تلفیق مدل چند عامله و اتوماتای سلولی نامنظم برای شبیه‌سازی رشد شهری

مهرداد بیجندی[1] علی‌اصغر آل‌شیخ[2]
ابوالقاسم صادقی نیارکی[3]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۵/۰۷

****

چکیده

چگونگی رشد و گسترش شهرها همواره یکی از موضوعات چالش برانگیز در برنامه‌ریزی شهری بوده و تاکنون مدل‌های متعددی در خصوص رشد شهری ارائه شده است. هر چند بسیاری از این مدل‌ها روش تحقیق و یا فرضیات متفاوتی دارند ولی در یک نگاه عام می‌توان گفت این مدل‌ها تا به امروز اهداف مشترکی را دنبال کرده‌اند که همان ارائه درک بهتر از چگونگی تحولات شهری است. شهرها را می‌توان سیستم پیچیده‌ای دانست که از تعاملات عوامل گوناگون شکل گرفته‌اند. امروزه اتوماتای سلولی و روش عامل مبنا برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده در طیف وسیعی از مطالعات بکارگرفته شده‌اند. روش عامل مبنا با قابلیت ذاتی شبیه سازی تعاملات اجتماعی و محیطی ابزار مناسبی برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده است و اتوماتای سلولی نیز توانایی مناسبی در مدل‌سازی پدیده‌های منتشر شونده دارد. لذا در این تحقیق سعی شده است با ترکیب اتوماتای سلولی نامنظم و سیستم چند عامله، مدلی پویا از چگونگی رشد مناطق مسکونی در مقیاس پلاک‌های شهری ارائه شود. در مدل ارائه شده از اتوماتای سلولی به منظور محاسبه تناسب کلی اراضی برای توسعه استفاده شده است. در این محاسبه از فاکتورهای همسایگی، تناسب فیزیکی، دسترسی و قیود مکانی در قالب ۱۲ معیار مکانی استفاده شده است.

پنج عامل شامل عامل برنامه‌ریز شهری، عامل توسعه دهنده و عامل‌های خانوار در سه گروه درآمدی بالا، متوسط و پایین به مدل معرفی شدند. مدل پیشنهادی در شهرک مسکونی ناجی آباد کاشان پیاده‌سازی شد و نتایج ارزیابی نشان داد که مدل ارائه شده با دقت ۷۱ درصد قادر به پیش‌بینی رشد شهری است. برنامه‌ریزان شهری می‌توانند با تغییراتی در این مدل، آن را برای برنامه‌ریزی و مدیریت رشد شهری استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی عامل مبنا، اتوماتای سلولی نامنظم، رشد شهری، مدل‌سازی چند عامله، GIS

****

۱- دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی bijandi@mail.kntu.ac.ir
۲- استاد گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی – دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی alesheikh@kntu.ac.ir
۳- استادیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی – دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی(نویسنده مسئول) a.sadeghi@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

بی‌تردید یکی از چالش‌های مهم عصر امروز را می‌توان رشد بی‌رویه و سریع شهرنشینی دانست. این مسأله امروز دامن‌گیر کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه است *(Al-shalabi et al., 2013)*. براساس گزارش سازمان ملل تا سال ۲۰۵۰ حدود ٦٦ درصد جمعیت جهان معادل ٦/٤ میلیارد نفر در مناطق شهری زندگی خواهند کرد، این در حالی است که این رقم در سال ۱۹۵۰ تنها حدود ۷٤٦ میلیون نفر، معادل ۳۰ درصد جمعیت جهان بوده است *(United Nations, 2014)*. این روند افزایشی مسائلی از قبیل تأمین مسکن مناسب برای شهروندان، تأمین انرژی، خدمات بهداشتی و درمانی، آموزش، اشتغال، حمل و نقل و غیره را به دنبال دارد که می بایست سیاست‌گذاری‌ها و راهکارهای مناسبی برای حل این مسائل اندیشیده شود.

در این راستا مدل‌سازی رشد شهری می‌تواند نقشی کلیدی در هدایت استراتژی‌ها و راهبردهای شهری ایفاء نماید. برنامه‌ریزان بطور سنتی از مدل‌های مختلفی برای فرموله کردن و طراحی رشد شهری استفاده کرده‌اند با این حال این مدل‌ها فاقد پویایی لازم هستند و رفتارهای اجتماعی افراد و تعاملات آنها را در نظر نمی‌گیرند. کاستی‌های روش‌های قبلی منجر به افزایش استفاده از روش‌های مدل‌سازی نوین مانند اتوماتای سلولی[1] و مدل عامل مبنا[2] شده است *(Batty, 2008)* بویژه هنگامی که ارائه چشم‌اندازی از رشد آینده شهری مدنظر باشد. هر چند روش‌های مدل‌سازی جدید دارای قابلیت‌های ذاتی متعددی هستند لیکن افزایش توان محاسباتی رایانه‌ها، امکان ذخیره‌سازی اطلاعات حجیم به همراه در دسترس بودن منابع مختلف داده ای نقش بسزایی در افزایش محبوبیت آنها ایفاء کرده است. مدل‌های عامل مبنا مورد استفاده در برنامه‌ریزی شهری را می‌توان ترکیبی از دو مؤلفه اصلی شامل نقشه منطقه مطالعاتی و مدلی از عامل‌ها، که نمایش دهنده موجودیت‌های تصمیم‌گیر هستند، دانست *(Parker et al., 2003)*. با توجه به نوع مسأله، عامل‌های متعددی را می توان در نظر گرفت ولیکن در اکثر مطالعات قبلی عامل‌ها به عنوان تصمیم‌گیران مدل‌های عامل مبنا تلقی می‌شوند که بر اساس اولویت‌های خودشان اقدام می کنند.

QuanLi و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل عامل مبنا برای بررسی زمانی مکانی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در حوضه آبریز Erhali چین توسعه دادند. آنها ابتدا فاکتورهای مؤثر در تغییرات کاربری را تعیین و سپس عامل‌ها و قوانین رفتاری آنها را مشخص کردند. در ادامه با استفاده از آنالیزهای مکانی و پردازش داده‌ها در سیستم اطلاعات مکانی[3] و پیاده‌سازی مدل عامل مبنا تغییرات کاربری اراضی را شبیه‌سازی نمودند. در این تحقیق از دو رویکرد مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبور[4] و تصادفی برای حرکت و تصمیم‌گیری عامل‌ها استفاده شد. ارزیابی دقت نتایج نشان داد هر چند خروجی مدل مبتنی بر الگوریتم کلونی زنبور نتایج بهتری از لحاظ محاسباتی و هندسی ارائه کرده است لیکن این الگوریتم برای همه کاربری‌ها مناسب نیست و در کاربری‌هایی مانند فضای سبز، که ارتباط مستقیم کمتری با فعالیت‌های انسانی دارند، تفاوت معنی داری در دقت نتایج بدست نیامده است.

Xie, Y. و Fan (۲۰۱٤) مدلی عامل مبنا ارائه کردند تا رشد شهرهای واقع در فاصله میانی راه ابریشم[5] در چین را شبیه‌سازی نمایند. هدف از این تحقیق کشف مسیرهای ممکن رشد شهری و بررسی اثرات بالقوه و تعاملات برونزای شهرها بر یکدیگر بود. مدل توسعه داده شده با درنظر گرفتن توأم متغیرهای مکانی شهرها و متغیرهای دیگر از قبیل جمعیت، منابع آب، پتانسیل توسعه پایدار در سطح منطقه‌ای پیاده‌سازی گردید. در این تحقیق از مدل جاذبه شهری[6] برای بررسی اثرات بیرونی شهرها بر یکدیگر استفاده شد و سه نوع عامل شامل برنامه‌ریزان منطقه‌ای، حامیان منابع طبیعی و

1- Cellular Automata
2- Agent Based Model
3- Geospatial Information System
4- Ant Colony Algorithm
5- Silk-Road
6- Gravity Model

توسعه دهندگان در نظر گرفته شدند و شبیه‌سازی در سناریوهای مرتبط با هر کدام از این عامل‌ها انجام شد.

Tian و همکاران (۲۰۱۱) مدلی عامل مبنا برای شبیه سازی رشد شهری در منطقه شهری فونیکس[1] ایالات متحده ارائه کردند. شبیه‌سازی رفتار مقامات منطقه‌ای، توسعه دهندگان املاک، ساکنان و طرفداران محیط زیست و مدل‌های تصمیم‌گیری با استفاده از ساختار باور–میل–نیت انجام شد و سه سناریو شامل ادامه وضع موجود، اولویت توسعه اقتصادی و اولویت حفاظت از محیط زیست مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق از شاخص‌های لندسکیپ[2] برای مقایسه نتایج الگوهای مکانی حاصله از سناریوها در زمان‌های مختلف استفاده شد.

حسینعلی و همکاران (۲۰۱۳) برای شبیه سازی گسترش شهری مدلی عامل مبنا توسعه دادند. مدل ارائه شده برای شبیه‌سازی گسترش کاربری اراضی شهری و مسکونی در شهرستان‌های قزوین و البرز به مساحت ۱۶۲۱ کیلومترمربع واقع در استان قزوین ایجاد و پیاده‌سازی شد. در این مطالعه چهار سناریو تعریف شد. سناریوی اول نشاندهنده الگوی فعلی توسعه است که با استفاده از مدل کالیبره شده ارزیابی شده است. سناریوهای دوم و سوم شامل سیاست‌هایی با استراتژی تشویق و تنبیه بود. سناریوی چهارم نیز روی تغییرات جمعیتی عامل‌ها تمرکز دارد. نظر به ماهیت مکانی مسئله، برای فراهم سازی بستر حرکت و جستجوی عامل‌ها و نیز جمع‌بندی و تحلیل نتایج به دست آمده، از سیستم اطلاعات مکانی استفاده گردید. نتایج نشان داد که روند کنونی رشد شهری متمایل به پراکندگی در منطقه مورد مطالعه است.

به عنوان جمع بندی تحقیقات پیشین می توان گفت اساساً مدل‌سازی رشد شهری در ایران به ندرت انجام شده است و تحقیق در این زمینه می‌تواند نقشی بسزا در ارائه درکی بهتر از چگونگی روند رشد آن ایفاء کند. علاوه بر این، به نظر می رسد پیچیدگی محاسبات در فضای برداری سبب شده است اغلب تحقیقات پیشین، ساختاری رستری داشته باشند که اگرچه مزایای قابل توجهی از جمله سهولت محاسبات دارد لیکن برای مدل‌سازی در مقیاس محلی با محدودیت‌های جدی روبروست. همچنین علیرغم اینکه امروزه استفاده از عامل‌ها[3] یک ابزار متعارف در مدل‌سازی سیستم‌های زمین است ولی مطالعات اندکی در ایران در این رابطه انجام شده است و مطالعات گوناگون خارجی موجود نیز به دلیل ماهیت پیچیده مسأله تغییر و توسعه کاربری اراضی هنوز تطابق کامل با وضعیت موجود ندارند *(حسینعلی و همکاران، ۲۰۱۳)*.

بررسی نویسندگان این تحقیق، حاکی از آن است که در ایران تا کنون رشد محلی مناطق شهری با تلفیق تکنیک‌های عامل مبنا و اتوماتای سلولی، مدل‌سازی نشده است و اقدامی نوآورانه به شمار می‌رود چرا که اکثر مطالعات قبلی اولاً در مقیاس منطقه‌ای و ثانیاً با دیدگاهی غیر از مدل‌سازی مکانی به این مسأله پرداخته‌اند که اگرچه لازم است ولی کافی نیست. این در حالی است که چگونگی رشد محلی یک پدیده عملاً می‌تواند الگوهای رشد منطقه‌ای آن را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار دهد لذا پژوهش حاضر به‌منظور ترمیم این شکاف تحقیقاتی هدف‌گذاری گردیده است.

در این تحقیق با تلفیق اتوماتای سلولی نامنظم و عامل سعی شده است یک سیستم چندعامله برای شبیه سازی پارسل مبنا رشد شهری در کاشان توسعه داده شود. هدف از این تحقیق آن است که درک بهتری از نیروهای محرک و مکانیزم‌های شهرنشینی در منطقه مطالعاتی صورت پذیرد و با ترکیب اتوماتای سلولی نامنظم و سیستم چندعامله، پویایی شهری در منطقه مطالعاتی از طریق شبیه سازی تصمیمات و رفتار افراد ارائه شود.

ادامه مقاله بدین‌صورت است که در بخش دوم انواع مدل‌های مکانی رشد شهری به طور مختصر مرور شده است. در بخش سوم مواد و روش تحقیق بیان شده

[1]- Phoenix
[2]- Landscape Metric
[3]- Agents

است و در بخش چهارم نتایج مدل و ارزیابی آن ارائه گردیده و در نهایت در بخش پنجم نتیجه گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده عنوان شده است.

۲- مروری بر انواع مدل‌های مکانی رشد شهری

تغییرات و تحولات مکانی شهرها و بررسی تأثیر روند شهرنشینی بر محیط فیزیکی شهر همواره یکی از موضوعات مورد علاقه محققان شهری بوده است. در دهه گذشته مدل‌های متعددی توسعه داده شده که از دیدگاه‌های مختلف قابل دسته بندی است. در این بخش سعی شده است انواع مدل‌های مکانی رشد شهری بطور اجمالی ارائه شود.

۲-۱- مدل اتوماتای سلولی

مدل‌سازی اتوماتای سلولی در ۱۹۴۰ آغاز شد و از سال ۱۹۸۰ وارد حوزه شهری شد و تاکنون مدل‌های متعدد و متنوعی از آن ارائه شده است ***(Sante e al., 2010)***. این روش مدل‌سازی برمبنای شبکه‌ای از سلول‌های دو بعدی است که از تصاویر ماهواره‌ای بدست آمده است. هر سلول کاربری مشخصی دارد و وضعیت کاربری آینده آن براساس کاربری‌های مجاور آن و سیر قبلی تغییر کاربری‌ها در منطقه در قالب قوانین انتقال مشخص می‌شود. اتوماتای سلولی شامل پنج مؤلفه اصلی شامل سلول‌ها، شبکه‌بندی سلول‌ها، گام‌های زمانی، همسایگی و قوانین انتقال است ***(Ahmed et al., 2012)***. یکی از محدودیت‌های استفاده از اتوماتای سلولی در مناطق شهری آن است که ماهیت منظم سلول‌ها در این مدل مطابقت چندانی با ساختار هندسی نامنظم پلاک‌های شهری ندارد. لذا محققین سعی کرده‌اند با توسعه مدل‌های اتوماتای سلولی نامنظم این محدودیت را مرتفع نمایند که بعنوان نمونه می‌توان به تحقیق ابوالحسنی و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد. ماهیت دینامیک و مکانی اتوماتای سلولی، انعطاف پذیری و سازگاری آن با داده های سنجش از دور و GIS از مزایای این روش از مدل‌سازی است. از آنجایی که این تحقیق به منظور شبیه سازی رشد مناطق مسکونی در مقیاس پلاک‌های شهری هدف‌گذاری گردیده، لذا از اتوماتای سلولی نامنظم استفاده شده است.

۲-۲- مدل فراکتال

مدل‌های فراکتال بیشتر به عنوان هندسه فراکتال[1] شناخته می‌شوند که در ۱۹۸۰ معرفی شدند و از آن زمان تاکنون در بسیاری از زمینه‌ها از جمله شبیه‌سازی رشد شهری بکار رفته‌اند ***(Triantakonstantis et al., 2012)***.

فراکتال‌ها اشکال هندسی پیچیده‌ای هستند که دارای جزییات مشابه در ساختار خود و در مقیاس‌های متفاوت می‌باشند. تشابه فرایندهای رشد شهری با سیستم‌های خودسازمانده و چند مقیاسه موجب استفاده از این مدل‌ها در شبیه‌سازی رشد شهری شده است ***(Dimitrios, 2012a)***. مدل‌های فراکتال شهری برمبنای این فرضیات هستند که شهرها در مقیاس مشخصی از الگوهای رشد فراکتال پیروی می‌کنند و همچنین قابلیت خودسازماندهی دارند***(Murcio et al., 2013)***. هر چند مدل‌های فراکتال می‌تواند ابزاری مناسب برای شناسایی فرم شهرها و رشد آنها باشد لیکن نتایج این مدل‌ها بستگی مستقیم به تکنیک‌های جنرالیزاسیون[2] نقشه‌هایی دارد که برای تعیین بعد فراکتال مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۳- مدل شبکه عصبی

مدل شبکه عصبی یک روش محاسباتی است و نحوه عملکرد آن مشابه سیستم عصبی انسان است. این مدل‌ها از چندین لایه ورودی و خروجی تشکیل شده‌اند و به دلیل ویژگی‌های ترکیبی و جدید در لایه‌ها، قابلیت یادگیری، به طور گسترده در بسیاری از زمینه‌ها از جمله مطالعات شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مقایسه با دیگر تکنیک‌های مدل‌سازی چند متغیره می‌توان گفت در مدل شبکه عصبی

[1]- Fractal Geometry
[2]- Generalization

داده‌های ورودی بدون وابستگی هستند *(Dimitrios, 2012b)*. مشکلی که در مدل‌های شبکه عصبی وجود دارد این است که این مدل‌ها می‌توانند به راحتی در تعداد لایه‌های زیاد، وزن‌ها را به گونه‌ای تنظیم کنند که نتایج مطلوبی برای داده‌های نظارتی حاصل شود، درحالی‌که خروجی مدل برای داده‌های آزمون ممکن است چندان مطلوب نباشد. امروزه سعی شده است با ترکیب شبکه عصبی و یادگیری عمیق[1] این مشکل مرتفع شود و در هر لایه قابلیت بازسازی داده‌ها حفظ شود به نحوی که از بیش‌برازش[2] مدل در شبکه عصبی جلوگیری گردد.

۲-٤- مدل عامل مبنا

مدل‌های عامل مبنا یکی دیگر از تکنیک‌های مدل‌سازی محسوب می‌شوند که اولین نمونه‌ها در مورد استفاده از این مدل در سیستم اطلاعات جغرافیایی به سال ۱۹۹٦ برمی‌گردد *(Heppenstall et al., 2016)*.

سیستم‌های ناهمگنی که رفتار دینامیک دارند و از تعاملات موجودیت‌های خودمختار تشکیل شده‌اند می‌توانند توسط این روش مورد مطالعه قرار گیرند *(Heckbert et al., 2010)*. معماری مدل‌های عامل مبنا به چهار دسته تقسیم‌بندی می شود: (الف) منطقی (ب) واکنشی (ج) باور-میل- نیت[3] (د) ترکیبی و چند لایه *(آل شیخ و بهزادی، ۲۰۱۳)*. وقتی مدل عامل مبنا بر اساس معماری BDI پیاده‌سازی شود به این معناست که تصمیم‌گیری بر اساس ساختار داده‌ای است که نشان دهنده باور، میل و نیت عامل است. ایده اصلی در این نوع معماری آن است که برای عامل قصدها و اهدافی که باید به آنها برسد و همچنین اعمالی که می‌تواند انجام دهد مشخص شود تا عامل برنامه‌ای برای رسیدن به آن هدف تولید کند *(آل شیخ و بهزادی، ۲۰۱۳)*. این معماری بر مبنای استدلال عملی شکل گرفته است که به وزن دادن به ملاحظات مختلف و متضاد به نفع یا علیه گزینه‌های رقیب هم مربوط می شود *(آل شیخ و بهزادی، ۲۰۱۳)*.

۲-۵- مدل رگرسیون منطقی

مدل رگرسیون یک ابزار ریاضی برای تخمین رابطه بین متغیرهاست که این متغیرها می‌توانند وابسته و یا مستقل باشند. مدل رگرسیون منطقی تخمینی از مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه است و با فرمول زیر بیان می‌شود *(Triantakonstantis et al., 2012)*:

$$P = \frac{exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_n X_n)}{1 + exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_n X_n)} \quad (1)$$

پارامترهای این فرمول در اکثر مطالعات برنامه ریزی کاربری شهری بدین صورت تعریف می‌شوند که P عبارت است از احتمال تغییر کاربری سلول از یک کاربری به کاربری دیگر، $\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_n$ عبارت است از ضرایب ثابت رگرسیون و $X_1, X_2 \ldots, X_n$ متغیرهای تجربی هستند که بیانگر فاکتورهای مؤثر در رشد شهری مانند فواصل دسترسی می‌باشند. درک تعاملات بین محرک‌های رشد شهری در رگرسیون منطقی بسیار پیچیده است و رهیافتی که در این رابطه می توان پیشنهاد کرد ترکیب آن با سایر تکنیک‌های مدل‌سازی از جمله مدل‌سازی عامل مبنا است.

۲-٦- مدل درخت تصمیم‌گیری[4]

درخت‌های تصمیم‌گیری الگوریتم‌های غیرپارامتریکی هستند که در بسیاری از حوزه‌ها از جمله مطالعات برنامه‌ریزی شهری بکارگرفته شده‌اند.یک درخت تصمیم به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی و آنالیز تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد *(Spekkers et al., 2014)*.

معمولاً درخت‌های تصمیم‌گیری شامل یک گره ریشه، شاخه‌ها و برگ، می‌باشند. شاخه‌ها با پاره‌خط‌های اتصال بین گره‌ها نشان داده می‌شوند و از هر یک از

[1]- Deep Learning
[2]- Overfitting
[3]- Belief–Desire–Intention (BDI)
[4]- Decision Tree

گره‌های داخلی دو یا چند شاخه دیگر می‌توانند منشعب شوند. فرایند تصمیم‌گیری در این مدل شامل سه مرحله است: ساخت درخت و انشعاب گره‌ها، فرایند هرس درخت که منجر به درخت‌هایی با پیچیدگی کمتر می‌شود و انتخاب درخت بهینه.*(Spekkers et al., 2014)*

در کنار مزیت‌هایی مانند فهم آسان و قابلیت ترکیب با تکنیک‌های دیگر می‌توان به این نکته اشاره کرد که محدودیت اصلی این نوع از مدل‌سازی، الگوریتم ساده آن است بویژه هنگام تصمیم‌گیری درخصوص مسائل پیچیده که منجر به تعدد شاخه‌ها و افزایش نمایی حجم درخت می‌شود.

۲-۷- ماشین بردار پشتیبان[1]

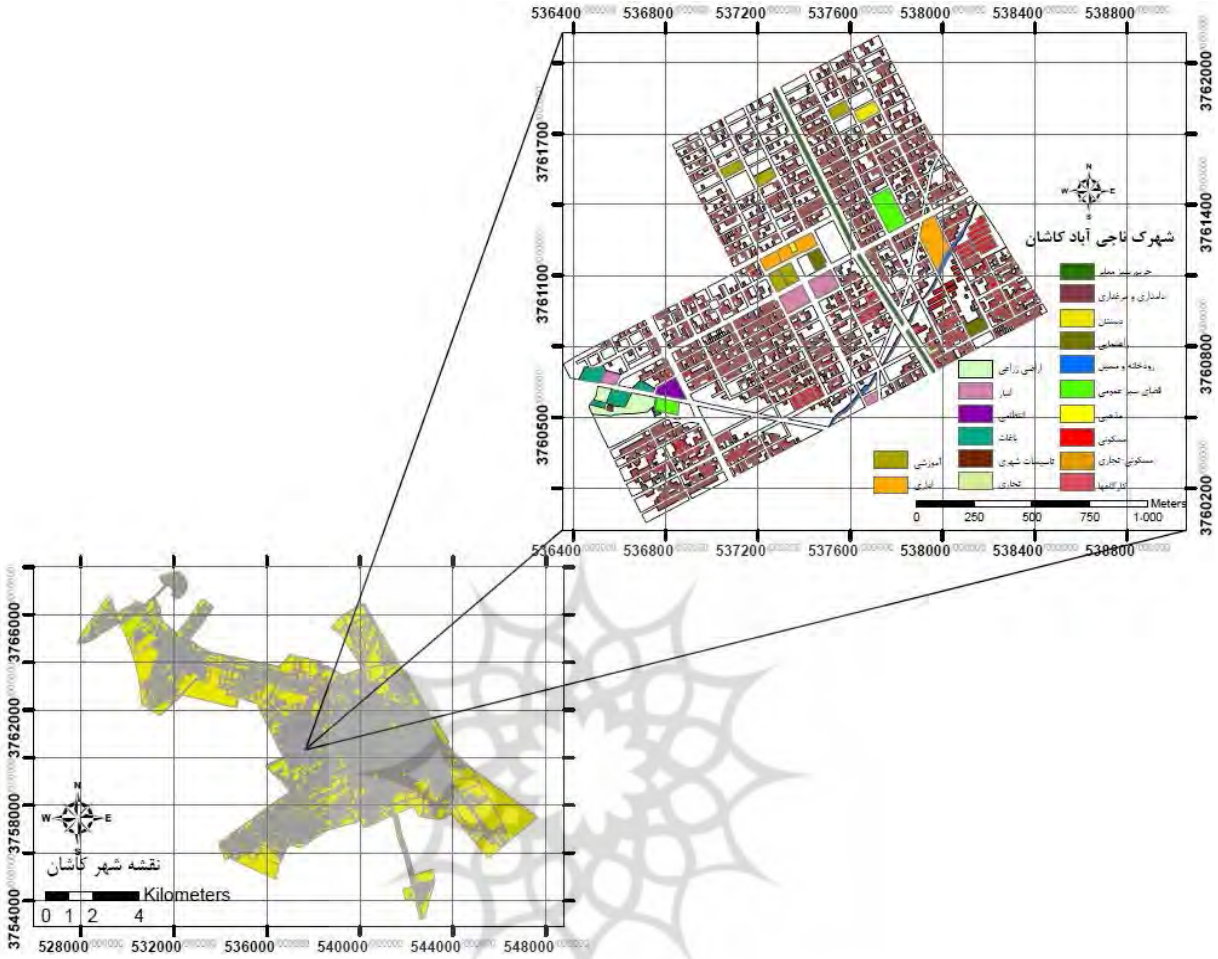
ماشین‌بردار پشتیبان از الگوریتم‌های تشخیص الگوست که با معیار قرار دادن بردارهای پشتیبان، بهترین دسته‌بندی و تفکیک بین داده‌ها را ارائه می‌دهد *(Huang et al., 2010)*. مرزبندی و دسته‌بندی داده‌ها براساس بردارهای پشتیبان، که مجموعه‌ای از نقاط در فضای n بعدی داده‌ها هستند، انجام می‌شود. جابجایی بردارهای پشتیبان ممکن است منجر به تغییر نتایج دسته‌بندی شود. ماشین‌بردار پشتیبان یکی از بهترین الگوریتم‌ها در مواجهه با داده‌های دارای توزیع خطی است. استراتژی این الگوریتم در مواجهه با داده‌های غیرخطی استفاده از تابعی ریاضی تحت عنوان Kernel functions است که امکان نگاشت داده‌ها به فضای قابل تفکیک را فراهم می‌کند *(Huang et al., 2010)*. از محدودیت‌های این نوع از مدل‌سازی می‌توان به انتخاب بهینه تابع کرنل اشاره کرد، چرا که کاملاً در خروجی مدل مؤثر است.

۳- مواد و روش تحقیق

منطقه مطالعاتی در این تحقیق شهرک ناجی آباد (فاز۲) در شهر کاشان می‌باشد(نگاره۱) که از محله‌های جدید این شهر است. شهر کاشان در ۲۳۵ کیلومتری جنوب تهران و ۲۵۰ کیلومتری شمال شهر اصفهان واقع شده است *(طرح جامع کاشان، ۱۳۸۵)*. این شهر از طرف شمال و شرق به شهرستان آران و بیدگل در کویر مرکزی ایران، از جنوب به شهر نطنز و قمصر و ارتفاعات مشرف به آن و از غرب به شهر نیاسر و مشهد اردهال و ارتفاعات مشرف به آنها محدود است. محله ناجی آباد از مشخص‌ترین مصداق‌های محله‌های جدید و نوساز شهر کاشان است که در دوره زمانی دهه ۷۰-۱۳۶۰ و براساس طرح تفصیلی و آماده‌سازی شکل گرفته است *(طرح جامع کاشان، ۱۳۸۵)*. بافت این محدوده به صورت طراحی شده شکل گرفته و میانگین مساحت قطعات آن بطور متوسط ۲۵۰ مترمربع است که عمدتاً شکل‌گیری آنها در جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد*(طرح جامع کاشان، ۱۳۸۵)*.

نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۵، نقشه شیب، جنس خاک، نقشه دسترسی به راه‌های اصلی و فرعی، نقشه مسیل و رودخانه، نقشه موقعیت بازار و مراکز تجاری، نقشه موقعیت مراکز آموزشی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است*(طرح جامع کاشان، ۱۳۸۵)*. از ویژگی‌های مدل توسعه داده شده، انعطاف‌پذیری آن است بطوری که کاربر می‌تواند اغلب پارامترهای مدل عامل مبنا را معرفی نماید و این قابلیت امکان ایجاد سناریوهای مختلف رشد شهری را برای برنامه‌ریزان فراهم می‌کند. از داده‌های سال ۸۵ برای شبیه‌سازی رشد شهری در سال ۹۲ استفاده می‌شود و نتایج با داده‌های واقعی مربوط به همین سال مقایسه و بدین ترتیب نتایج حاصل از مدل ارزیابی می‌شود. در ادامه پیش‌بینی رشد شهری برای سال ۱۴۰۰ نیز ارائه می‌شود. در نگاره ۲ فرایند مدل‌سازی رشد شهری در قالب چارچوب مفهومی نشان داده شده است. در مدل ارائه شده پلیگون‌های کاداستری به مثابه اتوماتای نامنظم عمل می‌کنند، که وضعیت و ویژگی‌های خود را دارند. ویژگی‌های پلیگون‌های برداری در مشخصات عامل‌ها کدگذاری می‌شوند و تغییر در کاربری نتیجه تغییر حالت در وضعیت پلیگون‌هاست که به طور مستقیم با رفتار

[1]- Support Vector Machine



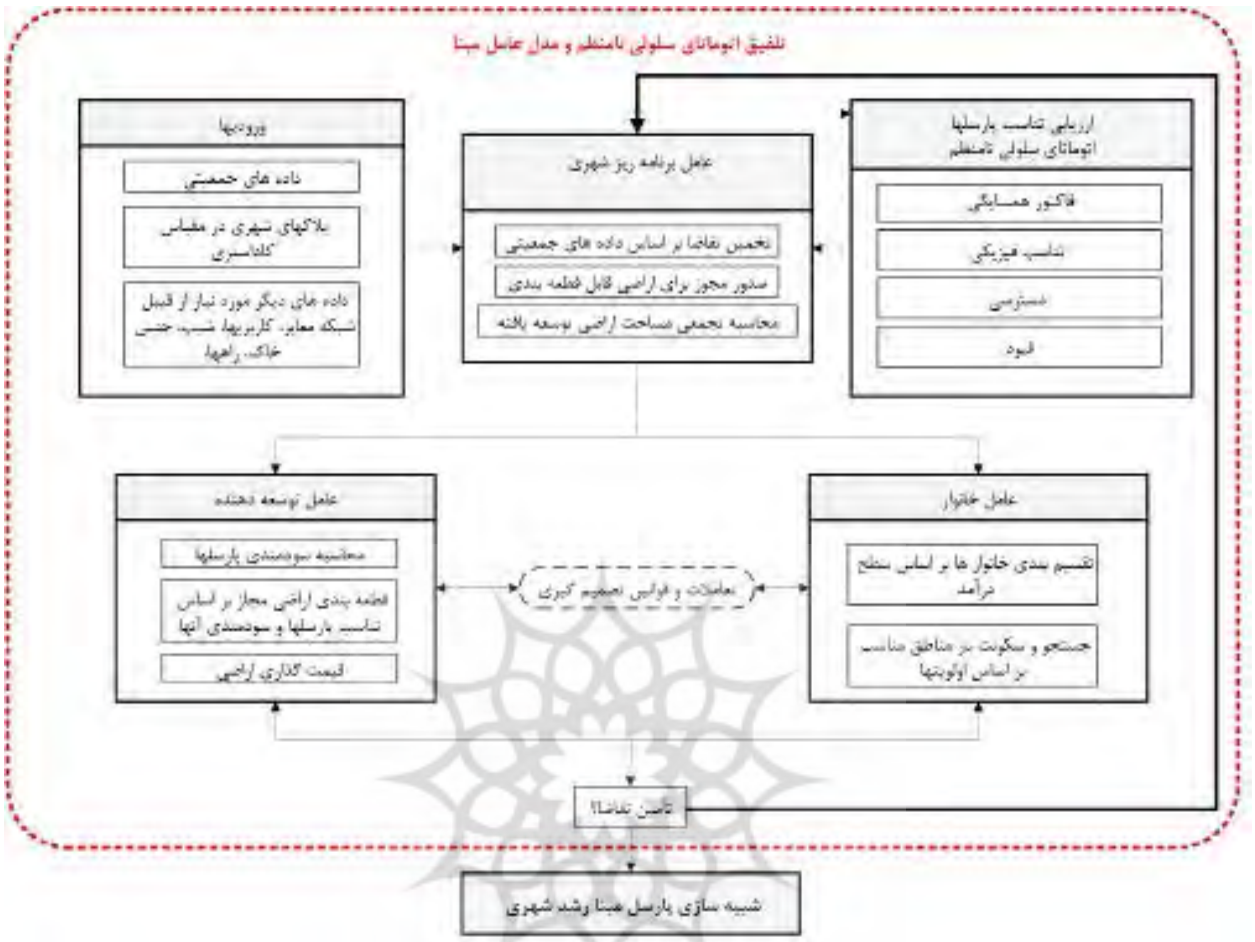
نگاره ۱: منطقه مطالعاتی

عوامل مرتبط است. در این مدل، تغییرات در هر تکرار بروزرسانی می‌شود و هر گام زمانی معادل یکسال در نظر گرفته شده است. اولین گام در مدل ارزیابی تناسب کلی قطعات زمین است که یکی از پارامترهای مؤثر در فرایند تصمیم‌گیری عامل‌هاست. محاسبه تناسب مکانی پارسل‌ها برای توسعه توسط اتوماتای سلولی نامنظم و بر اساس چهار معیار همسایگی، تناسب فیزیکی، دسترسی و قیود انجام می‌شود. دوازده فاکتور مؤثر متناسب با این معیارها دسته‌بندی شدند و پیش از ترکیب به صورت نرمالیزه بین صفر تا صد درآمدند. تناسب کلی هر قطعه زمین براساس تابع ترکیب خطی وزندار زیر محاسبه شده است:

$$S_i = \sum_1^n (w_i * F_i) \qquad (۲)$$

در این رابطه S_i تناسب کلی پارسل i است. F_i مقدار هر کدام از فاکتورهای مؤثر برای پارسل i ، n تعداد فاکتورها و w_i وزن فاکتورهاست که برای عامل‌های مختلف مطابق جدول ۱ تعریف شده است. وزن فاکتورها با توجه به نظرات کارشناسی و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[1] در نظر گرفته شده است. دسترسی در این مطالعه به معنای سهولت دستیابی پارسل به یک موقعیت می‌باشد. امتیاز دسترسی بالاتر به معنای فاصله کوتاه‌تر است. قیود مکانی به معنای محدودیت‌های روند توسعه هستند و هر چه فاصله پارسل از این قیود بیشتر باشد امتیاز تناسب بالاتری برای توسعه خواهد داشت. موارد مذکور در فرایند نرمال‌سازی مقادیر فاکتورها پیش از ترکیب رعایت

[1]- Analytical Hierarchy Process (AHP)



نگاره ۲: مدل مفهومی پیشنهادی برای شبیه‌سازی رشد شهری

شده است. در این تحقیق شعاع همسایگی بصورت شعاع ۶۰۰ متری از لبه های هر پارسل در نظر گرفته شده است که این فاصله بصورت سعی و خطا تعیین شده است. در زمینه تناسب فیزیکی نیز می توان پارامترهای گوناگونی را مانند اقلیم، پوشش گیاهی و... در نظر گرفت لیکن تغییرات محلی در اغلب این پارامترها چندان قابل توجه نیست. از آنجایی که در تحقیق حاضر مدل‌سازی در مقیاس محلی انجام می‌شود لذا سعی شده است از فاکتورهایی استفاده شود که حتی‌الامکان بیانگر تناسب فیزیکی منطقه مطالعاتی در مقیاس محلی باشند. همچنان که در جدول (۱) مشخص شده است برای تناسب فیزیکی، فاکتورهای شیب و جنس خاک در نظر گرفته شده است.

در گام‌های بعدی فعالیت عامل‌ها در مدل شروع می‌شود. بازیگران متعددی در توسعه محیط شهری نقش ایفاء می‌کنند. در این تحقیق عامل‌ها در سه دسته کلی عامل برنامه‌ریز شهری، عامل توسعه دهنده و عامل‌های خانوار تقسیم‌بندی شدند که عامل‌های خانوار با توجه به سطح درآمدی خانوارها به سه دسته خانوارهای دارای درآمد بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شده‌اند. عامل برنامه‌ریز شهری تقاضای اراضی را تخمین می‌زند و براساس اولویت‌ها مجوز قطعه‌بندی برای تعدادی از اراضی را صادر می‌کند. عامل توسعه دهنده سودمندی پارسل‌ها را محاسبه می‌کند و اراضی که مجوز تفکیک دارند را قطعه بندی می کند و پلیگون‌های بزرگ اراضی به قطعات ۲۰۰ متر مربعی تفکیک می‌شوند. در ادامه عامل‌های خانوار به جستجوی محیط می‌پردازند و براساس اولویت‌هایشان

زمین مناسب را برای سکونت انتخاب می‌کنند. این روند تا سکونت همه عامل‌های خانوار ادامه می‌یابد و روند مدل‌سازی توسعه رشد شهری تا حصول میزان تقاضا دنبال می‌شود. در این تحقیق سعی شده است با توجه به روند توسعه شهری در ایران رفتار بازیگران اصلی در منطقه مطالعاتی شبیه‌سازی شود که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

۳-۱- عامل برنامه‌ریز شهری

عامل برنامه‌ریز شهری تقاضای اراضی مسکونی را محاسبه می کند که با استفاده از نرخ رشد جمعیت (تولد و مهاجرت) محاسبه می‌شود. تخمین تقاضا براساس متغیرهایی است که توسط کاربر تعریف می‌شود تا انعطاف‌پذیری مدل در مواجهه با سناریوهای مختلف جمعیتی تأمین گردد. تعداد خانوارهای جدید در هر گام زمانی از طریق فرمول زیرمحاسبه می شود: (*Chow, 2014 & Dahal*)

$$HH_{t+1} = (P_t * G/100)/AH \qquad (۳)$$

در این معادله HH_{t+1} عبارت است از تعداد خانوارهای جدید در زمان $t+1$، P_t عبارت است از جمعیت در زمان t، G نرخ رشد جمعیت به درصد و AH بعد خانوار می‌باشد. تمامی این مقادیر توسط کاربر تعریف می‌شود و قابل تغییر است. همانگونه که پیشتر گفته شد در این تحقیق هر گام زمانی معادل یکسال و جمعیت سال ۸۵ شهرک ناجی آباد براساس داده‌های طرح جامع کاشان ۱۱۱۶۶ نفر، نرخ رشد جمعیت ۲/۳۳ درصد و بعد خانوار ۳/۹ در نظر گرفته شده است*(طرح جامع کاشان، ۱۳۸۵)*. بعد از مشخص شدن تعداد خانوارهای جدید، عامل برنامه‌ریز شهری با توجه به اولویت‌هایی که دارد نسبت به تغییر ویژگی‌های پلیگون‌های زمین اقدام نموده و اراضی قابل تفکیک را مشخص می‌کند. اولویت‌های این عامل شامل مقدار تناسب کلی پارسل و تأمین حداقل ۲۵ مترمربع زیربنا برای هر نفر می‌باشد. یکی دیگر از اولویت‌های این عامل عدم گسترش کالبدی شهر و تأمین زمین مسکونی از درون شهر است که مطابق جدول (۱) بوسیله وزن فاکتورهای همسایگی تأمین شده است.

یکی دیگر از فعالیت‌هایی که توسط عامل برنامه‌ریز انجام می‌شود محاسبه مساحت اراضی توسعه یافته در هر گام

جدول۱: وزن فاکتورهای مورداستفاده در مدل برای عامل‌ها

معیار	فاکتور	عامل برنامه‌ریز شهری	عامل توسعه دهنده	عامل خانوار		
				درآمد بالا	درآمد متوسط	درآمد پایین
محیطی	شیب	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۱
	جنس خاک	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۱
دسترسی	فاصله تا فضاهای آموزشی	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۰
	فاصله تا فضای سبز عمومی	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۱۰
	فاصله تا فضاهای مذهبی	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۸
	فاصله تا فضاهای تجاری	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۰
همسایگی	همسایگی کاربری مسکونی	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۶
	همسایگی کاربری تجاری	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۳
	همسایگی کاربری اداری انتظامی	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱۶
قیود مکانی	فاصله از مسیل و رودخانه	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۵
	فاصله از کارگاه‌ها	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۵
	فاصله از دامداری و مرغداری	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۵

زمانی است. به عبارت دیگر تعدادی از اراضی مجوزدار پس از هر گام زمانی و در پی تعاملات عامل‌های توسعه‌دهنده و خانوار به حالت «توسعه یافته» تغییر وضعیت می‌دهند. در این حالت ممکن است هنوز تمامی اراضی مجوزدار توسعه نیافته باشند و یا بالعکس نیاز باشد که اراضی جدید به مدل اضافه شود. تمام این محاسبات را عامل برنامه‌ریز در پایان هر گام زمانی انجام می‌دهد و مساحت تجمعی اراضی توسعه یافته را محاسبه و با میزان تقاضا مقایسه می‌کند.

۳-۲- عامل توسعه دهنده

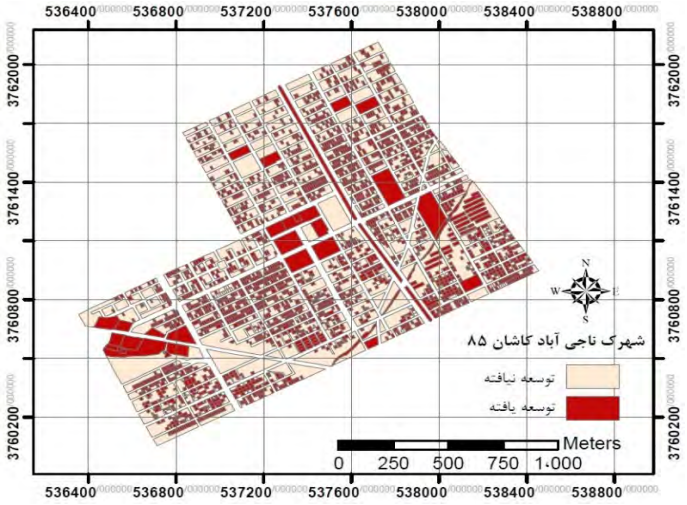
این عامل نقش توسعه دهنده اراضی مسکونی و مسئولیت «عرضه» را به عهده دارد. هدف این عامل آن است که در بین اراضی مجوزدار جستجو کند، آنهایی که حائز بیشترین «تقاضا» هستند را انتخاب کند و وضعیت آنها را در حالت «آماده‌سازی» قرار دهد. سپس قطعه بندی اراضی با استفاده از ابزار خودکار تفکیک اراضی ***Dahal&Chow(2014a)*** انجام می‌شود. فرایند خودکار قطعه بندی اراضی براساس ضوابط و مقررات طرح جامع در منطقه مطالعاتی به نحوی انجام گرفت که مساحت قطعات تفکیکی کمتر از۲۰۰ مترمربع نباشد. مساحت اراضی مورد تقاضا قبلاً براساس ساختار خانوارهای مدل در هر گام زمانی توسط عامل برنامه‌ریز محاسبه شده است و این اطلاعات در اختیار عامل توسعه دهنده قرار می‌گیرد. عامل توسعه دهنده اراضی را براساس سودمندی و به ترتیب نزولی در سه کلاس قیمت گذاری می کند و ویژگی‌های پلیگون‌های اراضی را برای عرضه به بازار تغییر می‌دهد. برای عامل توسعه دهنده تناسب کلی بیشتر به منزله سودمندی بیشتر است. محاسبه تناسب کلی هر پارسل براساس معادله (۲) و با اختصاص وزن‌های متناسب با عامل توسعه دهنده در جدول (۱) می‌باشد. بیست درصد اراضی در کلاس قیمت بالا، ۵۰ درصد در کلاس قیمت متوسط و ۳۰درصد اراضی در کلاس قیمت پایین دسته بندی می‌شوند. این درصدها با استفاده از نظرات کارشناسی و بازدید میدانی در نظر گرفته شده و قیمت گذاری اراضی متناسب با دسته‌بندی عامل‌های خانوار انجام شده است.

راه حل دیگری که می‌توانست بجای مشخص کردن درصد برای کلاسه بندی اراضی در نظر گرفته شود این بود که اراضی به ترتیب تناسب نزولی مرتب شوند و بطور مثال اراضی دارای تناسب ۱۰۰ تا ۸۰ همیشه به عنوان کلاس قیمت بالا در نظر گفته شوند لیکن این رویکرد تناسب چندانی با نظام اقتصادی ایران ندارد. رویکرد «درصدی» که در این تحقیق بکار رفته است منجر به توسعه اراضی مرغوب در گام‌های زمانی نخستین مدل می شود و در سال‌های بعد اراضی با تناسب کمتر دوباره در سه کلاس قیمت‌گذاری می‌شوند. این رویکرد تناسب بیشتری با تورم حاکم بر اقتصاد ایران دارد چرا که با گذشت زمان ممکن است با اراضی مواجه شویم که در سال‌های قبل در کلاس‌های قیمتی پایین‌تری بوده‌اند.

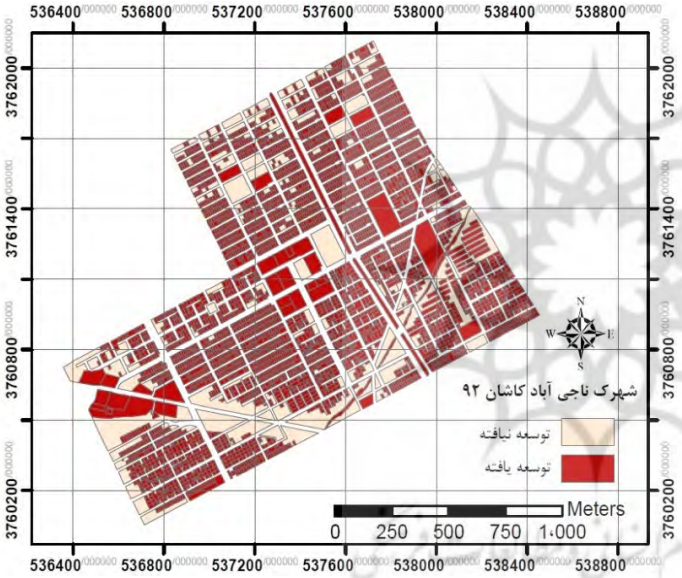
۳-۳- عامل‌های خانوار

عامل‌های خانوار معرف افرادی هستند که در اراضی مسکونی سکونت دارند و «تقاضای» اراضی را در مدل مشخص می‌کنند. خانوارها مشخصات متفاوتی از قبیل سطح تحصیلات، تعداد فرزندان، سطح درآمد دارند که می‌توان دسته‌بندی‌های متفاوتی را برای هر مشخصه ارائه داد. از آنجایی که درآمد مهمترین فاکتور برای انتخاب مکان سکونت است لذا در این تحقیق عامل‌های خانوار در سه گروه درآمد بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شده‌اند و فرض شده است ۲۰ درصد جمعیت دارای درآمد بالا، ۵۰ درصد درآمد متوسط و ۳۰ درصد دارای درآمد پایین هستند. عامل‌های خانوار در هر گام زمانی به مدل اضافه می‌شوند و به جستجوی مکان مناسب برای سکونت در بین اراضی «آماده‌سازی شده» اقدام می‌نمایند.

عامل‌ها بر اساس ماکزیمم سودمندی، موقعیت مناسب را برای سکونت انتخاب می‌کنند و وضعیت آن را به «توسعه یافته» تغییر می‌دهند. مدل تا جایی ادامه پیدا می‌کند که تمام عامل‌های خانوار در هر گام زمانی سکونت



نگاره ۳: نقشه وضع موجود ۱۳۸۵

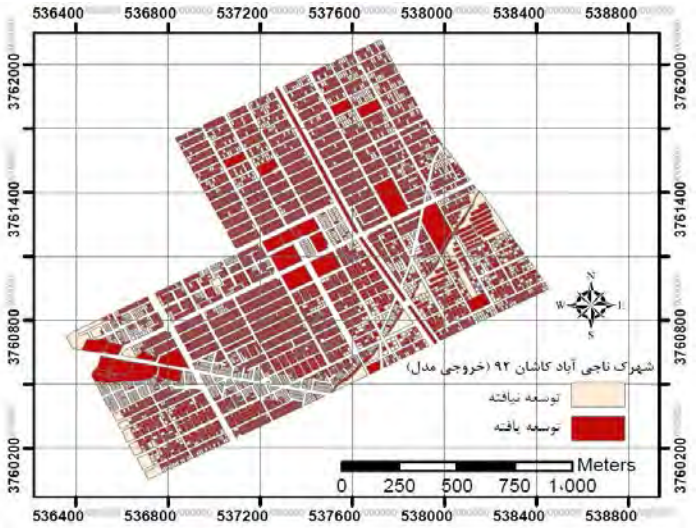


نگاره ٤: نقشه وضع موجود ۱۳۹۲

یابند و عامل‌هایی که نتوانند سکونت یابند تا گام زمانی بعدی منتظر می‌مانند و به عامل‌های خانوار در گام زمانی بعد افزوده می‌شوند. شایان ذکر است در این تحقیق فرض شده است که عامل برنامه ریز به میزان دو برابر تقاضا برای اراضی مسکونی مجوز تفکیک صادر کند ولی عامل توسعه دهنده با سیاست تعادل عرضه و تقاضا اراضی را آماده سازی نموده و مساحت تقاضای موجود را به عنوان سقف مساحت آماده سازی انتخاب می‌کند. لذا پس از کسر مساحت خیابان‌ها و معابر، که طراحی آن بطور خودکار توسط ابزار تفکیک اراضی انجام می‌شود، همواره این امکان وجود دارد که عامل خانوار در یک گام زمانی سکونت نیابد. تعداد عامل‌های خانوار در ابتدای هر گام زمانی توسط عامل برنامه‌ریز در اختیار عامل توسعه دهنده قرار می‌گیرد و میزان عرضه بر این اساس تنظیم می‌شود. عامل‌های خانوار اولویت‌های متفاوتی دارند و فاکتورهای مختلف برای هر دسته از عامل‌های خانوار دارای وزن‌های متفاوتی است. تصمیم‌گیری عامل‌های خانوار بر اساس تابع سودمندی است که در این تحقیق از معادله زیر برای محاسبه مقدار سودمندی استفاده شده است *(Brown, 2008)*:

$$u_{(i,r)} = \prod_{i=1}^{m} \left(|\gamma_{(i,f)}|\right)^{a_{ir}} \qquad (٤)$$

در این رابطه $u_{(i,r)}$ مقدار سودمندی پارسل i برای عامل خانوار r، $\gamma_{(i,f)}$ مقدار فاکتور f برای موقعیت



نگاره ۵: خروجی مدل و نقشه رشد شهری ۱۳۹۲

i و α_{ir} نیز وزن فاکتور i برای عامل خانوار r است که از جدول (۱) بدست می‌آید و m تعداد فاکتورهاست (۱۲ فاکتور). در هرگام زمانی عامل‌های خانوار در گروه‌های مختلف درآمدی به مدل اضافه می‌شوند و از میان اراضی آماده‌سازی شده قطعه زمینی را متناسب با درآمد خانوار برای سکونت انتخاب می‌کنند.

در این تحقیق فرایند جستجوی عامل‌های خانوار در محیط بصورت اتفاقی در نظر گرفته شده است و تعداد محدودی از قطعات زمین مورد بازدید عامل‌های خانوار قرار می‌گیرد. این تعداد حداکثر ۲۰ قطعه زمین فرض شده است که اگر عامل خانوار نتواند موقعیت مناسبی برای سکونت پیدا کند باید تا گام زمانی بعدی منتظر بماند. در نظر گرفتن فضای جستجوی محدود تطابق بیشتری با واقعیت دارد چراکه هر خانوار معمولاً فضای محدودی را برای سکونت جستجو می‌کند. اگر کل منطقه مورد بازدید عامل‌ها قرار گیرد مدل به یک مدل بهینه‌ساز تبدیل می‌شود.

٤- نتایج و ارزیابی

در تحقیق حاضر بر مبنای داده‌های ورودی سال مبنا (۱۳۸۵) (نگاره ۳) خروجی مدل و نقشه رشد شهری در منطقه مطالعاتی برای سال هدف (۱۳۹۲) محاسبه شده است (نگاره ۵).

در تحقیق حاضر هر گام زمانی یکسال در نظر گرفته شده و برای ارزیابی نتایج مدل از داده‌های واقعی مربوط به سال هدف (نگاره ٤) استفاده شده است. در این مطالعه از ماتریس خطا برای محاسبه دقت نتایج استفاده شده و معیار مقایسه شاخص کاپا است. برای محاسبه این شاخص ابتدا ماتریس زیر تشکیل می‌شود *(حسینعلی و همکاران، ۲۰۱۳)*:

		نتایج مدل		
		توسعه یافته	توسعه نیافته	جمع ردیف
مشاهدات	توسعه یافته	P_{11}	P_{12}	P_{1T}
	توسعه نیافته	P_{21}	P_{22}	P_{2T}
	جمع ستون	P_{T1}	P_{T2}	کل

سپس شاخص کاپا مطابق روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} = \frac{\sum P_{ii} - \sum P_{iT} P_T}{1 - \sum P_{iT} P_{Ti}} \qquad (۵)$$

در این رابطه P_0 مساحت خروجی‌های صحیح مدل است و نشاندهنده تطابق مدل با واقعیت است و P_c مساحت‌هایی است که بصورت اتفاقی صحیح پیش بینی شده‌اند. P_{ii} نشاندهنده مساحت‌هایی است که در مدل و واقعیت در یک کلاس i قرار گرفته‌اند. P_{iT} نشاندهنده مساحت زمین‌هایی است که در واقعیت کلاس i هستند

و مدل آنها را در کلاس T قرار داده است. P_{Ti} نشاندهنده مساحت‌هایی است که توسط مدل در کلاس i قرار گرفته‌اند حال آنکه در واقعیت در کلاس T هستند. شاخص کاپا در محدوده صفر (عدم تطابق کامل بین نقشه محاسباتی و مشاهداتی) تا یک (تطابق کامل نقشه محاسباتی و مشاهداتی) قرار می‌گیرد.

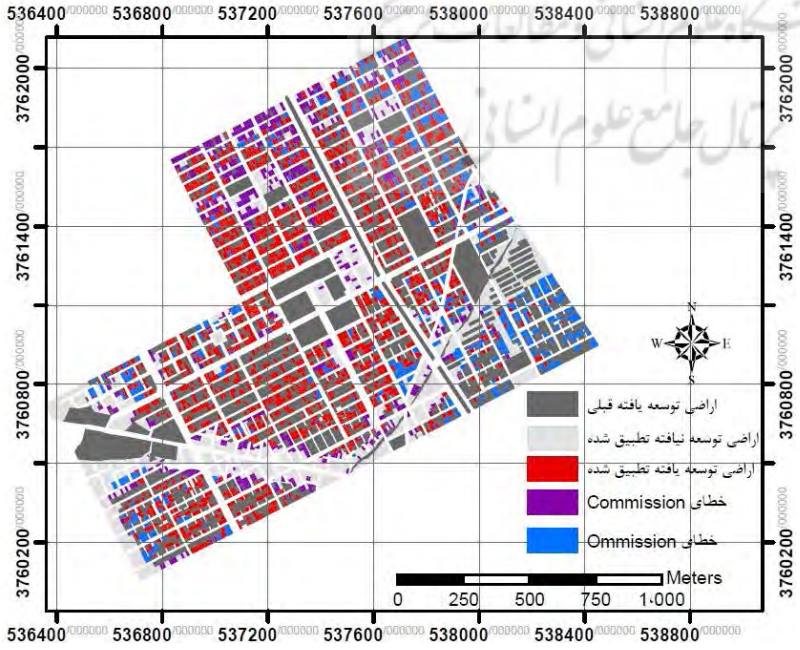
اگر چه استاندارد جهانی و پذیرفته شده ای وجود ندارد ولی شاخص کاپای بزرگتر از ۰/۸۰ غالباً به عنوان معیاری از تطابق مناسب نقشه‌های محاسباتی و نقشه‌های مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود***(Tian et al., 2011)***. در جدول ۲ دقت مدل و خطاها به همراه مساحت‌ها و درصدهای مربوطه ارائه‌شده است. شاخص‌های دقت کاربر، دقت تولید کننده و دقت کلی نیز بر اساس ماتریس خطا محاسبه شده است که در جدول ۳ قابل مشاهده می باشد. در نگاره ٦ نتایج دقت خروجی مدل و خطاهای Omission و Commission بصری سازی و نمایش داده شده است.

در محاسبات جدول ۲ و ۳ مساحت مناطق توسعه یافته قبلی حذف شده است. در اینجا منظور از مناطق توسعه‌یافته قبلی مناطقی است که در داده‌های ورودی مدل توسعه‌یافته بوده‌اند. حذف مساحت مربوط به این مناطق اگرچه دقت کلی مدل را نسبتاً کاهش می‌دهد لیکن منجر به ارزیابی دقیق‌تر نتایج می‌شود. همچنان که در جدول ۲ قابل مشاهده است دقت‌های کاربر و تولید کننده در اراضی «توسعه یافته» از دقت کلی مدل بالاتر است که می‌تواند دلیلی بر طراحی مطلوب مدل و تطابق فرضیات با واقعیات باشد. چرا که مدل با استفاده از تعاملات عامل‌ها و قوانین تصمیم‌گیری توانسته است ساز و کارهایی طراحی کند که اراضی جذاب توسط عامل‌ها برای رشد شهری انتخاب شوند و این اراضی را مطابق با واقعیت شناسایی کند.

جدول ۲: دقت مدل و خطاها

	مساحت (هکتار)
دقت مدل	۵۳ (%۷۱)
خطای Omission	۱۰ (%۱۳)
خطای Commission	۱۲ (%۱٦)

نتایج مدل و دقت‌های کاربر و تولید کننده برای اراضی «توسعه نیافته» پایین تر از دقت کلی مدل است چراکه هدف این تحقیق ارائه مدلی برای «رشد» شهری است لذا مدل به گونه‌ای طراحی گردیده است که دارای حساسیت بالایی نسبت به اراضی «توسعه یافته واقعی» باشد و در نتایج مدل‌سازی



نگاره ٦: نمایش دقت مدل و خطاهای Omission و Commission

حتی الامکان هیچ یک از این اراضی را از دست ندهد لذا این رویکرد کاهش نسبی دقت در اراضی توسعه نیافته را درپی داشته است.

جدول ۳: ارزیابی دقت خروجی مدل

		مشاهدات (هکتار)			
		توسعه یافته	توسعه نیافته	جمع ردیف	دقت کاربر (%)
نتایج مدل (هکتار)	توسعه‌یافته	۳۱	۱۲	۴۳	۷۳
	توسعه‌نیافته	۱۰	۲۲	۳۲	۶۹
	جمع ستون	۴۱	۳۴	۷۵	
	دقت تولیدکننده(%)	۷۶	۶۵		۷۱

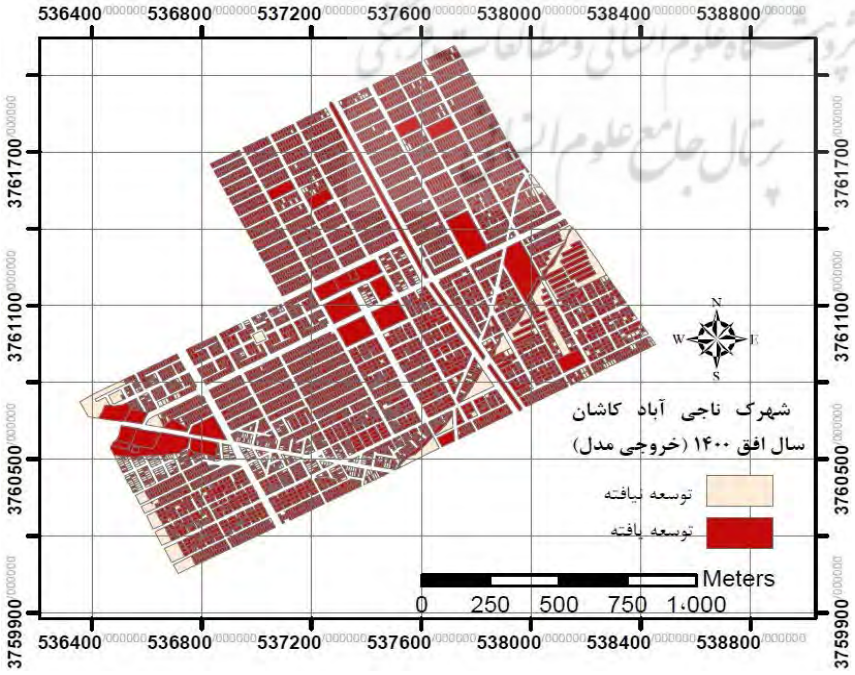
٤-۱- پیش‌بینی رشد شهری در سال افق ۱٤۰۰

در این قسمت سعی شده است با استفاده از مدل توسعه داده شده و الگوریتم محاسباتی آن، پیش‌بینی رشد شهری در منطقه مطالعاتی در سال افق ۱٤۰۰ ارائه گردد. از آنجایی که دقت کلی خروجی مدل مطابق جدول (۳) ۷۱ درصد ارزیابی شده است و هرگونه تغییر در پارامترهای ورودی مدل منجر به تغییر دقت آن خواهد شد لذا به منظور پیش‌بینی رشد شهری در سال افق از پارامترهای اولیه که مدل براساس آنها تنظیم شده است استفاده گردیده است لذا سیاستی که برای تعیین واحد تقاضا برای تولید نقشه‌های سال ۱٤۰۰ دنبال شده، استفاده از پارامترهای اولیه ورودی مدل و نرخ رشد جمعیت ۲/۳۳ درصد و بعد خانوار ۳/۹ و گسترش بازه زمانی اجرای مدل تا سال ۱٤۰۰ است. در نگاره ۷ نقشه خروجی مدل برای سال افق ۱٤۰۰ ارائه شده است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

ازآنجایی‌که رشد شهری سیستمی پیچیده و پویاست لذا برای شبیه‌سازی فرایند رشد آن به مدل‌هایی نیاز است که بتواند تأثیر رفتارها و تصمیم‌گیری‌های فردی را لحاظ نماید. در این پژوهش از مدل‌سازی عامل مبنا برای طراحی و پیاده‌سازی این تعاملات استفاده گردید. از سوی دیگر در تحقیق حاضر از اتوماتای سلولی به منظور شبیه‌سازی تغییر وضعیت هر قطعه زمین در مقایسه با فاکتورهای مختلف مکانی استفاده شد. اگرچه محیط سلولی متداول در روش‌های اتوماتای سلولی امکان مدل‌سازی رشد شهری را تسهیل می‌کند لیکن در این تحقیق سعی گردید مدل‌سازی در مقیاس پلیگون‌های نامنظم اراضی و بصورت پارسل مبنا انجام شود.

اگرچه استفاده از اتوماتای سلولی در این مقیاس



نگاره ۷: پیش‌بینی رشد شهری در منطقه مطالعاتی برای سال افق ۱٤۰۰

محاسبات آن را پیچیده‌تر و پیاده‌سازی آنرا دشوارتر می‌سازد لیکن نتایج مدل‌سازی بصورت واقعی‌تر قابل ارزیابی است چرا که تطابق بیشتری با هستنده‌های جهان واقعی خواهد داشت. در این تحقیق عامل‌ها در سه دسته کلی عامل برنامه‌ریز شهری، عامل توسعه دهنده و عامل‌های خانوار تقسیم بندی شدند که عامل‌های خانوار با توجه به سطح درآمدی خانوارها به سه دسته خانوارهای دارای درآمد بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شده‌اند. عامل برنامه‌ریز شهری تقاضای اراضی را تخمین می‌زند و بر اساس اولویت‌ها مجوز قطعه‌بندی برای تعدادی از اراضی را صادر می‌کند. عامل توسعه دهنده سودمندی پارسل‌ها را محاسبه می‌کند و اراضی که مجوز تفکیک دارند را قطعه‌بندی می‌کند و پلیگون‌های بزرگ اراضی به قطعات ۲۰۰ متر مربعی تفکیک می شوند.

در ادامه عامل‌های خانوار به جستجوی محیط می‌پردازند و براساس اولویت‌هایشان زمین مناسب را برای سکونت انتخاب می‌کنند. این روند تا سکونت همه عامل‌های خانوار ادامه می‌یابد و روند مدل‌سازی توسعه رشد شهری تا حصول میزان تقاضا دنبال می‌شود. محاسبه تناسب مکانی پارسل‌ها برای توسعه توسط اتوماتای سلولی نامنظم و براساس چهار معیار همسایگی، تناسب فیزیکی، دسترسی و قیود انجام می‌شود. دوازده فاکتور مؤثر متناسب با این معیارها دسته‌بندی شدند که این فاکتورها در تصمیم‌گیری انتخاب مکان توسط عامل‌های خانوار نیز نقش داشتند.

ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که دقت تولید کننده برای اراضی توسعه یافته ۷۶ درصد و دقت کاربر برای این اراضی ۷۳ درصد است. همچنین دقت کلی مدل ۷۱ درصد بدست آمد. اگر چه استاندارد جهانی و پذیرفته شده‌ای وجود ندارد ولی شاخص کاپای بزرگتر از ۸۰ درصد غالباً به عنوان معیاری از تطابق مناسب نقشه‌های محاسباتی و نقشه‌های مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود که در این تحقیق دقت ۷۱ درصد بدست آمده است. علت این کاهش دقت حذف مساحت مربوط به مناطق توسعه یافته قبلی می‌باشد که اگرچه دقت کلی مدل را نسبتاً کاهش می‌دهد لیکن منجر به ارزیابی واقعی‌تر نتایج می‌شود. در این تحقیق مدل به گونه‌ای طراحی گردیده که دارای حساسیت بالایی نسبت به اراضی «توسعه یافته واقعی» است و در نتایج مدل‌سازی حتی‌المقدور هیچ یک از این اراضی را از دست نمی‌دهد. این رویکرد از آن جهت در نظر گرفته شده که هدف این تحقیق ارائه مدلی برای رشد شهری است که نتایج ارزیابی نشان داد مدل دارای کارایی لازم در این زمینه می‌باشد.

استفاده از عامل‌هایی با رفتار پیچیده‌تر که انطباق بیشتری با رفتار توسعه‌دهندگان زمین پیدا کنند و همچنین ایجاد روشی برای تبادل تجربیات عامل‌ها نیز مستلزم تحقیقات بیشتر است. این مطالعه در ساختار برداری و در مقیاس محلی انجام‌گرفته است که می‌توان عملکرد آن را در مناطق دیگر باز آزمایی کرد و برای کارهای آینده نیز می‌توان مدل‌سازی را در سطحی وسیع‌تر و در مقیاس منطقه‌ای انجام داد. روش ارزیابی مدل‌های عامل مبنای برداری از دیگر چالش‌های این گونه از مدل‌سازی است.

در این تحقیق از ماتریس خطا و مساحت اشکال هندسی برای ارزیابی نتایج استفاده گردیده است که منعکس کننده تمامی ویژگی‌های هندسی یک قطعه زمین نیست؛ لذا برای تحقیقات آینده توسعه روش‌های ارزیابی پیشرفته‌تر و استفاده از متریک‌های دیگر برای ارزیابی کیفیت مدل‌های عامل مبنای برداری پیشنهاد می‌شود.

انواع شبیه‌سازی‌های عامل مبنا به طور مستقیم بر اساس سناریوهای مختلف طراحی می‌شوند و یافتن راه‌های سیستماتیک و قابل استناد برای برقراری ارتباط بین این سناریوها و خروجی مدل‌ها یک مسئله مهم در شبیه‌سازی‌های عامل مبناست. به عنوان پیشنهاد می‌توان از هستار شناسی (Ontology) برای کاهش مشکلات موجود در استفاده مجدد از مدل‌های عامل مبنایی که برای هدف خاصی برنامه نویسی شده‌اند استفاده نمود.

منابع و مآخذ

۱- طرح جامع شهر کاشان، ۱۳۸۵.

2- Abolhasani, S., Taleai, M., Karimi, M. and Rezaee Node, A., (2016). Simulating urban growth under planning policies through parcel-based cellular automata (ParCA) model. International Journal of Geographical Information Science, pp.1-26.

3- Ahmed B, Ahmed R. (2012). Modeling urban land cover growth dynamics using multi-temporal satellite images: a case study of Dhaka, Bangladesh. ISPRS Int J Geo-Inform. 1:3–31.

4- Al-shalabi M, Billa L, Pradhan B, Mansor S, Al-Sharif AA. (2013). Modelling urban growth evolution and land-use changes using GIS based cellular automata and SLEUTH models: the case of Sana'a metropolitan city, Yemen. Environ Earth Sci. 70:425–437.

5- Alsheikh A, Behzadi S, (2013). "Agent Software", K. N. Toosi University of Technology publication, Tehran.

6- Batty M., (2008). Fifty years of urban modelling: Macro-statics to micro-dynamics. In The Dynamics of Complex Urban Systems: An Interdisciplinary Approach; Albeverio, S., Andrey, D., Giordano, P., Vancheri, A., Eds.; Springer Physica-Verlag: New York, NY, USA, pp. 1–20.

7- Dahal, K.R. and Chow, T.E., (2014a). A GIS toolset for automated partitioning of urban lands. Environmental Modelling & Software, 55, 222–234.

8- Dahal, K.R., Chow, T.E., (2014). An agent-integrated irregular automata model of urban land-use dynamics, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 28(11), pp. 2281-2303.

9- Dimitrios P. (2012a). Urban growth prediction modelling using fractals and theory of Chaos. Open J Civil Eng. 2:81–86.

10- Dimitrios P. (2012b). Urban growth modelling using determinism and stochasticity in a touristic village in western Greece. Open J Civil Eng. 2:42–48.

11- Heckbert, S.; Baynes, T.; Reeson, (2010). A. Agent-based modeling in ecological economics. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1185, 39–53.

12- Heppenstall, A., Malleson, N. and Crooks, A., (2016). "Space, the Final Frontier": How Good are Agent-Based Models at Simulating Individuals and Space in Cities. Systems, 4(1), p.9.

13- 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, 105-113.

14- Huang, B., Xie, C. and Tay, R., (2010). Support vector machines for urban growth modeling. Geoinformatica, 14(1), pp.83-99.

15- Murcio R, Rodríguez-Romo S. (2013). Modeling urban patterns across geographical scales by a fractal diffusion-aggregation approach. Paper presented at: Proceedings of the European Conference on Complex Systems 2012; Cham, Switzerland.

16- QuanLi, X., Kun, Y., GuiLin, W. and YuLian, Y., (2015). Agent-based modeling and simulations of land-use and land-cover change according to ant colony optimization: a case study of the Erhai Lake Basin, China. Natural Hazards, 75(1), pp.95-118.

17- Sante I, Garcia AM, Miranda D, Crecente R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: a review and analysis. Landsc Urban Plan. 96:108–122.

18- Spekkers M, Kok M, Clemens F, ten Veldhuis J. (2014). Decision-tree analysis of factors influencing rainfall-related building structure and content damage. Nat Hazards Earth Sys Sci. 14:2531–2547.

19- Tian, G., Ouyang, Y., Quan, Q., Wu, J. (2011). Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems - A case study of the Phoenix metropolitan region, USA. Ecological Modelling, 222(5), 1129-1138.

20- Triantakonstantis D, Mountrakis G., (2012). Urban growth prediction: a review of computational models and human perceptions. J Geogr Inform Syst. 4:555–587.

21-United Nations, (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision; Department of Economic and Social Affairs: New York, NY, USA.

22- Xie, Y. and Fan, S., (2014). Multi-city sustainable regional urban growth simulation—MSRUGS: a case study along the mid-section of Silk Road of China. Stochastic environmental research and risk assessment, 28(4), pp.829-841.