



الگوی خود کاره‌ی سلولی^(۱)، راهبردی در مدل‌سازی شهری پویا

دکتر مهدی مدیری

عضو هیأت علمی دانشکده نقشه‌برداری

mmodiri@ut.ac.ir

چکیده

شبیه‌سازی مناسب‌ترین فضای برنامه‌ریزی و طراحی شهری است و در آزمون مدل‌های گوناگون شهری در طرح‌های توسعه و عمران شهری، عرصه منحصر بفردی را ارائه می‌کند. بهره‌گیری از ریاضی و مدل‌های کمی و کیفی همواره مورد توجه برنامه‌ریزان شهری بوده است. انجام مدل‌سازی پدیده‌ها و عناصر پویای شهری معمولاً با محدودیت فناوری و دشواری روبرو می‌باشد. هر یک از مدل‌های گرافیکی (مدل مبتنی بر ساختاربرداری و معمولی) در شبیه‌سازی پدیده‌های پویای شهری با کاستی‌هایی روبرو هستند. این مقاله در نظر دارد محدودیت‌های مدل‌های سلول محور را در یک سامانه شبیه‌سازی بررسی نماید و الگوی جدیدی برای یکپارچه‌سازی مدل فضایی بردار محور با سیستم سلولی ارائه نماید. واژگان کلیدی: شبیه‌سازی، مدل سازی، خودکاره‌ی سلولی

مقدمه

مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای، ترکیب چارچوب نظری و الگوریتم ورودی به یک بازنمایی از کارکرد و خصوصیات سامانه کاربری را ارائه می‌نمایند. در شرایطی که شبیه‌سازی مبتنی بر سناریویی کامل و دارای مشخصه‌های مختلف باشد، می‌توان برای پیش‌بینی و ارزیابی آینده از آن استفاده کرد. مدل کاربری اراضی بخش ویژه‌ای از مدل‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی عملیات کاربری را دربردارد و ابتدا سیاست‌های کلی مؤثر در مورد شهرها را تحت بررسی قرار داده و سپس همانند آزمایشگاهی برای ارزیابی طرح‌ها، نظریه‌ها و فرضیه‌های مرتبط با سامانه‌های شهری عمل می‌نماید. بنابراین مدل‌های کاربری اراضی، ابزاری منطقی و مانند سایر مدل‌های درجه‌ای انتزاعی در بازنمایی سامانه‌های جهان واقعی و فرآیندها در آنها وجود دارد. (Torrens, 1997) از توسعه مدل‌های رقومی می‌توان برای درک چگونگی کار سامانه واقعی استفاده کرد. مشخصه‌های مدل‌ها، قابلیت انعطاف‌پذیری را افزایش می‌دهد و رفتار سامانه واقعی را در شرایط مختلف و محدودیت‌های متفاوت نشان می‌دهد (Gimblett, 2002). اخیراً سامانه‌های عامل محور، مورد استفاده بیشتری پیدا کرده است و به عنوان فناوری پیشرفته در مدل سازی یا مدل‌های شبیه‌سازی فضایی مورد استفاده هستند، از این مدل‌ها برای آزمون و درک پیچیدگی مسائل شهری، کاربری اراضی و شهرسازی استفاده می‌شود. بنابراین مسئله اصلی در اینجا، چگونگی و بهینه‌سازی مدل‌های دینامیک، شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای است که وضعیت کاربری اراضی را به صورت هماهنگ منعکس می‌کند. اغلب پژوهش‌های گذشته و حال در مورد محاسبه و گسترش مدل‌های شهری متمرکز است و اخیراً توجه پژوهشگران به این مسئله جلب گردیده است (Batty et al, 2000). مفاهیم نزدیک از نظر قواعد و قواعد همگن ساختار سلولی محدودیت‌هایی برای



استفاده از تکنیک (سیستم عامل سلول محور)^(۱) در مدل‌سازی شهری بوجود می‌آورد. شهرها در نتیجه رشد بی‌رویه جمعیت با مسائل جدی روبرو هستند. برآیند گسترش ناموزون شهرهای بزرگ برای ساکنان خود، مشکلاتی در بردارند و گسترش فضایی برای پاسخ به رشد جمعیت با چالش‌های جدی روبرو است. تعیین مشخصه‌های این گسترش، موضوع پژوهش‌های گسترده‌ای بویژه در کاربری دینامیک اراضی و شهرسازی می‌باشد. بنابراین درک دینامیزم سیستم‌ها پیچیده و ارزیابی اثر رشد شهری روی کاربری اراضی، مشکلات روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی مختلفی را به دنبال دارد که نیازمند روش نوین و بکارگیری تکنیک‌های مناسب‌تری است.

این مقاله تکنیک‌های مدل‌سازی شهری با توجه به شبیه‌سازی عامل محور و خودکارهی سلولی و ایده استفاده از بردار عامل به عنوان یک الگوی جدید را مورد بررسی قرار می‌دهد. در قسمت اول به تاریخچه مدل‌سازی شهری اشاره گردیده، قسمت دوم به ضعف خودکارهی سلولی می‌پردازد و بخش سوم به ویژگی‌های فناوری عامل با معرفی نحوه یکپارچه‌سازی مدل فضایی بردار با سیستم عامل اختصاص دارد.

مدل‌سازی شهری

مدل‌های شهری از نظر مبانی و اصول، روابط ریاضی و کارکردها، اهداف و نحوه استفاده، دارای تنوع و گسترده می‌باشند. تلاش مدل‌سازی کاربری اراضی مبتنی بر مدل‌های تحلیلی و توصیفی، از ابتدای قرن نوزدهم میلادی آغاز گردید. از مهمترین آنها می‌توان به نظریه هم مرکز نمودن محدوده برگس^(۲)، نظریه محدوده شعاعی هایت^(۳) و تئوری هسته‌های چندگانه هریس و المان^(۴) اشاره کرد (Wilson, 2000). در حالی که بسیاری از این مدل‌ها در توصیف ظرفیت شهرها ضعیف هستند و توان پیش‌بینی چندانی ندارند، اما محیط مناسبی برای شبیه‌سازی شهری و مبنایی برای تلاش‌های پژوهشی بعدی قرار گرفتند (Torrens, 1997).

اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه هفتاد میلادی که مدل‌های ریاضی برای کاربرد در برنامه‌ریزی شهری توسعه یافتند، گسترش علمی و فناوری، عرصه مدل‌سازی فضایی و برنامه‌ریزی شهری را تحت تأثیر و تحول قرار داد (Malcolm, 2002). تولید الگوهای علمی جدید براساس پدیده‌های پیچیده‌ای از قبیل ساختار، گستره وسیع داده‌های دینامیک متنوع و تأثیر گذار و سطوح هندسی غیرهمگن، نشانگر پیچیدگی مسائل و عدم امکان پیش‌بینی دقیق مدل‌ها در برنامه‌ریزی شهری است (Rotmans, et al: 1992). هدف اصلی مدل‌ها ارائه سرویس به عنوان ابزار تفکر و کمک به کاربر در شناخت و درک رفتار سامانه‌های مختلف جهان واقعی و پدیده‌های دینامیک است (Engelen et al: 1999).

برای سامانه‌هایی با پیچیدگی‌های سیستم‌های شهری، داشتن برنامه مدون فکری برای فعالیتهایی مانند طراحی کاربری اراضی و واکنش فضایی متأثر از رشد غیر متوازن پتانسیل پیش‌بینی در طرح می‌باشد. (Beneson, et al: 2001) از این رو عدم توجه به امکانات مدل‌سازی فضایی دینامیک، مشکل عمده این گونه تکنیک‌ها می‌باشد و بسیاری از عناصری که وضعیت پیچیده امروز شهرها را سبب می‌شوند، متأثر از ضعف شبیه‌سازی و تبیین نامناسب اراضی شهری است. پتانسیل‌های فراوانی در راستای بهینه‌سازی مدل‌سازی شهری مبتنی بر فناوری‌های جدید وجود دارد (Batty and Torrent, 2000).

خودکارهی سلولی و شهرهای سلولی^(۱)

خودکارهی سلولی (CA)، یک تکنیک مدل‌سازی روی فضای راستری است. وضعیت سلولی معمولاً پوشش زمین را نشان می‌دهد و عبور سلول از یک وضعیت به وضعیت دیگر بستگی به وضعیت سلول‌های همسایه دارد. CA دارای توانایی مدل‌سازی دینامیک است، اگرچه مطالعاتی که سعی در لحاظ کردن GIS نموده‌اند موفقیت متفاوتی داشته‌اند (Batty et al, 1997).

اغلب تحقیقات شبیه‌سازی شهری برای درک رشد شهری و اشکال آن تأکید دارد با این حال برای ساختن مدل در بازنمایی مسائل جغرافیایی بالقوه نیاز به CA پیچیده‌ای وجود دارد و در این دینامیک‌ها باید تجدیدنظر صورت گیرد. (Engelen et al, 1994). علاوه بر این GIS ابزاری ایستا می‌باشد و برای استفاده در مدل‌سازی دینامیک و نیز در نوسازی داده‌های سلولی و همچنین طبیعت سلولی کارآیی لازم را ندارد



و حاوی سطوح زمانبندی مناسب ارائه داده‌ای نیستند و در شبکه فضایی نمی‌توانند عملیات متغیر منطقه‌ای را به درستی نشان دهند. شهر دارای سیستم مرکب و پیچیده است و فراتر از یک سیستم استاندارد CA است (Jiang, et, al, 2002). در گذشته پژوهشگران محدودیت‌های ساختاری CA را از بین برده‌اند (Loibl, et, al, 2002). سیستم‌های شهری یک سری پدیده‌های مختلف مکانی را به صورت متقابل و پیچیده، غیرخطی و اغلب به روش‌های غیرمتعارف که با هم در ارتباط هستند، متحد می‌کنند. علاوه بر این پدیده‌های جغرافیایی بویژه سیستم‌های شهری مشخصه‌های پیچیده بسیاری را به عنوان یک نتیجه از تقابل بین مؤلفه‌های مختلفی که توسط CA برای از بین بردن محدودیت سیستم‌های پویا در برمی‌گیرد، به همراه دارد. اقدامات زیادی به منظور توسعه انعطاف‌پذیری و عمومی کردن بیشتر CA انجام شده است. CA را به وسیله گسترش سلول‌های همسایه و قوانین انتقال از هر سلول توسعه داده و به عبارت دیگر، هر سلول می‌تواند از یکسری از همسایگی و قوانین انتقالی پردازش شود. Li و Yeh در سال ۲۰۰۰ یک مدل شهری قابل تقویت را مبتنی بر CA توسعه دادند و تأکید داشتند CA می‌تواند برای مدل شهرهای فشرده و فرم‌های شهری متراکم استفاده شود. علاوه بر این مفهوم وضعیت خاکستری از یک سلول که می‌تواند بین محدوده سلول‌های سیاه و سفید مطلق باشد، پیشنهاد شد که در استاندارد ماشین‌های خودکار خورشیدی به کار گرفته شود. Engelen در سال ۱۹۹۷ یک مدل مبتنی بر ابزارهای حمایتی در مناطق شهری پیچیده را بیان کرد. این مدل براساس CA قرار داشت و تمامی شرایط پویایی مدل CA را که به وسیله تطبیق با مدل‌های گذرای فضایی پویا قبلی که روی یک سری از مناطقی که بسیار بزرگتر از سلول‌های منفرد عمل می‌کرد، ایجاد شده بود. تحقیقات دیگر یک پتانسیل قوی را برای بکارگیری ارتباط همسایگی در مدل CA آشکار کرد. Takayama و Couclelis در سال ۱۹۹۷ مفاهیمی را از جبر و آنالیز زمین^(۷) در عمومی‌سازی و توسعه CA اقتباس کردند. در همین راستا، Shi و Pang در سال ۲۰۰۰ تغییر دیگری را در CA به منظور بکار بستن حد ایجاد شده به وسیله عملیات CA در فضایی منطقی و یکپارچه را توسط مدل فضایی معرفی نمودند. به هر حال آنها نسخه‌ای را از CA که هنوز روی یک سری سلول‌های مربعی منظم اجرا می‌شد، توسعه دادند و ارتباط همسایگی بین پدیده‌های فضایی با شکل‌ها و اندازه‌های غیرمنظم هنوز یک مشکل عمده برای هر سیستم فضایی می‌باشد.

CA استاندارد بایستی وضعیت مختلف، همسایگی‌های نامحدود و بسیاری از محدودیت‌ها را با شرایط انتقالی پیچیده با هم ترکیب نماید. بسیاری از فناوری‌های ترکیب کننده برای مدل شبیه‌سازی شهری به کار گرفته شده است. استفاده از عوامل هوشمند در حال حاضر بهترین رویکرد رفتار پویای مدل در سیستم کاربری زمین است (Rodrigues, et al, 1998). اما این پرسش باقی می‌ماند که چه نوع مدل فضایی می‌تواند با ترکیب سیستم عامل هوشمند بر محدودیت‌های غیرمنظم و نقایص CA غلبه کند.

فناوری عوامل مبتنی بر بردار

تعریف دقیق و یکسانی برای یک عامل وجود ندارد و این در حالی است که علوم مختلفی در توسعه نرم‌افزار از آن استفاده می‌کنند. بدلیل پیچیدگی و تنوع کارکرد آن نمی‌توان، تعریف منحصر به فردی از آن بیان کرد (Haugeneder, et al, 1998). اغلب تعاریف عمومی آن عبارتند از:

مؤلفه‌های نرم‌افزار وظیفه‌گرا که توانایی هوشمندانه فعالیت را یا به طور مستقل و یا به صورت جمعی دارند (Rodrigues, et al, 1998). برای به کارگیری مدل‌های فضایی، این عوامل در فضا و زمان، با یک فضای ترکیبی از همه عناصر گذشته از فضا محدود هستند (Gimblett, 2002).

این بخش از عوامل فضایی و GIS توجه بسیاری را در سالهای اخیر به خود مشغول کرده است (Gimblett, 2002 و Rodrigues, et al, 1997, Jiang, et al, 2002, Ferrand, 2000). اغلب این تحقیقات روی ترکیب عوامل مبتنی بر رویکرد GIS در رابطه با CA برای شبیه‌سازی فضایی و سیستم‌های حمایتی تصمیم‌گیری فضایی متمرکز بوده‌اند. در کار Rodrigues (۱۹۹۸) رویکردی چند عاملی برای نمونه اولیه از MEGAFACT^(۸) (یک ابزار برنامه‌ریزی محیطی برای تصمیم‌گیری فضایی) استفاده کرد. در حقیقت یک سیستم چند عاملی می‌تواند یا برای سیستم‌های پیچیده شبیه‌سازی و یا برای حل مسائل



فضایی به کار گرفته شود. استفاده از سیستم چند عاملی یک بازگشت به سوی مدل‌سازی طبیعی است. زیرا همه احتیاجات آن یک توصیف ساده از اشیاء و پردازش‌ها است. این سیستم می‌تواند با هر نوع از اطلاعات مانند قواعد و قوانین و توابع ترکیب شود و از قبل امکان اضافه کردن عواملی از هر نوع دیگر در آن وجود داشته باشد. در هر حال اغلب نیازهای اساسی هر مدل فضایی به کار بستن فرم پویا و ارتباطات بین پدیده‌های فضایی غیرمنظم می‌باشد. همان طور که اشاره شد، واحدهای فضایی از اشکال بی‌نظم نمی‌توانستند به کار گرفته شوند. این محدودیت به کارگیری CA (و عناصر مرتبط با آن) را برای مدل‌سازی پردازش فضایی که بر روی فضای واحد و منظم اجرا می‌شود، محدود می‌ساخت. اعتقاد بر این است که واحدهای فضایی با شکل و اندازه غیرمنظم در سامانه‌های تک عاملی قابل استفاده نمی‌باشد، اما برای چند عاملی‌ها قابل بهره‌برداری هستند و این مطلب جایگاه CA را به عنوان یک تکنیک مدل عاملی افزایش داده است. مدل ترکیبی برای هر سلول احتمال تبدیل شدن به یک سلول شهری را محاسبه نموده و یک تصویر احتمال را ارائه می‌کند (Fenga, et al, 2011).

چند پژوهش به کار بردن پدیده‌های فضایی دینامیک یا در حال حرکت را به عنوان یک عامل خودکار بررسی کرده‌اند. یکی از این پروژه‌ها، نقشه‌های مبتنی بر وب به وسیله یک سیستم چند عاملی است که توسط Li, et al در سال ۲۰۰۲ میلادی ارائه شد. این پروژه امکانی برای به کار بستن پدیده‌های برداری فضایی در شبیه‌سازی محاسباتی را نشان داد، آنها یک عامل Maplet را معرفی کردند. هر یک از مشخصه‌های نقشه یک عامل مستقل ارائه شده به وسیله یک Maplet است. هر عامل پاسخ و کنترل جریان خودش را دارد و به تغییر در هر محیط را خود پاسخ می‌دهد. این کاربرد آنقدر از زمینه مدل شهری دور است که باید مورد بحث قرار گیرد. در هر حال دغدغه اصلی توسعه این ایده برای بکارگیری پدیده فضایی غیرمنظم با سیستم چند عاملی برای مدل‌سازی شهری می‌باشد. پیام کلیدی این مقاله این است که سیستم عاملی می‌تواند با یک مدل فضایی مبتنی بر بردار در مدل‌سازی شهری پویا استفاده شود که محدودیت در مقیاس و اندازه نداشته باشد. ارائه مدل باید بسیار دقیق و نمودی واقعی از شهر باشد.

برحسب همسایگی، عوامل مبتنی بر بردار، یک ظرفیت همسایگی پیشرفته را دارد که برای ساختن یک مدل شهری پویا، مناسب است پدیده‌های فضایی تعدادی از همسایه‌های نامحدود را با هر فاصله‌ای پردازش کند. از آنجا که توابع انتقالی در CA همسایگان پهلویی را تنها به کار می‌گیرد (هشت سلول مربعی)، بنابراین یک واحد فضایی نمی‌تواند از واحدهای با فاصله دیگر تأثیر پذیرد. این تکنیک جدید از شبیه‌سازی کاربری اراضی شهری می‌تواند یک ابزار موفق برای بازسازی نظریه‌های شهری کلاسیک به عنوان نمونه اولیه باشد. هر کلاسی از پدیده فضایی می‌تواند از یک سری قوانین انتقالی برای خود و ارتباط همسایگی که می‌تواند از یک سری تعاریف عملی در راه‌های گوناگون و براساس جهان واقعی بیان شده است، تبعیت کند. این روش تأثیرات پیش‌بینی شده‌ای را که تنظیم یکی از مدل‌های کلاسیک با سایر ملاحظات است، پیش‌بینی می‌نماید.

علاوه بر این، برای ایجاد توپولوژی بین پدیده‌هایی مانند رودخانه، سواحل و دیگر عوارض جغرافیایی از یک سناریوی جهان واقعی به منظور معرفی بهتر بستر جغرافیایی و توسعه و رشد شهر برای یک مدل شهری که نزدیک به واقعیت است، استفاده می‌شود. در حقیقت، ترکیب بین مدل فضایی برداری و خودکار سلولی نه تنها راهی واقعی برای شبیه‌سازی رفتارهای پیچیده از کاربری زمین شهری را فراهم می‌سازد بلکه یک راه حل مطمئن و مشخص برای شبیه‌سازی پدیده‌های فضایی هماهنگ با جهان واقعی را نیز فراهم می‌سازد.

نتیجه‌گیری

تاکنون مدل‌های مختلف ریاضی در برنامه‌ریزی شهری، نقشی اساسی در برآورد و پیش‌بینی عملکردها و فعالیت‌های شهری داشته‌اند و مدل‌های فضایی مبتنی بر بردار مانند نقشه‌های شهری علیرغم حجم زیاد محاسبات نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای را در معرفی هر چه بهتر وضع موجود ایفا کرده‌اند. مهمترین ضعف و کاستی مدل‌سازی پدیده‌های پویای شهر و عدم پاسخگویی مدل‌ها متعارف و سنتی است که در برآورد آثار



و پیامدهای عوامل شهری با دشواری انجام می‌پذیرد. از بین مدل‌های مختلف ریاضی که تا بحال در مدل‌سازی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند، مدل خودکاره سلولی از ویژگی بسیار برجسته‌ای در نمایش مشخصه‌های دینامیک شهری برخوردار می‌باشد و بسیاری از موارد پیچیده شهری را در قالب ساختاری ساده مدل‌سازی می‌نماید.

پیشنهاد

مقاله اجرای طرح‌های پژوهشی و اجرای کاربری اراضی، توسعه شهری، آسیب‌پذیری بافت فرسوده شهری، شبکه حمل و نقل، ترافیک شهری تخلیه اضطراری و بسیاری از پدیده‌های پویای شهری می‌تواند با مدل خودکاره سلولی و روش‌های مختلف عرضه، آزمون و ارزیابی و تعیین میزان و مشخصه‌های مدل را توصیه نماید.

منابع و مآخذ

- 1- Batty, M and Torrens, P.M. (2000) Modelling Complexity: The Limits to Prediction, In The Advanced Spatial Analysis (CASA), Working paper series, No.36.
- 2- Batty, M, and Xie, Y (1997) Possible urban automata, Environment and Planning B, 24, PP.175-192.
- 3- Benenson, I., Aronovich, S., and Noam, S. (2001), OBEUS: Object-Based Environment for Urban Simulation, In Proceedings of the 6th international Conference on Geo Computation, University of Queensland, Brisbane, Australia.
- 4- Engelen, G., Geertman, S., Smits, P., and Uljee, I. (1999), Dynamic GIS and strategic Physical planning support: a practical application, In Stillwell, J., Geertman, S., and Openshaw, S., (eds) Geographical Information and Planning: Advances in spatial science, Springer, Berlin.
- 5- Fenga, Y., et al. (2011) Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules. International Journal of Landscape and Urban Planning 102(3): pp 188-196.
- 6- Gimblett, H.R. (2002), Integrating geographic information systems and agent-based technologies for modelling and simulating social and ecological phenomena, In Gimblett, H.R. (ed) Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modelling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes, A volume in The Santa Fe Institute studies in the Sciences of Complexity, Oxford University Press.
- 7- Haugeneder, H., and Steiner, D. (1998) Co-operating agents: Concepts and application, in N.R. Jennings and M.J. Wooldridge (eds) Agent Technology: Foundation, Application and Markets, Springer, Berlin, London.
- 8- Loibl, W., Giffinger, R., and Toetzer, T. (2002), Growth and densification processes in suburban Landscape: a spatial agent-simulation, In the 5th AGILE conference on Geographic information science, Palma, Balearic Island, Spain.
- 9- Rodrigues, A., Grueau, C., Raper, J., and Neves, N. (1998). Environmental Planning using spatial agents, in Carrer, S. (ed) Innovation in GIS 5, Taylor & Francis, London.
- 10- Torrens, P.M. (1997). How Land-use-Transportation Models Work, In The Advanced Spatial Analysis (CASA), Working paper series, No.20.
- 11- Wilson, A.G. (2000), Complex Spatial Systems: the Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis, Pearson Education Limited, England.
- 12- White, R. and Engelen, G. (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of Urban and regional systems. Computers, Environment and Urban Systems 24: pp 383-400.

پی‌نوشت

- 1- Cellular Automata (CA)
خودکاره سلولی، سامانه‌ای پویا و گسسته به شمار می‌رود و با بهره‌گیری از سیستم عامل می‌تواند رفتارهای پیچیده‌ای را در شبیه‌سازی سامانه‌های پویا انجام دهد. (White and Engelen, 2000)
- 2- Cell-based Agent Systems
- 3- Burgess
- 4- Hoyt
- 5- Harris and Ullmann
- 6- Cellular-Cities
- 7- Geo-Algebra
- 8- an environmental planning application for spatial decision making