فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۰، پاییز ۹۸

مروری بر برخی مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری

فاطمه حاجی زاده[1*]

NajmeHajizade@gmail.com

عبدالرسول سلمان ماهینی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۴**

چکیده

جمعیت انسانی همچنان به تجمع در مراکز شهری ادامه می‌دهد که به ناچار رد پای شهری را از طریق ایجاد پیامدهای مهم برای تنوع‌زیستی، آب و هوا، و منابع محیط‌زیستی افزایش می‌دهد. مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری برای کمک به مدیریت پایدار مناطق شهری به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته اند. با وجود تحقیقات گسترده، این مدل‌ها اغلب در فرایند تصمیم‌گیری گنجانده نمی‌شوند. هدف این بررسی مروری بر مدل‌های موجود، از جمله مزایا و محدودیت‌های آن‌ها است. همچنین، به شکل کلی به دلایل عدم اقبال به این مدل ها در فرایند تصمیم گیری پرداخته می شود. بر اساس آمار و بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که در حال حاضر سلول‌های اتوماتا از روش‌های مدل‌سازی غالبی است که در اکثر آثار منتشر شده بکار گرفته شده است. همچنین، از دلایل عدم استفاده از این مدل ها در فرایند تصمیم‌گیری، نا آشنا بودن تصمیم‌گیران با آن‌ها و نیز عدم مقبولیت و محبوبیت مدل برای پژوهش یکپارچه قابل ذکر هستند.

کلمات کلیدی: مدل شهری، پیش‌بینی شهرنشینی، مدل‌سازی، برنامه‌ریزی شهری

۱- دکتری آمایش محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. *(مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

Human and Environment., No. 50 Autumn 2019

A Review of Urban Growth Prediction Models

Fatemeh Hajizadeh[1]* *(Corresponding Author)*
NajmeHajizade@gmail.com

Abdolrasoul Salman Mahiny[2]

Abstract

Human population continues to aggregate in urban centers, who inevitably increases the urban footprint with significant consequences for biodiversity, climate, and environmental resources. Urban growth prediction models have been extensively studied with the overarching goal to assist in sustainable management of urban centers. Despite the extensive research, these models are not frequently included in the decision making process. The survey found a strong recognition of the models' potential in decision making, but limited agreement which these models actually reach enough potential in practice. This review aims are an overview of existing models, including advantages and limitations. Also, in general, it will be discussed to main reason for not applying these models in the decision making. Analysis of aggregated statistics indicates that cellular automata are the prevailing modeling technique, present in the majority of published works. Also, being unfamiliar decision-makers with models and thelack of popularity models to research are significant reasons for not using these models in the decision making.

Keywords: Urban Models, Urbanization Prediction, Modeling, Urban Planning

1-Ph.D., Faculty of Agriculture and Natural Sciences, University of Gorgan, Iran.* (Corresponding Author)
2-Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Sciences, University of Gorgan, Iran.

مقدمه

شهرنشینی به طور قابل توجهی در بیش از دو قرن اخیر افزایش یافته است. در سال ۱۸۰۰ تنها ۲ درصد از مردم در شهرها زندگی می کردند، در حالی که در سال ۱۹۰۰ این میزان به ۱۲ درصد افزایش یافت. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۸ بیش از ۵۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می-کردند و انتظار می‌رود در سال ۲۰۳۰ این میزان به ۷۵٪ برسد. متعاقبا تخمین زده می‌شود که استفاده از زمین شهری در جهان حداقل ۴۳۰۰۰۰ کیلومترمربع افزایش خواهد داشت(۱).

مطالعات مدل‌سازی شهری در کشورهای پیشرفته جزو ضروری رویکردهای محیط‌زیستی در نظر گرفته می شود. مدل‌سازی رشدشهری می‌تواند در تدوین سناریوهای جبران، سازگاری با تغییرات آب و هوایی و جلوگیری از انتشار خاک و زباله و سایر مشکلات شهرنشینی کمک کند. علاوه بر این، با توجه به روند رو به رشد شهرنشینی همراه با عواقب بالقوه محیط‌زیستی، به نظر می‌رسد مدل‌سازی رشد شهری در برنامه‌ریزی شهری، برای کمک به تصمیم‌گیری‌های مربوط به توسعه پایدار شهری نقش عمده ای دارد(۱). جامعه علمی مدل‌های متعدد پیش‌بینی رشد شهری [۱] را، در دهه‌های گذشته به منظور مطالعه پویایی کاربری اراضی شهری و شبیه‌سازی رشد شهری توسعه داده است که در ادامه به آن ها پرداخته می شود.

- مدل های پیش بینی رشد شهری

مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری وظیفه دارند که روابط درونی و پیچیده لکه های شهری را در فضا و زمان بدست آورند. پیچیدگی فضایی نشان دهنده تاثیر متعدد عوامل زیست فیزیکی و اقتصادی – اجتماعی است و به عنوان یک نتیجه، در الگوهای ناهمگون در مکان ظاهر می‌شوند. بنابراین، توسعه شهری یک فرایند پویا و غیر خطی است. پیچیدگی زمانی خود را از طریق پیش‌بینی در فواصل زمانی طولانی نشان می دهد. تکامل شهری اغلب به برگشت ناپذیری اشاره دارد. بنابراین، در تغییر محیط شهری، فقط پیش-بینی کوتاه مدت می‌تواند صادق باشد. به علاوه، فرایند پویای رشدشهری به پیچیدگی تصمیم‌گیری مربوط می‌شود(۱). مرتبط ساختن تصمیم‌گیری‌های سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری با پیش‌بینی رشد شهری دشوار است، چرا که به خصوص در بازه‌ی زمانی طولانی نیازهای ذی‌نفعان، فشار اقتصادی و قوانین مربوطه با اثرات متقابل شرایط پیچیده‌ای به وجود می آورند.

از دیدگاه مدل‌سازی دو تصمیم خاص تاثیر قابل توجهی بر طراحی مدل و عملکرد می گذارد. اولین آن مفهومی است و به پیش‌بینی روابط و رفتار فضایی مربوط می‌شود. تصمیم دوم، نوع الگوریتم زیربنایی برای مدلسازی است. این تصمیمات در ادامه مورد بحث قرار گرفته است.

- خود همبستگی فضایی و عدم تجانس

جهت بیان برخی از پیچیدگی‌های مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری، دو ویژگی عمده تجزیه و تحلیل فضایی شامل خودهمبستگی فضایی و عدم تجانس (ناهمگنی) با هم ترکیب شده است.خود همبستگی فضایی به تنوع سیستماتیک یک متغیر و تبعیت از قانون اول جغرافیا اشاره دارد که در قانون اول جغرافیا بیان شده است که اشیا نزدیک بیش‌تر از اشیا دور باهم در ارتباط هستند(۱).

سیستم ناهمگن فضایی یا زمانی، با مقادیر مختلف در مکان و یا بازه‌های زمانی خاص مشخص شده است. ناهمگنی فضایی محیط منشا زیربنایی می تواند با استفاده از آمار فضایی جهانی و محلی توصیف شود. در برخی از مطالعات آمار فضایی عمومی، از آمار فضایی جهانی و محلی استفاده شده است مانند مورن I ، گری C، آمار G و شاخص‌های محلی انجمن فضایی[۲]. آمارهای فضایی، مانند متریک سیمای سرزمین و پارامترهای ترکیبی (به عنوان مثال آنتروپی، واریانس، همگنی) نیز به طور گسترده در مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری استفاده شده است(۱).

برآورد متغیر وابسته به عنوان تابعی از یک ماتریس متغیر مستقل

1- Urban Growth Prediction Models (UGPMs)

2-Local Indicators of Spatial Association (LISA)

را می‌توان با استفاده از رگرسیون ساده عادی حداقل مربعات[1] و رگرسیون فضایی جهانی محاسبه نمود(۱).

معادله آن از فرمول روبرو تبعیت می‌کند(۱):

$$yi = bXi + \varepsilon i$$

جایی که yi متغیر وابسته است، xi ماتریس متغیر مستقل است، b ضریب برداری است و εi از خطاهای تصادف برداری است. GEOMOD به عنوان مثالی از مدل کاربری اراضی است که از رگرسیون چندگانه برای تعیین وزن هر متغیر، جهت تعیین محل سلول تغییر یافته استفاده می‌کند (۱). وقتی خود همبستگی فضایی در متغیر وابسته وجود دارد از رگرسیون فضایی جهانی استفاده می‌شود. لذا، به معادله فوق یک متغیر تبیینی تکمیلی، به‌منظور نشان دادن وابستگی مکانی متغیر وابسته افزوده شد، و به‌صورت فرمول زیر تکمیل و ارایه گردید (۲).

$$yi = bXi + \varepsilon j + \delta \sum_{i \neq 0} Wijyj \quad (۲)$$

که در آن δ ضریب اتورگرسیون فضایی و w_{ij} وزن فضایی همسایگان i و j است. خود همبستگی فضایی به مقیاس فضایی بستگی دارد. راه حل دیگر، رگرسیون autologistic است که اثرات خود همبستگی را با استفاده از autocovariate تطبیق می‌دهد(۱). این متغیر مستقل اضافی، متغیر واکنش را از تنوع فضایی بدست می‌آورد. یکی دیگر از ویژگی مهم رشد شهری، ناهمگنی فضایی است. الگوهای مختلف رشد شهری ممکن است به طور جداگانه با استفاده از مدل محلی به جای یک مدل جهانی برای کل منطقه مورد مطالعه، عمل کنند. سه تکنیک مدل‌سازی ممکن است به منظور رسیدگی به ناهمگنی فضایی به کار رود رگرسیون سوئیچینگ، مدل‌های چند سطحی و رگرسیون وزن جغرافیایی. مدل رگرسیون سوئیچینگ مجموعه داده را به تعدادی از مناطق همگن منحصر به فرد طبقه‌بندی می‌کند که یک مدل رگرسیون خطی در هر یک از آن‌ها به کار گرفته شده است (۱).

مدل رگرسیون سوئیچینگ شکاف بین رویکرد محلی و جهانی در مدل‌سازی فضایی از بین می‌برد. مدل‌های چند سطحی، همچنین به عنوان مدل سلسله مراتبی، شناخته شده‌اند که در آن واحدهای گروهی ذی‌نفع (به عنوان مثال ساختار شهری) در خوشه درسطح بالاتری (به عنوان مثال محلات) قرار می‌گیرند. دلیل استفاده از مدل چند سطحی این است که آن‌ها می‌توانند بین ناهمگونی خوشه و واحدهای تو در تو در خوشه تمایز قایل شوند(۱). در نهایت، رگرسیون وزنی جغرافیایی بر مبنای وزن‌های تخصیصی به تمام نقاط مجموعه داده با توجه به فاصله آن‌ها از یک نقطه کانونی مورد توجه می‌باشد.

- الگوریتم‌های مدل سازی زیربنایی

در این بخش در مورد کاربردها، مزایا و محدودیت‌های محتمل غالب روش‌ها بحث می‌کنیم.

- مدل‌سازی سلول‌های اتوماتا

سلول‌های اتوماتا[2] توسط اولان و نیومن در سال ۱۹۴۰ معرفی شدند و از سال ۱۹۸۰ مدل‌های متعدد برای شبیه‌سازی رشدشهری توسعه یافته‌اند. سلول‌های اتوماتا به عنوان سیستم‌های دینامیک گسسته تعریف شده‌اند، که توسط یک شبکه از سلول نمایش داده می‌شود و در آن روابط به هم پیوسته محلی، تغییرات‌جهانی را نشان می‌دهند. به طور کلی، وضعیت هر سلول به مقدار سلول در حالت قبلی خود و همچنین ارزش‌های همسایه خود با توجه به برخی از قوانین انتقالی(تغییر از یک حالت به-حالت دیگر) بستگی دارد. این قوانین رشد شهری را، که نشان‌گر حمایت یا محدودیت محیط‌زیستی و اجتماعی – اقتصادی است، تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، رویکرد پایین به بالای اجرا شده در سلول‌های اتوماتا متکی بر شبیه‌سازی اقدامات محلی است که به تدریج ساختار جهانی را ایجاد می‌کند. سلول‌های اتوماتا به سازه‌های شهری بلکه بر روی حالت سلول‌های همسایه نیز اعمال می‌شود(۲). سلول‌های اتوماتا سیستم‌های دینامیکی گسسته‌ای هستند که رفتار آن‌ها کاملا براساس رفتار محلی استوار است و شامل ۵ المان می‌باشد: فضای سلولی، حالات، همسایگی، زمان و قوانین انتقال.

1- Ordinary Least-Squares (OLS)

2- Cellular Automata (CA)

۱- فضای سلولی

فضایی که در آن CA وجود دارد شبکه CA نام دارد و در طول زمان، تکامل می‌یابد. این شبکه می‌تواند ۱ تا N بعد داشته باشد؛ اما بیش‌تر مدل‌های CA، به ویژه مدل‌هایی که با اهداف فضایی و شهری ساخته شده‌اند (مانند مدل‌های شهری)، در یک شبکه دوبعدی تشکیل می‌شوند. این امر ناشی از طبیعت پیکسلی داده-های‌سنجش از دور و دیگر منابع و همچنین برنامه‌نویسی آسان‌تر است. در مدل‌سازی سیستم شهری با استفاده از مدل CA، در تعریف شبکه سلولی، انتخاب شکل و مقیاس سلول بر خروجی-های مدل، بسیار تاثیرگذار است. در CA اولیه (کلاسیک)، سلول-ها به صورت اشکال منظم، اغلب به شکل مربع یا دیگر اشکال منظم (از شش ضلعی و مثلث در برخی موارد استفاده شده است). تعریف می‌شوند. در مدل‌سازی شهری معمولا به علت طبیعت داده‌های ورودی و سهولت محاسبه و برنامه‌نویسی، سلول‌های همگن مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما تحت شرایطی خاص استفاده از سلول‌های غیرهمگن به علت واقعی‌تر بودن شکل آن‌ها (مانند قطعات زمین) ممکن است مناسب‌تر باشد(۳).

۲- حالت سلول

وضعیت سلول، حالتی است که هر سلول در فرایند تکامل CA می‌تواند داشته باشد. سلول در مدل اولیه CA اغلب دارای وضعیت بولین(۱ و۰) بود، (مانند مدل ماشین تورینگ) اما می-توان وضعیت‌های بیش‌تری نیز در رابطه با نوع نیاز تعریف کرد. برای دو مدل CA مختلف، با عناصر یکسان، هر چه تعداد وضعیت تعریف شده برای سلول کم‌تر باشد، آن مدل ساده‌تر خواهد بود. در مدل‌های شهری با توجه به هدف مدل‌سازی و وضعیت سلول‌ها معمولا طبقه‌بندی‌های کاربری زمین، ارزش زمین، پوشش زمین و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی موارد نیز وضعیت سلول‌ها به صورت دودویی (باینری)، توسعه یافته یا توسعه نیافته (شهری یا غیر شهری) تعریف می‌شوند (۴).

۳- همسایگی

براساس تئوری CA رفتار کلان سیستم خودسازنده، توسط قوانین انتقال که در سطح خرد تعریف می‌شوند کنترل می‌گردد.

این عملکرد CA در مدل‌های شهری با خود سلول و تعدادی سلول دیگر در شعاع خاصی از سلول مورد آزمایش ایجاد می‌شود. براثر روابط متقابل بین سلول مورد آزمایش و همسایه آن و تحت تاثیر قوانین انتقال، سلول به وضعیت‌های مختلف تغییر پیدا می-کند. اندازه همسایگی برای مدل‌های مختلف CA فرق دارد (۵ و ۶).

۴- زمان

زمان در CA ناپیوسته است. مدت مراحل زمانی در CA های مختلف متفاوت است، شکاف‌های زمانی بیش‌تر، ناپیوستگی بیش-تری را در بر دارد و برعکس. سلول‌ها در CA، در دو مرحله زمانی T و T+1 ، وضعیت‌های (حالت‌ها) مختلفی خواهند داشت؛ زیرا از T تا T+1، CA تکامل پیدا خواهند کرد، مانند مدل‌های CA اولیه. زمان در مدل CA شهری نیز ناپیوسته است، از T به T+1 سلول‌ها به طور هم‌زمان به روز می‌شوند. تعیین فاصله‌های زمانی یا تعداد مراحل، یکی از مسایل طراحی مدل CA است.

هر چه دامنه‌های زمانی بزرگ‌تر باشند، تعداد مراحل زمانی کم‌تر است؛ اما در CA های مختلف دامنه مراحل زمانی، متفاوت است. اخیرا محققان سعی کرده‌اند که سلول‌ها، مانند یک شهر واقعی به‌صورت غیر هم‌زمان به روز شوند؛ ولی در این مورد تحقیقات هنوز در حال انجام است (۵ و ۶).

یکی از مدل‌های رشد شهری، که به طور گسترده‌ای توسط بسیاری از برنامه‌های کاربردی استفاده می‌شود، مدل Sleuth (شیب، کاربری اراضی، مستثنیات ، محدوده شهری، حمل و نقل و سایه روشن) است. Sleuth یک مدل پیش‌بینی رشد شهری مبتنی بر سلول‌های اتوماتا است که از داده‌های تاریخی برای کالیبراسیون متغیرها و دست‌یابی به اجرای موفقیت آمیز مدل-سازی غیرخطی می‌پردازند و روند تکرار شونده آن منجر به تولید الگوهای فراکتالی می‌گردد، که بیانگر ویژگی‌های مشترک در یک-محیط شهری هستند (۱). CA یک فضای سلولی است که در آن

هر سلول حالت خود را بر اساس حالت قبلی خود و سلول‌های همسایه مطابق با قوانین انتقال نه تنها برروی حالت قبلی سلول، در مقیاس منطقه‌ای استفاده می‌شود و دارای توانایی رسیدگی به مناطق حفاظتی است. کالیبراسیون Sleuth یک فرایند فشرده محاسباتی است و به همین دلیل به منابع محاسباتی کافی نیاز دارد. مدل Sleuth به طور گسترده برای بسیاری از مناطق موردمطالعه در سراسر جهان استفاده می‌شود(۱). سایر مدل‌های رشد شهری مبتنی بر سلول‌های اتوماتا می‌توان به iCity و SimLand. iCity، Metronamica اشاره نمود.

علاوه بر مدل‌های ذکر شده، رویکردی از سلول اتوماتا از طریق استنتاج فازی پیشنهاد شده است که در آن تئوری فازی برای آماده سازی دانش معنایی و زبانی مشترک برای رشد شهری و قواعد انتقال ساده استفاده شده است. استفاده از یک ترکیب بهینه از قوانین انتقال با استفاده از الگوریتم ژنتیک نیز برای فرآیند کالیبراسیون مورد مطالعه قرار گرفته است (۱).

روش سلول اتوماتا در شبیه‌سازی شهری نیز با چالش‌هایی روبرو است. با توجه به ناهمگونی فضایی، به بخش‌های مختلف شهرستان‌ها باید توسط قوانین انتقالی مختلف پرداخته شود. بنابراین، قوانین انتقالی جهانی اعمال شده توسط سلول اتوماتا ممکن است برای مدل‌سازی فضایی سلولی نامناسب باشد. علاوه بر این، ناهمگنی فضایی دیکته می‌کند که همسایگان باید توسط اشکال و اندازه‌های مختلف توصیف شوند تا به جذب تعاملات فضایی بهتر ساختارهای شهری کمک کنند.

در نهایت، از معایب سلول اتوماتا می‌توان به فرض تغییرناپذیری مکانی و زمانی برای قوانین انتقالی و ناتوانی سلول اتوماتا برای مقابله با رفتار تصادفی اشاره کرد (۱). سلول اتوماتا پویایی هم-زمان محیط شهری، در ماهیت تمام سلول‌های به روز رسانی شده را به طور هم‌زمان در هر مرحله تکرار شونده بررسی می‌کند. شهرستان‌های واقعی، این شرایط را به دلیل رفتار بی‌نظم خود نقض می‌کنند و در نتیجه، تحقیقات بیش‌تر در مورد سلول اتوماتای تصادفی هنوز هم مورد نیاز است (۱). روش سلول اتوماتا به طور معمول در همسایگان نظم ایجاد می‌کند.

- مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] به دلیل افزایش قابلیت‌های مدل-سازی در مدل پیش‌بینی رشد شهری گنجانیده شده است. برخلاف بسیاری از تکنیک‌های مدل‌سازی چند متغیری، شبکه-های عصبی مصنوعی به طور قابل توجهی توسط روابط داده‌های ورودی تحت تاثیر قرار نگرفته است، بنابراین هیچ فرضی در مورد خود همبستگی فضایی و multi- collinearity نباید صورت گیرد. پیش‌زمینه شبکه‌های عصبی در اوایل قرن نوزدهم و اواخر قرن بیستم به کارهای اساسی، در فیزیک، نروفیزیولوژی و روانشناسی برمی‌گردد که توسط ارنست ماخ، ایوان پاولوف و هرمان فون هلم‌هلتز صورت گرفت(۸).

شبکه‌های عصبی از سال ۱۹۴۳ وارد مرحله جدیدی شد که در آن وارون مک کالوک و والتر پیتز نشان دادند که

شبکه‌های عصبی می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه کنند و جزییات مدل‌های ریاضی را توسعه دادند (۹)، کار این افراد را می‌توان نقطه شروع شبکه‌های عصبی در حوزه علمی دانست. در سال ۱۹۴۹ میلادی هب اولین قانون آموزشی را برای شبکه‌های عصبی مطرح کرد. وی به این نتیجه رسید که اگر دو نورون هم‌زمان فعال باشند در آن صورت باید مقدار اثر ارتباط بین آن‌ها افزایش یابد. دهه‌های ۵۰ و ۶۰ قرن بیستم، سال‌های طلایی شبکه‌های عصبی می‌باشد. در محدوده سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۲ روزن بلات شبکه‌های عصبی، به نام پرسپترون را معرفی نمود. قانون آموزش این شبکه‌ها یک روش تکراری از اصلاح وزن می-باشد که بسیار قوی‌تر از قانون هب می‌باشد (۱۰).

هر شبکه عصبی از نودها (واحدها) و ارتباط‌های وزن‌دار بین آن‌ها تشکیل می‌گردد. نودها واحدهای اولیه شبکه‌ها هستند که باید ارتباط آن‌ها با خروجی سنجیده گردد. لینک، ارتباط بین نودهاست که هر یک دارای وزنی است. منفی بودن وزن نشان-

1- Artificial Neural Networks (ANNs)

دهنده بازدارنده بودن آن لینک و نود مرتبط با آن، و مثبت بودن بیان کننده تاثیر تحریکی لینک و نود مرتبط با آن است (۱۱). این شبکه‌ها شامل سه لایه می‌باشند: ورودی، میانی و خروجی (شکل ۱). از این نوع شبکه‌ها جهت تشخیص ارتباطات غیر خطی استفاده می‌شود. ورودی شبکه عصبی در مورد مدل‌سازی توسعه شهری، پارامترهای موثر در توسعه شهر و خروجی آن شهری یا غیر شهری بودن می‌باشد (شکل ۱). این روش به نویز در داده‌ها حساس نیست و اطلاعاتی را ایجاد می‌کند که برای داده‌هایی که قبلا دیده نشده‌اند، می‌تواند به کار رود (۱۲).

امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های عصبی بوجود آمده است و به طبع با توجه به نوع کاربرد ساختار و قوانین یادگیری در شبکه می‌تواند متفاوت باشد به‌طور خلاصه مهم‌ترین شبکه‌های عصبی را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود (۱۰):

۱. پرسپترون چندلایه[۱]
۲. شبکه خودسازمانده[۲]
۳. یادگیری تدریجی بردار[۳]
۴. هاپفیلد[۴]
۵. تاخیر زمانی[۵]
۶. تابع شعاعی[۶]

شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، کاربرد زیادی پیدا کرده است. MLP سیستمی است که توسط تعدادی از عناصر پردازش منفرد تشکیل شده که سلول‌های عصبی نامیده می‌شوند. خروجی شبکه با استفاده از یک تابع انتقال داخلی محاسبه می‌شود که به نورون‌های ورودی که با روابط وزنی به یکدیگر متصل می‌شوند، بستگی دارد. شبکه‌های عصبی مصنوعی از طریق داده‌های ورودی و خروجی موجود، توسط مسیر تکراری یادگیری، آموزش می‌بینند (مثل الگوریتم back-propagation).

محبوبیت شبکه‌های عصبی مصنوعی در سال‌های اخیر به دلیل بهبود قابلیت‌های قدرت محاسباتی با برنامه‌های کاربردی در بسیاری از رشته‌های علمی، افزایش چشمگیری داشته است.

از آنجا که شهرستان‌ها به طرز جامعی رشد می‌کنند، روند یادگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند ابزارها را قادر سازد مدل پیچیدگی ساختار شهری را تولید کنند (۱).

مدل‌های رشد شهری اغلب متغیرهای محیطی، اجتماعی و اقتصادی را برای شبیه سازی تغییری که رخ داده است، ترکیب می‌کنند. مدل تحول زمین[۷]، که در آن GIS [۸] و شبکه های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی تغییرات استفاده از زمین ترکیب شده، و با در نظر گرفتن عوامل مختلف اجتماعی، سیاسی و محیط‌زیست عمل می‌نماید. مدل رشد شهری بر اساس شبکه-های عصبی مصنوعی به منظور برآورد آینده مرزهای رشد شهری و هندسه پیچیده شهرستان‌ها، بر اساس عوامل پراکندگی شهری مانند فاصله از جاده‌ها، فضاهای سبز، ایستگاه خدمات و مناطق ساخته شده، ارتفاع، شیب و جهت مدلی را ارایه کرده است.

یکی دیگر از مدل‌های رشد شهری بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور نشان دادن چگونگی شکل شهر یا الگوهای رشد شهری در آینده مرتبط با ویژگی‌های سایت و کاهش ذهنیت در مدل‌سازی رشد شهری بکار گرفته شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک تکنیک غیرپارامتریک می‌تواند با موفقیت ناهمگنی فضایی را کنترل نماید. یک شبکه چند عصبی طراحی شده، که اجازه می‌دهد تا داده های ورودی به طور خودکار به شبکه‌های عصبی مناسب، به منظور کنترل ناهمگنی فضایی اختصاص یابد. علاوه بر این، چندین الگوریتم شبکه‌های عصبی از منطق فازی استفاده کرده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز برای کالیبراسیون و شبیه‌سازی از مدل‌های سلول اتوماتا در مطالعات شهری استفاده کرده‌اند. همچنین محققین ادغام سلول اتوماتا و شبکه‌های عصبی مصنوعی را به منظور شبیه‌سازی

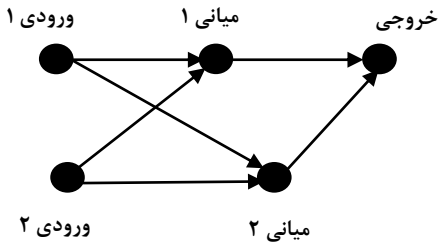
1-Multi-Layer Perceptron (MLP)
2-Self-Organization Map (SOM)
3-Learning Vector Quantization (LVQ)
4-Hopfield Neural Network (HNT)
5-Time Delay Neural Network (TDNN)
6-Radial Basis Function (RBF)

7- Land Transformation Model (LTM)
8- Geographical Information System (GIS)

پویایی استفاده از زمین، با استفاده از سلول‌های عصبی توسعه داده‌اند (۱).

شبکه های عصبی مصنوعی به متناسب کردن داده ها تمایل دارند. بنابراین، اندازه پایگاه داده آموزشی باید با دقت و با توجه به تعداد نورون‌های پنهان انتخاب شود. استفاده از حداقل ۵ تا ۱۰ برابر اندازه آموزش به عنوان وزن موجود، قابل قبول است (۱).

میزان تقاضای آموزش جامع با استفاده از قابلیت‌های مدل‌سازی شبکه-های عصبی مصنوعی، اغلب اختلاط مدل‌سازی رشد شهری را که ممکن است به همان اندازه و به طور گسترده در دسترس نباشد، محدود سازد. نمونه دیگر از مسایل مرتبط با شبکه‌های عصبی مصنوعی، رفتار "جعبه سیاه" است که فهم تکامل شهری و تحمل سر و صدا را به خصوص برای نمونه کوچک محدود می-سازد.



شکل ۱- شبکه عصبی(۱۱).

- مدل سازی فراکتال

هندسه فراکتال نیز در شبیه‌سازی رشد شهری استفاده شده است. هندسه اقلیدسی کلاسیک به عنوان مورد نامناسب برای توصیف الگوهای فضایی-زمانی در طبیعت شناخته شده است. بنابراین پژوهش‌گران هندسه فراکتال را معرفی کردند که پس از آن منجر به گسترش سریع فراکتال‌ها در بسیاری از زمینه‌های علمی گردید. در مدل‌سازی فراکتال شهرها را می‌توان به عنوان اهداف فراکتال محسوب کرد، که در آن تعامل اجزای مختلف مکانی می‌تواند توسط روابط غیر خطی توصیف شوند (۱). نظریه فراکتال به دلیل پیچیدگی ساختار فضایی غیرخطی، نشان می-دهد که رشد شهری با خود سازمانی چند مقیاسی فضایی مطابقت می‌کند. خودسازمانی یک فرایند مهم در پدیده‌های محیط‌زیستی است. که براساس توانایی سازماندهی اجزاء آن با پشتیبانی قدرت داخلی سیستم می‌باشد. در سیستم‌های خود سازمان یافته، سازمان خود به خود افزایش می‌یابد بدون این‌که توسط فشار خارجی کنترل شود. روش فراکتال برای اندازه‌گیری بی‌نظمی پارسل‌های زمین‌های شهری، بررسی تشابه ابعاد فراکتال بکار رفته است. اگر چه تمایل به دیدن "همه جا فراکتال" وجود دارد، بسیاری از اشیاء نمی‌توانند فرکتال واقعی در نظر گرفته شوند. اشیاء و پدیده‌های طبیعی لزوما توسط خودهمسانی توصیف نشده‌اند. الگوریتم‌های متعددی به منظور محاسبه ابعاد فراکتال برنامه‌ریزی شده‌اند. اندازه‌گیری ابعاد فراکتال دارای محدودیت-هایی مانند: تکنیک‌های مختلف اندازه‌گیری ابعاد فراکتال با اشیائ یکسان ممکن است. عملکردی با نتایج متفاوت داشته باشد، اشیایی با ویژگی‌های مورفولوژیکی مختلف ممکن است ابعاد فراکتال یکسانی به اشتراک بگذارند و اشیایی با طبقه فراکتال همسان ممکن است ابعاد فراکتال مختلفی داشته باشد (۱). لذا

ابعاد فراکتال‌های مختلف ممکن است به ساختار شهری با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری مختلف اختصاص داده شود. علاوه بر این، ساختارهای شهری با بافت‌های مختلف ممکن است ابعاد فراکتال مشابه تولید یا ساختارهای شهری با بافت مشابه ممکن است ابعاد فراکتال مختلفی ایجاد کند. استفاده از فرکتال در معماری می‌تواند از روش‌های مختلف انجام شود (۱۳):

- روش‌های مفهومی: در این روش از هندسه فراکتال استفاده می‌شود و مفاهیم آن به عنوان راهنما برای تئوری‌ها بکار می‌رود. این روش یک راه حل تئوری ایجاد می‌کند که در نهایت بر روی فرم نهایی تاثیر می‌گذارد.
- روش‌های ریاضی- هندسی: این روش از طرح شمارش مربعات برای محاسبه ابعاد فراکتال استفاده می‌کند. همچنین برای تجزیه و تحلیل ساختمان‌های موجود نیز استفاده می‌شود.
- روش بصری-هندسی: از هندسه به عنوان الهام‌بخشی برای بیان آفریننده استفاده می‌کند.

تجزیه و تحلیل فراکتال در معماری را می‌توان در دو مرحله انجام داد:

۱- تجزیه و تحلیل در مقیاس کوچک (به عنوان مثال تجزیه و تحلیل یک ساختمان) خود همسانی ساختمان (اجزای ساختمان که خود را در مقیاس های مختلف تکرار می‌کنند).

۲- تجزیه و تحلیل در مقیاس بزرگ (به عنوان مثال تجزیه و تحلیل در مقیاس شهری) ابعاد شمارش جعبه (برای تعیین بعد فراکتال ساختمان).

برای محاسبه ابعاد فرکتال خود همسان از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$D = \frac{\log(a)}{\log(\frac{1}{s})}$$

a=تعداد قطعه

s= فاکتور کاهش

D= بعد فراکتال

- رگرسیون لجستیک / خطی

تحلیل رگرسیون خطی، روابط بین متغیرهای مستقل و استفاده از زمین‌های شهری را بررسی می‌کند. زمانی که متغیر وابسته دارای دو بخش است، رگرسیون لجستیک می‌تواند برای پیش بینی حضور یا عدم حضور مشخصه مبتنی برماتریس متغیرهای مستقل بکار گرفته شود. به عنوان مثال، متغیر وابسته دو بخشی می‌تواند شهر را تغییر دهد، وقتی که عدد یک تغییر از وضعیت غیرشهری به شهری و عدد صفر وضعیت بدون تغییر را نشان می‌دهد. متغیرهای مستقل می‌توانند پیوسته، طبقه‌ای، یا هر دو باشند. مدل‌های رگرسیون لجستیک و خطی به طور گسترده در مدل‌سازی رشد شهری و انطباق متغیرهای مستقل اجتماعی-اقتصادی و محیط‌زیستی استفاده شده است (۱).

رگرسیون منطقی یک روش آماری و حالت عمومی‌تر از رگرسیون خطی می‌باشد. قبلا این روش برای پیش‌بینی مقادیر باینری یا متغیرهای دارای چند مقدار گسسته استفاده می‌شد (۱۴). روش‌های آماری به آسانی می‌توانند تاثیر متغیرهای مستقل را تشخیص دهند و حتی قابلیت اطمینان را نیز با در نظر گرفتن مشارکت خود فراهم آورند. در بیش‌تر موارد، این مدل‌ها برازش خوبی از خود در مورد فرآیندهای مکانی و تغییر کاربری نشان می‌دهند (۱۵). هدف مدل‌سازی رشد شهری درک فرایند پویایی است؛ بنابراین قابلیت تفسیر مدل‌ها خیلی مهم است. تفسیر مدل‌های آماری برای آگاهی از فرآیند تغییر الگوی مکانی لازم است. فرآیند ارزیابی مدل‌های رگرسیون منطقی از نظر محاسباتی مانند اتوماتای سلولی پیچیده نیست، زیرا این مدل‌ها توانایی ارزیابی را در مقیاس‌های مکانی مختلف دارند (۱۲).

به دلیل این‌که ماهیت تغییر کاربری اراضی گسسته است، روش معمول جهت تقریب آن، تابع رگرسیون منطقی بوده که در آن احتمال این‌که هر پیکسل دچار توسعه شود مشخص می‌گردد. در مدل‌سازی به این روش، مشاهدات، پیکسل‌ها می‌باشند. متغیرهای وابسته در اینجا وضعیت دوتایی صفر و یک دارند که نشان دهنده شهری یا غیرشهری بودن آن پیکسل در بازه زمانی مربوطه

خروجی مدل است. رابطه ۱ نشان‌دهنده تابع رگرسیون منطقی است(۱۲).

$$P = \frac{\exp(B0 + \sum_{i=1}^{n} BiXi}{1+\exp(B0+\sum_{i=1}^{n} BiXi} \quad (1)$$

که در آن P : احتمال توسعه شهری هر سلول

X_i: متغیرهای موثر در توسعه شهری

B_0: پارامتر ثابت که باید برآورد شود.

B_i: ضرایب موثر هر یک از پارمترهای مستقل که باید برآورده شود (جدول ۱).

خروجی تابع رگرسیون منطقی، ارایه دهنده احتمال توسعه شهری با استفاده از متغیرهایی است که عناصر آن‌ها توابع نمایی هستند. از تجزیه و تحلیل رگرسیون همراه با زنجیر مارکوف برای مطالعه و بررسی چگونگی رشد شهری مربوط به تغییر سیمای سرزمین و همچنین رشد جمعیت استفاده شد (۱). متاسفانه، رگرسیون لجستیک و خطی قابلیت های مدل‌سازی بالایی ارایه نمی‌دهند و آن‌ها موفق به تصرف غیر خطی در روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته و یا همبستگی‌های بین متغیرهای مستقل نیستند.

- مدل‌سازی عامل مبنا

مدل عامل مبنا یک رویکرد پایین به بالا برای درک بهتر عملکرد سیستم‌های شهری است که با اجازه دادن به شبیه سازی اقدامات اختصاصی عوامل و اندازه‌گیری رفتار سیستم قابل اجرا می‌باشد (۱). عامل‌ها واحدهای مستقلی هستند، که تبادل اطلاعات با دیگر عوامل از طریق ارتباط تعاملی انجام می‌گیرد.

رفتار اختصاصی عامل‌ها اجازه می‌دهد تا تاثیر تصمیم‌گیری انسان در مدل گنجانیده شود.

از آن‌جا که مهار جمعیت شهری حداقل در کوتاه مدت امکان-پذیرنیست، لاجرم چنین توسعه‌هایی اجتناب‌ناپذیر هستند. بنابراین، مسئولان و دست‌اندرکاران مدیریت شهری می‌کوشند توسعه را به سمت و سوی مطلوب هدایت نمایند تا از یک سو فراهم آوردن امکانات شهری میسر گردد و از سوی دیگر کم‌ترین آسیب به منابع طبیعی و کاربری‌های دیگر وارد آید.

تجربه نشان داده است که سیاست‌های آمرانه و اجباری در هدایت توسعه و خصوصا در مهار و متوقف نمودن آن چندان سودبخش نیست و در شرایطی که نیازها و تمایلات توسعه‌دهندگان زمین در نظر گرفته نشود و با سیاست‌های تشویقی همراه نگردد، سیاست-های کنترلی و تنبیهی کاری از پیش نخواهد برد (۱۶).

مدل عامل‌مبنا قادر است با در نظر گرفتن توسعه‌دهندگان زمین به عنوان عوامل هوشمند و پیاده‌سازی مواردی که در تصمیم-گیری نسبت به مساله ایجاد می‌کنند و با توجه به نتایج مناسبی که در شبیه‌سازی این پدیده حاصل می‌شود، به یکی از روش‌های مهم، رایج و در حال رشد در زمینه مدل‌سازی و شبیه‌سازی کاربری اراضی تبدیل شود (۱۷). اولین تلاش‌ها برای گذر از مدل-های ناکارآمد خرد- مبنا به مدل‌های عامل- مبنا در مدل‌سازی شهری در اوایل دهه ۱۹۷۰ صورت گرفت و منجر به طراحی ابزارهایی مانند Community Analysis Model (CAM) و Community Land Use Game (CLUG) گردید (۱۸). با این وجود به دلیل مبانی ضعیف، این ابزارها کارایی چندانی از خود نشان ندادند (۱۹). ضعف مدل‌های اولیه در این بود که یا در مراحل اولیه پیاده‌سازی عملی بودند و یا بسیار خلاصه و کلی بودند که سبب می‌شد نتوانند دارای بافتی انعطاف‌پذیر باشند (۲۰). از سوی دیگر، تحقیقات در زمینه مدل‌سازی کاربری زمین با استفاده از عامل‌ها، از اواخر دهه ۱۹۸۰ آغاز گردید (۱۷) و هم-زمان در شاخه‌های مرتبطی نظیر تخریب جنگل‌ها در مناطق استوایی (۲۱)، مدل‌های اقتصادی کاربری زمین، طراحی بوم-شناختی زمین منظر (۲۲)، طراحی اجتماعات شهری و منطقه‌ای (۲۳) و پویایی کاربری و تغییرات کاربری زمین (۲۴) گسترش یافت. با گسترش کاربردها، به تدریج ناکارآمدی‌های اولیه برطرف گردید و مدل‌های عامل- مبنا در زمینه‌های مرتبط با مکان از جمله مدل‌سازی شهری و کاربری اراضی کارایی‌های موفقیت-آمیزی از خود بروز دادند (۲۳ و ۲۵) که در ادامه به چند نمونه از

آن‌ها اشاره می‌شود.

لویبل و توئتزر در سال ۲۰۰۳ میلادی مدلی عامل- مبنا برای شبیه‌سازی گسترش کاربری اراضی شهری در اطراف شهر وین (اتریش) ارایه نمودند. در آن مدل، عامل‌ها به عنوان افرادی درنظر گرفته شده‌اند که در اطراف شهر به دنبال مکان‌گزینی برای کاربری‌های مسکونی و تجاری هستند. عامل‌ها بر اساس نیازها و اهداف به شش دسته تقسیم می‌شوند. سپس عامل‌ها در دو مرحله برای مکان‌گزینی اقدام می‌نمایند: در مرحله اول بهترین منطقه شهرداری را انتخاب می‌کنند و در مرحله دوم در منطقه منتخب مکانی مناسب را می‌یابند. در نهایت، چنان‌چه در آن مکان و اطراف آن موقعیت سکنی یا توسعه یافتند در آن جای می‌گیرند و درغیر این‌صورت به منطقه دیگری رجوع می‌نمایند. مدل مذکور توانست با استفاده از داده‌های سال ۱۹۶۹ میلادی توسعه‌های صورت گرفته تا سال ۱۹۹۹ میلادی را با موفقیت شبیه‌سازی نماید. سپس از آن برای پیش‌بینی توسعه در سال ۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های سال ۱۹۹۹ استفاده گردید (۲۶).

در همه تحقیقات یاد شده، با استفاده از قابلیت‌های فراوان ساختار عامل- مبنا بخشی از رفتارهای انسان‌ها در ارتباط با محیط که منجر به تغییر کاربری اراضی می‌گردد مدل‌سازی شده است.

با این وجود به دلیل پیچیدگی فوق‌العاده رفتارهای انسانی، گستردگی و گوناگونی محیط و همچنین تعدد روش‌های بعضا ناشناخته، ارتباط بین انسان‌ها و بین انسان و محیط، می‌توان گفت مدل‌سازی کامل این فرآیند عملا غیر ممکن به نظر می‌رسد. به همین دلیل در فقدان یک مدل جامع و فراگیر، محققان همواره سعی نموده‌اند مهم‌ترین جنبه‌های تاثیرگذار برتغییر کاربری اراضی را شناسایی نموده، با مدل‌سازی آن‌ها به بهترین پاسخ‌های ممکن دست یابند. واضح است که به دلیل تفاوت پارامترهای تاثیرگذار در مناطق و محیط‌های مختلف، مدلی واحد نمی‌تواند در همه جا پاسخ‌گو باشد. بنابراین به غیر از ابزارهایی که به‌صورت بسته‌های نرم‌افزاری آماده، عرضه شده و کارایی متوسطی دارند، پژوهش‌گران برای رسیدن به حداکثر کارایی، مدل‌هایی را خاص مناطق مختلف آماده و ارزیابی می‌کنند. تنوع پارامترهای قابل استفاده به همراه انعطاف فوق العاده مدل عامل- مبنا نیز سبب شده است که این میدان بسیار پویا بوده، همواره شاهد عرضه مدل‌های جدیدی باشیم.

محققان مختلف داده‌ها و نقشه‌های مختلفی را به عنوان عوامل تاثیرگذار در توسعه کاربری اراضی شهری مورد استفاده قرار داده‌اند. در این بین بعضی داده‌ها حضور ثابتی را در بیش‌تر این تحقیقات داشته‌اند. در برخی تحقیقات سعی شده است که تعداد نقشه‌ها و پارامترهای بیش‌تری مورد استفاده قرار گیرند.

با این وجود بننسن و ترنز بیان می‌کنند که استفاده از معیارها و پارامترهای بیش‌تر تنها مساله را پیچیده‌تر می‌کند و کمکی به بهبود نتایج نمی‌کند (۲۷). ودل هم اذعان می‌کند که استفاده از نقشه‌های بیشتر به عنوان معیارهای گسترش کاربری اراضی، سبب استفاده از داده‌های وابسته و در نتیجه منجر به منحرف شدن نتایج می‌گردد(۲۸).

- مدل‌سازی درخت‌های تصمیم‌گیری

درخت‌های تصمیم‌گیری یک الگوریتم طبقه‌بندی بالا به پایین است که در مدل‌سازی تغییرات استفاده از زمین و طبقه‌بندی استفاده از زمین نیز استفاده می شوند و از تصاویر سنجش از راه دور استفاده می‌کنند. با وجود استفاده محدود آن‌ها در مدل‌سازی رشد شهری، درخت‌های تصمیم‌گیری با توجه به توانایی خود برای تولید قوانین و سهولت درک ساختار مدل مورد توجه خاص هستند. درخت‌های تصمیم‌گیری شامل یک سلسله مراتب قوانین تقسیم‌بندی می‌باشند که برای تقسیم داده‌ها به بخش‌های متوالی استفاده می شود.

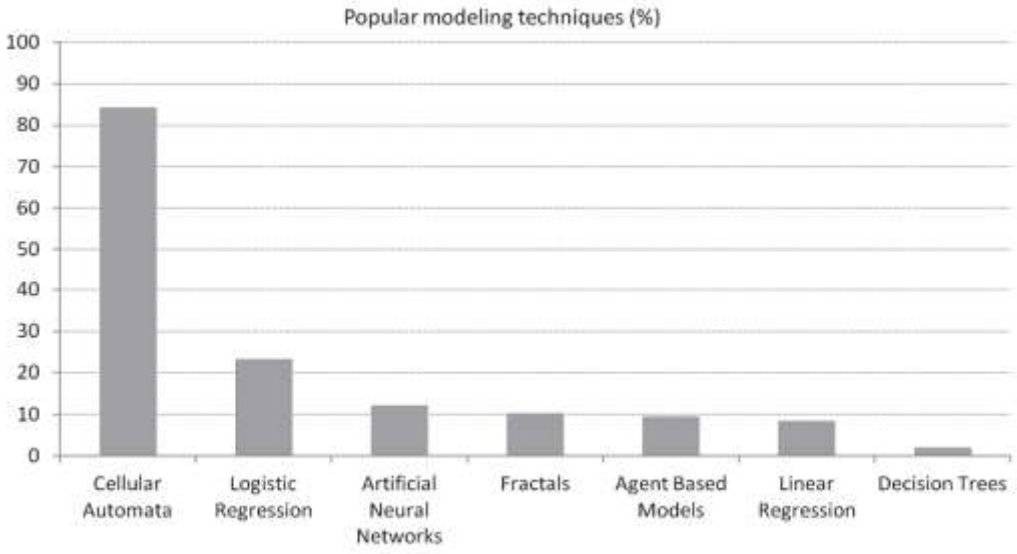
ساختار درخت تصمیم‌گیری شامل سه گام اساسی است. گام اول مربوط به ساختار درختی با استفاده از تقسیم بازگشتی از گره‌ها می‌باشد. در مرحله دوم یک فرایند هرس کردن اعمال می‌شود، که در آن درختانی کوچک‌تر با پیچیدگی کم‌تر تولید می‌شود. کاهش بیش برازش توسط حذف داده‌های نادرست نیز از طریق یک فرایند هرس کردن به دست می‌آید. در نهایت، درخت بهینه

که بازده خطای آزمون پایین‌تری دارد، انتخاب می‌شود. دو نوع مختلف درخت‌های تصمیم‌گیری با توجه به الگوریتم یادگیری وجود دارد: درخت طبقه‌بندی و درخت رگرسیون. درخت‌های تصمیم‌گیری به طور گسترده‌ای در طبقه‌بندی مبتنی بر تصویر استفاده از زمین شهری برای ساختار و پوشش گیاهی شهری استفاده می‌شود، که از اجزای مهم در مدل‌سازی شهری و برنامه-ریزی می‌باشند. ناهمگونی فضایی یک ویژگی مهم در توسعه شهری است (۱). محدودیت مهم درخت‌های تصمیم‌گیری، ساختار ساده الگوریتم آن‌ها است. متاسفانه، درخت‌های تصمیم-گیری می تواند ساختارهای بسیار پیچیده‌ای

ایجاد کند که توانایی‌های تعمیم را محدود می‌کند. این مسأله که به عنوان بیش برازش شناخته شده، می‌تواند تا حدودی با استفاده از فرایند هرس کردن جبران شود. علاوه بر این، درخت‌های تصمیم‌گیری الگوریتم‌های ناپایداری هستند که می‌توانند به طور چشم‌گیری طبقه‌بندی کننده‌های متفاوتی را تنها با استفاده از نمونه‌های آموزشی کمی متفاوت تولید کنند (۱). این بی‌ثباتی می‌تواند با استفاده از بکارگیری تعدادی از درخت‌های تصمیم-گیری در نمونه آموزشی، هر بار که نمونه آموزشی تغییر می‌کند، کاهش یابد. در نهایت، هنگامی که داده‌ها شامل متغیرهای طبقه-بندی شده هستند، اطلاعات به دست آمده از درخت‌های تصمیم گیری، بطور جانب‌دارانه‌ای به نفع متغیرهایی با طبقات بیشتر است.

جمع بندی

با بررسی پرسش‌نامه‌ای که از طریق ایمیل به متخصصان ایرانی ارسال شد، مشخص گردید که مهم‌ترین عوامل در عدم توجه به مدل های پیش بینی رشد و توسعه شهری در تصمیم‌گیری ها به‌ترتیب شامل نا آشنا بودن تصمیم گیران با مدل‌ها، مقبولیت و محبوبیت مدل، راحتی بکارگیری مدل، دستیابی صدردصد به نتایج در آن مدل، عدم اختصاص زمان کافی، اطمینان به پاسخ های حاصل، کارآیی مدل و قابل درک و ملموس بودن مدل هستند. در مجموع با بررسی مقالات نگارش و مورد بررسی واقع شده در این پژوهش (۱۵۶) در زمین زمینه مدل‌های پیش‌بینی رشدشهری، مدل سلول‌های اتوماتا بیش‌ترین کاربرد را در بین محققین مرتبط دارا بوده است (شکل۲)



شکل ۲- مطلوبیت مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری

نتیجه‌گیری

تغییر استفاده از زمین برای شهرنشینی یک پدیده گسترده، شتاب گیرنده و مهم است. این بخشی از تمایل انسان برای بهبود کیفیت زندگی است، اما شهرنشینی اغلب عواقب جدی محیط‌زیستی درپی دارد. مدل‌سازی تغییرات شهری جزء ضروری توسعه شهری و برنامه‌ریزی است که می‌تواند به تعیین راهبردهای مدیریت پایدار کمک کند. این کار، به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن در تصمیم‌گیری و یا پدیده‌های اجتماعی مانند تغییرات منطقه‌بندی قراردادی و حرکت جمعیت چالش برانگیز است. در بهترین حالت، مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری می‌توانند یک رویکرد مبتنی برسناریو، که در آن تغییرات ناگهانی در مدل‌سازی به عنوان محدودیت‌های خارجی در نظر گرفته شده اند، فراهم کنند.

یکی دیگر از عوامل موثر در عدم قطعیت مدل، تنوع بالا در فنون اعتبارسنجی مدل است.

تعداد فواصل زمانی مورد استفاده برای اعتبار سنجی نیز می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت مدل را تحت تاثیر قرار دهد.

علاوه بر این، مطالعات بر روی یک مکان ممکن است پویایی‌های مختلف را نشان دهد، که به شکل نظری می‌تواند با انواع ناهمگنی فضایی توجیه شود، اما در الگوهای عملی تشخیص آن مشکل است. درک این محدودیت ها مهم است و مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری می‌توانند کمک قابل توجهی در تمرینات برنامه‌ریزی-های آینده فراهم کند. همچنین، استفاده از این مدل‌ها می توانند به فرایند آمایش سرزمین پویایی لازم را اضافه کنند و در تحقق اهداف واقع بینانه‌تر آن سودمند افتند. سناریوسازی با این مدل ها همچنین در ارزیابی اثرات انواع توسعه شهری و انتخاب بهترین آن‌ها از جنبه های مختلف مفید خواهد بود.

منابع

1. Triantakonstantis, D. and Mountrakis, G. 2012. Urban Growth Prediction: A Review of Computational Models and Human Perceptions. Journal of Geographic Information System, Vol. 4, pp. 555-587.
2. Eastman, R. J. 2001. Guide to GIS and Image processing. Vol. 2. Clark University, USA. 144.
3. O'Sullivan, D. 2001. Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton models. Geographical Analysis, No. 33, pp. 1-18.
4. White, R. and Engelen, G. 2000. Highresolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional systems. Computers, Environment and Urban systems, No. 24, pp. 383- 400.

۵. رضازاده، راضیه؛ میراحمدی، مهرداد. ۱۳۸۸. مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه‌سازی رشد شهری. نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش، سال چهارم، جلد، شماره ۴ ص‌ص. ۵۵ -۴۷.

۶. زارعی، رضا؛ آل‌شیخ، علی‌اصغر. ۱۳۹۱. مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک(منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز). مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال سوم، شماره یازدهم، ص‌ص. ۱۶ -۱.

7. Batty, M. Couclelis, H. and Eichen, M. 1997. Urban systems as cellular automata. Environment and Planning B, No. 24, pp. 159-164.
8. Menhaj, M. B. 2005. Neural Network principal. Amir Kabir University Publication. Second edition.
9. McCulloch, W.S. and Pitts, W. 1943. A Logical Calculus of the Ideas Imminent in Nervous

Activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 5, pp. 115-133.

۱۰. رحیمی، اکبر. ۱۳۹۳. مدل‌سازی توسعه تبریز در سال ۱۴۱۰ با استفاده از LTM. دو فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال پنجم، شماره ۲، ص‌ص. ۹۹-۱۰۹.

۱۱. کامیاب، حمیدرضا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول، حسینی، سید محسن، غلامعلی‌فرد، مهدی. ۱۳۸۹. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی توسعه شهری(مطالعه موردی: شهر گرگان). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۶، ص‌ص. ۱۱۳-۹۹.

۱۲. محمدی، ساسان؛ دلاور، محمودرضا. ۱۳۹۳. مدل‌سازی توسعه شهری با روش رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: شهر سنندج. نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره چهارم، شماره ۲، ص‌ص. ۷۷-۸۶.

13. Parashar, Rinku. Bandyopadhyay, Abir. 2014. Fractals, architecture and sustainability. Recent Research in Science and Technology, Vol.6, No.1, pp. 93-96. Available Online: http://recent-science.com. ISSN: 2076-5061.
14. Shan, J. Alkheder, S. and Wang, J. 2008. Genetic algorithms for the calibration of cellular automata urban growth modeling. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 74. No.10, pp. 1267-1277.
15. Irwin, E. G. and Geoghegan, J. 2001. Theory, data methods: developing spatially explicit economic models of land use change. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 85, pp. 7–23.
16. Masuda, J.R. and Garvin, T. 2008. Whose Heartland?: The politics of place in a rural–urban interface. Journal of Rural Studies, Vol. 24, Issue 1, pp. 112- 123.
17. Parker, D.C. Manson, S.M. Janssen, M.A. Hoffman, M.J. and Deadman, P. 2003. Multi-agent systems for the simulation of land use and land cover change: A review. Annals of the Association of American Geographers, Vol. 93, pp.314–337.
18. Ligmann-Zielinska, A. and Jankowski, P. 2007. Agent-Based Models as Laboratories for Spatially Explicit Planning Policies. Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 34. Pp. 316-335.
19. Gimblett, R.H. 2002. Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modeling Techniques, Oxford University Press, Oxford.
20. Miller, E. Hunt, J.D. Abraham, J.E. and Salvini, P.A. 2004. Microsimulating urban systems. Computers Environment and Urban Systems, Vol. 28, pp. 9-44.
21. Lambin, E. F. 1994. Modelling Deforestation Processes: A Review. Luxembourg: European Commission, Directorate-General XIII. Report no. EUR-15744-EN.
22. Baker, W.L. 1989. A review of models in landscape change.

Landscape Ecology, Vol. 2, No.2, pp. 111-133.

23. In suburban regions-simulation of landscape transition with spatial agents. Environmental EPA. 2000. Projecting Land-Use Change: A Summary of Models for Assessing the Effects of Community Growth and Change on Land-Use Patterns. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development Publication EPA/600/R-00/098.
24. Agarwal, C. Green, G.M. Grove, J.M. Evans, T. and Schweik, T. 2002. A review and assessment of land-use change models: Dynamics of space, time, and human choice. Burlington, VT: USDA Forest Service Northeastern Forest Research Station Publication NE-297.
25. Torrens, P.M. 2003. Cellular automata and multi-agent systems as planning support tools, In: S Geertman, J Stillwell (Eds), Planning Support Systems in Practice, Springer, New York, pp. 203-222.
26. Loibl, W. and Toetzer, T. 2003. Modeling growth and densification Modelling & Software, Vol.18, pp. 553-563.
27. Waddell, P. 2001. Towards a Behavioral Integration of Land Use and Transportation Modeling, 9th International Association of Travel Behavior Conference, Quensland, Australia, July 2000, www.urbanism.org (August 2011).

۲۸. حسین‌علی، فرهاد؛ آل‌شیخ، علی اصغر؛ نوریان، فرشاد.۱۳۹۱. توسعه مدلی عامل- مبنا برای شبیه‌سازی گسترش کاربری اراضی شهری(مطالعه موردی: قزوین). مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای سال چهارم، شماره چهاردهم، ص‌ص. ۱-۲۲