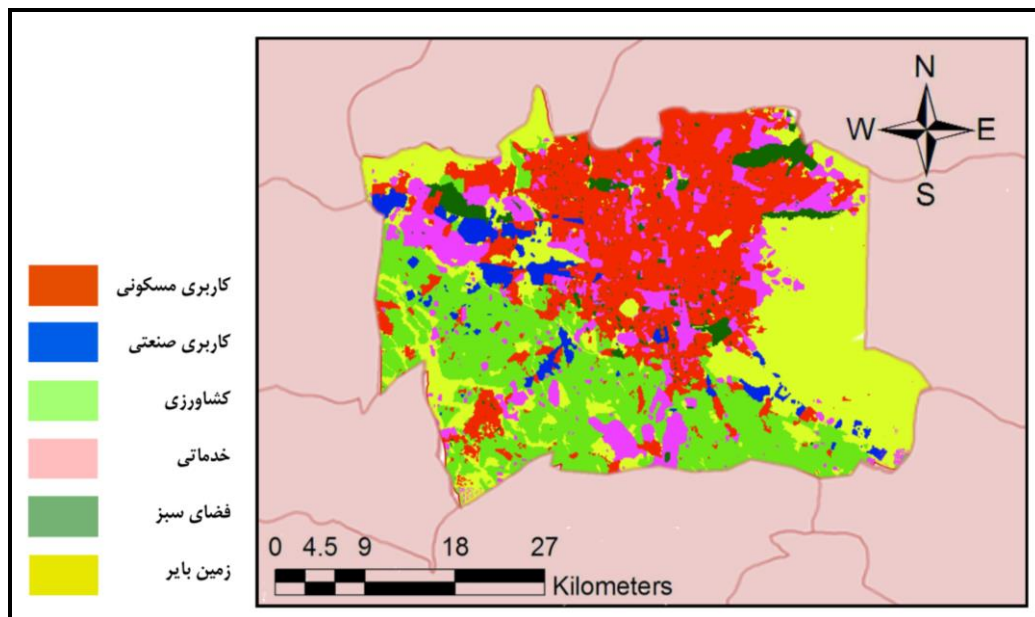
جدول ۲- مقادیر ضرایب کاپای فازی برای مراحل قبل از کالیبراسیون، بعد از کالیبراسیون و راستی آزمایی مدل

کاربری	قبل از کالیبراسیون	بعد از کالیبراسیون	راستی آزمایی
تمام کاربری‌ها	۰/۷۲۱	۰/۹۴۳	۰/۹۰۶
کاربری مسکونی	۰/۷۲۸	۰/۹۲۲	۰/۸۳۷
کاربری کشاورزی	۰/۷۵۴	۰/۹۴۲	۰/۹۷۳
کاربری صنعتی	۰/۶۴۴	۰/۹۳۵	۰/۹۵۲
کاربری خدماتی	۰/۹۳۳	۰/۹۴۹	۰/۹۰۰
زمین‌های بایر	۰/۹۰۷	۰/۹۳۸	۰/۸۷۹

منبع: یافته‌های تحلیلی تحقیق، ۱۳۹۲.

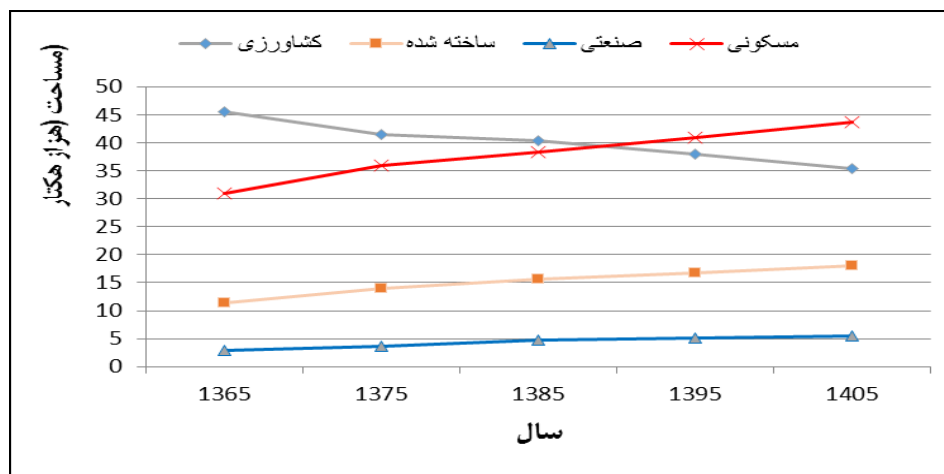
با توجه به مقایسه صورت گرفته میان نقشه کاربری زمین واقعی و نقشه حاصل از فرآیند مدل‌سازی، و همپوشانی بالای بین دو نقشه و همچنین مقادیر قابل‌قبول ضرایب کاپای فازی در این مقایسه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان مطابقت نتایج عملیات مدل‌سازی با نقشه واقعی قابل‌قبول است. در نتیجه می‌توان از مدل برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در سال ۱۴۰۵ استفاده کرد. ضرایب کاپای فازی که با مقایسه نقشه کاربری زمین سال ۱۳۸۵ حاصل از فرآیند مدل‌سازی و نقشه واقعی کاربری زمین در همین سال در عملیات راستی آزمایی به دست آمد، نشان داد که مدل کالیبره شده، قابلیت مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در یک مدت زمان ۲۰ ساله را دارا می‌باشد. لذا با توجه به نتایج به دست آمده، اقدام به مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین برای سال ۱۴۰۵ گردید. برای انجام مدل‌سازی در این مرحله، از نقشه واقعی کاربری زمین در سال ۱۳۸۵، به عنوان نقشه مبنا استفاده

می‌شود و با استفاده از مدل کالیبره شده، نقشه کاربری زمین در سال ۱۴۰۵ (افق مدل‌سازی) به صورت شکل شماره ۵ به دست آمد.



شکل ۵- نقشه کاربری زمین کلانشهر تهران در سال ۱۴۰۵

در طول مدت زمان مدل‌سازی (سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۵) تغییرات قابل توجهی در سطوح اشغال‌شده توسط کاربری‌های مختلف در کلانشهر تهران روی داده است. این تغییرات که عموماً برنامه‌ریزی‌شده نیز نیستند، متأثر از ساختار اقتصادی اجتماعی منطقه و عواملی مانند افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی نامتوازن در این منطقه هستند. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام‌شده برای تقاضای کاربری زمین شهر تهران مشخص می‌شود که تقاضا برای کاربری‌های مسکونی، صنعتی و خدماتی تا انتهای دوره مدل‌سازی (سال ۱۴۰۵) همچنان در حال افزایش است و تقاضا برای زمین‌های کشاورزی در این مدت کاهش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده تغییرات ساختار اشتغال در منطقه است. نمودار شماره ۱ تغییرات مساحت کاربری‌های مختلف را در دوره مدل‌سازی به نمایش می‌گذارد. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که در این دوره از مساحت کاربری‌های کشاورزی و زمین‌های بایر کاسته شده و این روند از سال ۱۳۶۵ تا پایان دوره مدل‌سازی همچنان ادامه می‌یابد. در عوض در این دوره به مساحت کاربری‌های مسکونی، خدمات عمومی و صنعتی اضافه شده است. افزایش مساحت کاربری‌های شهری در برابر کاربری‌های غیرشهری و ادامه روند شهری شدن منطقه می‌انجامد که این شهری شدن یا به صورت رشد کلانشهر تهران در قالب اضافه شدن مناطق شهری جدید به آن و یا تبدیل سکونتگاه‌های کوچک اطراف تهران به شهر رخ می‌نماید. نگاهی به وضعیت تقسیمات شهری در منطقه هم این موضوع را تأیید می‌کنند. برای مثال شهرستان اسلامشهر در این دوره از یک روستا با جمعیت چند صد نفر به یک شهر حاشیه‌ای با جمعیت چند صد هزار نفری تبدیل شده است.



نمودار ۱- تغییرات کاربری زمین کلانشهر تهران در دوره ۱۳۸۵-۱۴۰۵

همچنین نتایج به دست آمده نشان‌دهنده این است که افزایش مساحت کاربری صنعتی در برابر افزایش مساحت کاربری‌های مسکونی و خدماتی ناچیز است که این را هم می‌توان ناشی از تغییرات ساختار اشتغال در منطقه و رشد بیشتر مشاغل خدماتی در برابر مشاغل صنعتی دانست. بررسی نقشه‌های کاربری زمین مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۵ نشان‌دهنده این است که کاربری‌های مسکونی در این دوره بیش‌ترین رشد را به خود اختصاص داده‌اند و بیشتر در زمین‌های خالی و اطراف سایر مناطق مسکونی در مناطق داخلی شهر رشد یافته‌اند. مناطق جنوب غرب و غرب کلانشهر تهران هم از دیگر مناطقی هستند که کاربری‌های مسکونی در آن‌ها رشد یافته‌اند. کاربری‌های خدماتی نیز بیشتر در حاشیه کاربری‌های مسکونی و زمین‌های خالی درون شهر و در حاشیه جنوبی و غرب شهر توسعه یافته‌اند. مناطق صنعتی نیز بیشتر در قسمت‌های غربی و در مجاورت سایر مناطق صنعتی توسعه یافته‌اند. همچنین با مقایسه نقشه‌های کاربری زمین با نقشه‌های تناسب، نشان‌دهنده این است که کاربری‌های در جاهایی که تناسب بیشتری دارند توسعه می‌یابند. این امر دلیل عدم توسعه کاربری‌های شهری را در نواحی شمالی و شرقی منطقه توضیح می‌دهد. چرا که این مناطق به دلیل قرارگیری در ارتفاعات بالا و داشتن شیب زیاد و همچنین دوری از مسیرهای دسترسی، دارای تناسب بسیار کمی برای توسعه کاربری‌های مسکونی، خدماتی و شهری هستند.

نتیجه‌گیری:

در پاسخ به سؤال اول پژوهش مبنی بر میزان تغییرات کاربری زمین در دوره مدل‌سازی، مدل با بهره‌گیری از داده‌های جمعیت و اشتغال و پیش‌بینی آن‌ها در افق مدل‌سازی، میزان فعالیت‌های مختلف و در نتیجه میزان کاربری‌های مختلف و تغییرات آن‌ها را مشخص می‌کند (نمودار شماره ۱). بر این اساس تبدیل اراضی غیرشهری (زمین‌های زراعی و بایر) به کاربری‌های شهری (کاربری مسکونی، خدماتی و صنعتی) مهم‌ترین تغییر مشاهده‌شده در دوره مدل‌سازی است. البته میزان رشد کاربری‌های مسکونی، بیش از کاربری‌های خدماتی و بسیار بیشتر از کاربری‌های صنعتی است که می‌تواند ناشی از افزایش جمعیت و تغییر ساختار اشتغال منطقه و افزایش مشاغل خدماتی و مانند آن باشد. همچنین در پاسخ به سؤال دوم در مورد نحوه پراکنش کاربری‌های زمین، باید گفت که مدل با در نظر داشتن تأثیرات عوامل زیست‌محیطی و مدیریتی بر پراکنش فضایی کاربری‌های زمین و تحلیل داده‌های زیست‌محیطی مانند نقشه‌های شیب اراضی، ارتفاع، جنس خاک، سیل، زلزله، پوشش گیاهی و داده‌های مدیریتی مانند نقشه منطقه بندی و نقشه مناطق حفاظت‌شده و در چهارچوب اتوماتای سلولی، پراکنش فضایی کاربری‌های زمین را در قالب نقشه‌های کاربری زمین مشخص می‌کند. بررسی نقشه‌های خروجی مدل نشان‌دهنده

این است که تغییرات کاربری که بیشتر به صورت تغییر کاربری‌های کشاورزی و بایر به کاربری‌های مسکونی، خدماتی و صنعتی نمود پیدا می‌کند، بیشتر در زمین‌های خالی واقع در نواحی شهری و یا در زمین‌های کشاورزی و بایر حاشیه جنوب تا غرب کلانشهر تهران رخ می‌دهد که بیشتر ناشی از وضعیت مناسب ناهمواری‌ها در این منطقه (شیب و ارتفاع کم)، دسترسی مناسب به مسیرها و راه‌های اصلی است. همچنین نواحی شمالی و شرقی کمتر دچار تغییرات می‌شوند که دلیل این را هم می‌توان بیشتر در وضعیت نامناسب ناهمواری‌ها در این منطقه (شیب و ارتفاع زیاد) و کمبود زیرساخت‌ها و خدمات شهری جستجو کرد. با توجه به قابلیت مدل ملند در استفاده از داده‌های مختلف اجتماعی اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین و حصول نتایج رضایت‌بخش در مرحله راستی‌آزمایی مدل، می‌توان از آن به عنوان ابزاری یکپارچه برای برنامه‌ریزی فضایی بهره گرفت. خروجی‌هایی که در سطوح منطقه‌ای و محلی تولید می‌شوند، قابلیت به کار گرفته شدن در برنامه‌ریزی استراتژیک را برای مرزهای نهایی توسعه شهری و یا ظهور توسعه‌های جدید شهری دارا می‌باشند. نقشه‌های پتانسیل و کاربری زمین به دست آمده از مدل هم می‌توانند قابلیت‌های استفاده زیادی داشته باشند، از جمله اینکه نقشه‌های پتانسیل می‌توانند برای تخمین فشارهایی که در نتیجه رشد شهری به زمین وارد می‌آید به کار روند. نقشه‌های کاربری زمین هم می‌توانند برای محاسبه نقشه‌هایی که نشان‌دهنده احتمال توسعه بعضی مناطق در آینده هستند به کار روند.

منابع و مأخذ:

۱. بابایی اقدم، فریدون و حسین ابراهیم‌زاده (۱۳۹۱): «مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی زراعی و بایر به سطوح ساخته‌شده در منطقه شهری اردبیل با استفاده از مدل *CLUE-S*»، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶، زاهدان، صص ۲۱-۳۴.
۲. بریاسولیس، هلن (۱۳۸۹): الگوهای تحلیلی تغییر کاربری زمین. ترجمه مجتبی رفیعیان، مهران محمودی، انتشارات آذرخش، چاپ اول، تهران.
۳. داداش پور، هاشم و عبدالله زارعی (۱۳۹۱): «پیش‌بینی تغییرات توسعه شهری شهرستان نوشهر با استفاده از مدل *LUCIA*»، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ۳، شماره ۱۱، مردادشت، صص ۳۷-۵۸.
۴. جوادی دودران، یاشار (۱۳۸۷): مدلسازی تغییرات پوشش زمین با استفاده از *Cellular Automata* در محیط *GIS*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تهران.
۵. ضیائی‌ان فیروزآبادی، شکیبا، علیرضا، متکان و علی‌اکبر علی‌صادقی (۱۳۸۸): «سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلول‌های خودکار به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری شهرکرد»، فصلنامه علوم محیطی، سال ۷، شماره ۱، تهران، صص ۱۴۸-۱۳۳.
۶. کولین لی (۱۳۶۶): مدل‌ها در برنامه‌ریزی شهری، مقدمه‌ای بر کاربرد مدل‌ها در برنامه‌ریزی شهری، ترجمه: مصطفی عباس زادگان، انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول، تهران.
۷. مرکز آمار ایران (۹۰، ۸۵، ۷۵، ۶۵، ۱۳۵۵): سرشماری عمومی نفوس و مسکن شهرستان تهران.
۸. ملکی، داود (۱۳۸۹): مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از روش اتوماتای سلولی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

۹. مهدیزاده، جواد (۱۳۷۹): دیدگاه‌ها و راهکارهای جدید در برنامه‌ریزی کاربری زمین، مجموعه مقالات زمین و توسعه شهری، مرکز مطالعات و تحقیقات معماری و شهرسازی ایران، تهران.

۱۰. وانگ، ژین هائو و رایتر فوم هوفه (۱۳۹۰): روش‌های تحلیلی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، ترجمه: مجتبی رفیعیان و ایوب شریفی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، چاپ اول، تهران.

11. Adger W. N. and Brown, K. (1994): *Land use and the causes of global warming. Chichester [England] , John Wiley.*
12. Agostinho, Joaquim Manuel Mocito. (2007): *Master thesis, Memorial University of Newfoundland.*
13. Barredo, J. I., Kassanko, M., Demichelli, L., McCormick, N., Lavallo, C. (2002): *Modelling future of cities using cellular automata: the MOLAND methodology. European and Greek experience in GIS European seminar, Thessaloniki.*
14. Batty, M. and Xie, Y (1994): *From cells to cities. Environment and Planning B: Planning and design, 21, 31-48.*
15. Batty, M. and P. M. Torrens (2001): *Modeling complexity: the limits to prediction. CyberGeo 201.*
16. Couclelis H. (1985). *Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics. Environment and Planning A, 17 (5), 585-596.*
17. FAO (1995): *Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Land and Water Bulletin 2. Rome.*
18. Hagen, A. (2003): *Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. International Journal of Geographical Information Science, 17 (3), 235-249.*
19. Kaiser, Edward J., David R. Godschalk and F. Stuart Chapin, Jr(1995). *Urban Land Use Planning. Urbana, IL: University of Illinois Press.*
20. Lavallo, C., Barredo, J.I., McCormick, N., Engelen, G., White, R., and Uljee, I. (2004): *The MOLAND model for urban and regional grow forecast - A tool for the definition of sustainable development paths. EUR 21480 EN, European Commission, DG-Joint Research Centre. Ispra.*
21. Long, Hualou. Guoping t. Xiubin Li & Gerhard K.Heilig. (2007): *Socio-economic driving forces of land-use changes in Kunshan, the Yangtze River Delta economic area of China. Journal of Environmental Management, 83, 351-364.*
22. Petrov, L. O. , Lavallo, C., Kasanko, M. (2009): *Urban land use scenarios for a rourist region in Europe: Applying the MOLAND to Algarve Portugal. Landscape and Urban Planning, 92, 10-23.*
23. Phipps, M (1989): *Dynamical behavior of cellular automata under the constraint of neighborhood coherence. Geographical Analysis, 21(3), 197-215.*
24. Pijanowski, B. C., Pithadia, S., Shellito, B.A. and Alexandridis, K., (2005): *Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of Upper Midwest of the United States. International Journal of Geographical Information Sciences, 19, 197-215.*

25. Seto L. C., Woodcock C. E., Song C., Huang X., Lu J. & Kaufmann R. K. (2002): *Monitoring land use change in the Pearl river delta using Landsat TM. International journal of remote sensing*, 23 (10), 989-1003.
26. Skole, L. David. (2002): *Tracking Change for land use planning and policy making*.
27. Verburg P. H., Veldkamp A. (2001): *The Role of Spatially Explicit Models in Land Use Change Research: a Case Study for Cropping Patterns in China. Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 177-190.
28. Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., Veldkamp, A. (2004): *Land Use Modelling Current Practice and Research Priorities. GeoJournal*, 61, 309-324.
29. White R. and Engelen G. (2000): *High-resolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional systems. Computers, Environment and Urban Systems*, 24, 383-400.
30. Williams. B., Shahumyan H., Boyle I., Convery S. & White R. (2012): *Utilizing an Urban-Regional Model (MOLAND) for Testing the Planning and Provision of Wastewater Treatment Capacity in the Dublin Region 2006-2026, Planning Practice and Research*, 27 (2), 227-248.
31. Wilson, A. G (1981): *Catastrophe theory and bifurcation: applications to urban and regional systems. Croom Helm, London*.