نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۸، زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۷۹-۱۵۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۴/۱۳

مدل‌سازی توسعه شهری با تلفیق مدل اتوماسیون سلولی و سیستم‌های فازی

محمد طالعی [۱]
میثم آقامحمدی [۲]
محمد کریمی [۳]
قاسم جوادی [۴]*

چکیده

رشد سریع و نامتوازن جمعیت بخصوص در کشورهای در حال توسعه، مشکلات فراوانی را در زمینه‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی ایجاد کرده است. این مسئله اهمیت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی را برای مدیریت بهتر شهرها بیش از پیش مطرح می‌نماید. مدل اتوماسیون سلولی به‌طور گسترده در مدل‌سازی تغییرات مکانی-زمانی گسترش شهرها مورد استفاده قرار گرفته است. مقاله حاضر به ارائه مدل اتوماسیون ترکیبی با منطق فازی پرداخته است. در روش‌های متداول اتوماسیون سلولی یا همان CA، حالت، وضعیت و قوانین انتقال به‌صورت قطعی تعریف می‌شوند در حالی‌که بیان قطعی این اجزا، نیازمند داده‌های بسیار زیاد است. حال این‌که دسترسی به داده‌های دقیق، به‌دلیل گستردگی و حجم بالای معیارهای مؤثر در مدل‌سازی فرآیند توسعه شهری، کار ساده‌ای نیست. از این‌رو نظریه فازی به‌دلیل پشتیبانی از عدم قطعیت و قابلیت توصیف واژگان

۱ ـ دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی و عضو قطب علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

۲ ـ کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه‌صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

۳ ـ استادیارگروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

۴ ـ عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران-نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، خراسان شمالی، بجنورد.
Email:ghjavadi@ub.ac.ir

طبیعی می‌تواند در بیان اجزای CA استفاده گردد. مدل پیشنهادی به‌منظور مدل‌سازی گسترش شهر شیراز بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ استفاده شده و سپس نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسه نتایج این تحقیق با تصاویر ماهواره‌ای، حاکی از دقت ۸۰ درصدی برای روش پیشنهادی می‌باشد، این در حالی است که برای روش اتوماسیون سلولی معمول دقت ۷۵ درصد گزارش شده است. نتایج تحقیق، گامی به سمت جلو می‌باشد، زیرا مدل پیشنهادی با افزایش قابلیت اتوماسیون سلولی در مدل‌سازی پروسه‌های پیچیده مکانی به دقت مطلوب‌تری نیز دست پیدا کرده است. نتایج حاصل از این مدل‌سازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب جهت اخذ تصمیم‌های بهینه در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

واژگان کلیدی: توسعه شهری، سیستم اطلاعات جغرافیایی، اتوماسیون سلولی، منطق فازی، قوانین انتقال، شهر شیراز.

مقدمه

شهرهای امروز روزبه‌روز از لحاظ کالبد بزرگ‌تر و از لحاظ ساخت پیچیده‌تر می‌گردند و به دنبال این رشد فیزیکی، توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آن‌ها نیز به‌تدریج دگرگون می‌شود. همواره فضای کالبدی شهرها تحت تأثیر مکانیزم‌ها و عواملی قرار دارد که در طی زمان با پیشرفت‌ها و تحولات اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و زیست محیطی متحول می‌گردند و در ضمن این تأثیرات، تغییرات جدیدی نیز برچهره و منظر کالبدی شهر تحمیل می‌کنند (Veldkamp, 2001: 210; Malczewski, 2006: 27).

اتوماسیون سلولی[5] که روشی مناسب جهت مدل‌سازی فرآیندهای پیچیده مکانی می‌باشد، در مدل‌سازی فرآیند توسعه شهری بسیار کاربرد دارد (White,1997: 240). از آنجایی‌که در منابع علمی داخلی از مدل‌های پویا در مسائل شهری، بخصوص گسترش شهرها کم‌تر استفاده شده است، بنابراین ارزیابی قابلیت استفاده از این مدل‌ها می‌تواند گام مهمی در جهت توسعه آن‌ها باشد. مدل‌های سلول‌های خودکار یا به اختصار CA به‌دلیل داشتن

5- Cellular Automata (CA)

ماهیت دینامیک و هم‌چنین ساختاری ساده،کاربرد نسبتاً وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و هم‌چنین توسعه اراضی شهری یافته است. اتوماسیون سلولی به‌عنوان تکنیکی با خصوصیاتی هم‌چون سادگی، شفافیت و پتانسیل قوی جهت مدل‌سازی پویایی‌های مکانی، روز به روز در مدل‌سازی GIS و امور شهری بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است (Wu, 1996: 370; Openshaw, 1998: 1865).

تا به حال تحقیقات فراوانی در زمینه مدل‌سازی رشد شهرها از دیدگاه‌های مختلف انجام گرفته است، وایت و اِنگلن از سلولی با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر به‌منظور ارزیابی یک مدل اتوماسیون سلولی مقید برای شبیه‌سازی الگوهای کاربری شهری در چهار شهر آمریکا، بهره بردند (Englen, 1993: 77). بعد از آن، دیتزل و کلارک چگونگی تغییر قدرت تفکیک مکانی را مطالعه کردند تا اثرات آن را بر تنظیم پارامترهای مدل اتوماسیون سلولی و خروجی‌های مدل بررسی کنند (Dietzel, 2004: 84). سایر محققان نظیر مِنارد و مارکیو و هم‌چنین کوکاباس و دراژویچ اثرات ترکیبی مقیاس مکانی سلول‌ها و ابعاد همسایگی را بر کارکرد و خروجی مدل، ارزیابی کردند (Menard, 2005: 681; Kocabas, 2006: 30). پس از آن‌ها، مطالعاتی توسط استیونس و دراژویچ انجام شد که در آن یک مدل اتوماسیون سلولی از ساختار مکانی نامنظّم همراه با قدرت تفکیک‌های مکانی و زمانی بالا برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین، بهره می‌برد. این مدل که به مدل iCity معروف است، از داده‌های کاربری زمین با قدرت تفکیک بالا به همراه واحدهای مکانی متشکل از قطعات ثبتی با اشکال و اندازه‌های مختلف در ساختار برداری استفاده می‌کند (Stevens, 2007: 14).

در سالیان اخیر یکی از جنبه‌های توسعه در زمینه مدل‌سازی روندهای مکانی، کاربرد مجموعه‌های فازی و منطق فازی بوده است. نیاز به روشی متفاوت در جایی که ریاضیات دقیق روشی مناسب برای مدل‌سازی رفتار سیستم‌های پیچیده نیست، موجب ظهور نسل جدیدی از اتوماسیون سلولی، به‌واسطه تلفیق این روش با روش‌های دیگر شد. ازاین‌رو لی برای ترکیب اتوماسیون سلولی و منطق فازی، وضعیت و حالت سلول‌ها را به صورت فازی

بیان کرده و با استفاده از توابع عضویت فازی فاکتور جمعیت، تعیین کرد که هر سلول چه درجه عضویتی در مجموعه فازی شهر دارند (Liu, 2003: 18). در مدل ترکیبی CA و فازی که توسط Al-Kheder و همکاران توسعه داده شده است، میزان شهری بودن سلول‌های همسایه، پتانسیل شهری شدن یک سلول را تعیین می‌کند و این مسئله‌ای است که در مدل اتوماسیون سلولی که به‌صورت قطعی بوده، در نظر گرفته نشده است (Al-Kheder, 2006: 8). Al-Ahmadi، در تحقیقات خود مدلی پیاده‌سازی کرد که در آن پنج کاربری دریاچه، رودخانه، مناطق شهری، مناطق غیرشهری و منبع آلودگی در نظر گرفته شد. هم‌چنین مدل ارتفاعی رقومی و فاصله تا مرکز شهر به‌عنوان ورودی در پردازش استنتاج فازی در نظر گرفته شدند (Al-Ahmadi, 2009: 80). Yongjiu Feng در مقاله خود یک روش اتوماسیون سلولی بهبود یافته، بر مبنای رویکرد بهینه سازی توده ذرات برای مدل‌سازی توسعه شهری ارائه کرد. تأکید وی در این روش بر بهینه‌سازی قوانین انتقال می‌باشد که نتایج مدل باعث بهبود دقت محلی می‌شود (Yongjiu Feng, 2011: 3).

از جمله تحقیقات داخلی که در زمینه CA انجام گرفته می‌توان به تحقیق آقای ملکی اشاره کرد. وی برای مدل‌سازی توسعه شهری از اتوماسیون سلولی کلاسیک استفاده کرد که البته تاکید او بر کالیبراسیون مدل با الگوریتم ژنتیک بود (ملکی، ۱۳۸۹: ۷). هم‌چنین خانم مرادی در پایان نامه خود یک مدل اتوماسیون سلولی فازی توسعه داده و از آن برای مدلسازی توسعه شهری استفاده نموده است. در مدل وی بیش‌ترین تأکید بر تعریف حالت و وضعیت سلول‌ها به‌صورت فازی می‌باشد (مرادی، ۱۳۹۰: ۱۲). آقای ربانی و همکاران نیز با بهره‌گیری از مدل خودکاره ترکیبی و روش بهینه‌سازی توده ذرات، به مدل‌سازی گسترش شهری پرداخته‌اند. آن‌ها در مدل خود برای محاسبه احتمال گسترش براساس فاصله از عوامل توسعه مانند شبکه راه‌ها و یا مراکز مهم شهری، روش بهینه سازی توده ذرات را به‌کار گرفته‌اند (ربانی، ۱۳۹۰: ۳۹).

همان‌طور که عنوان شد در برخی تحقیقات اخیر سعی شده روش اتوماسیون سلولی با مفاهیم فازی ترکیب شود، البته در هیچ‌کدام بر فازی‌سازی قوانین انتقال و تعریف توابع عضویت مربوطه، تأکید نشده است. هدف اصلی این مقاله طراحی و بهینه‌سازی مدل اتوماسیون سلولی با استفاده از مفاهیم فازی در مراحل مختلف مدل، خصوصاً در مرحله تعریف قوانین انتقال و توابع عضویت می‌باشد. بنابراین ساختار کلی مدل پیشنهادی بر اساس اتوماسیون سلولی بنا نهاده شده و در مراحل مختلف برای تقویت مدل سعی می‌شود تا منطق فازی به‌کار گرفته شود. برای این منظور از بین عوامل مؤثر بر تغییر و توسعه شهرها، فاکتورهای تناسب فیزیکی، سطح دسترسی و اثر همسایگی در نظر گرفته شده و مدل پیشنهادی براساس سه فاکتور ذکر شده طراحی گردید.

در این پـژوهش ابتدا مطالبی در مورد CA و کاربرد مفاهیم فازی در این روش بیان می‌شود، سپس مدل پیشنهادی ارائه شده و برای شهر شیراز پیاده‌سازی می‌گردد. در قسمت آخر مقاله نیز به بررسی نتایج عددی حاصل از اجرای مدل و مقایسه این نتایج با واقعیت پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

مدل اتوماسیون سلولی از روش های معمول در مدل‌سازی توسعه شهری است. این مدل اولین بار توسط Von Neumann و Ulam در دهه‌ی ۱۹۴۰ برای مطالعه رفتار سیستم‌های پیچیده ابداع شد (Qingsheng, 2008: 595 ; Verburg, 2004: 670). در این مدل هر سلول که در معرض توسعه شهری قرار گیرد، وضعیت آن را، سلول‌های همسایه و قوانین موجود تعیین مـی‌کنند. اتوماسیون سلولی یـک سیستم پویا و گسسته در مـکان و زمان می‌باشد که بر روی شبکه منظمی از سلول‌ها عمل می‌کند. در این سیستم مقدار یا حالت هر سلول در طول زمان در قالب تابعی از مقادیر سلول‌های همسایه و مقدار خود سلول تغییر می‌کند. مدل اتوماسیون سلولی به‌دلیل داشتن ماهیت پویا و هم‌چنین خصوصیات منحصر به

فرد آن در مدل‌سازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و هم‌چنین توسعه اراضی شهری پیدا کرده است. چیزی که در این مدل حائز اهمیت است این است که این تغییرات در قالب زمان و مکان فقط به شکل محلی تغییر می‌کنند و فقط سلول های مجاور هستند که در این تغییرات دخیل می‌باشند (مرادی، ۱۳۹۰: ۴۳).

تنوع و سادگی رفتار اتوماسیون سلولی، امکان استفاده از آن را در علوم مختلفی از اکولوژی و بیولوژی گرفته، تا رایانه، ریاضی و فیزیک فراهم می‌سازد. در اتوماسیون سلولی، سعی در بیان سیستم با عناصری ساده و نمایش پیچیدگی آن با استفاده از تعامل این عناصر بر طبق قوانینی ساده است. اتوماسیون سلولی، با توجه به حالات سلول های همسایه اش تغییر می‌کند. به عبارت دیگر حالت جدید هر سلول در زمان t+1 تابعی از حالت خود سلول () و سلول‌های همسایه‌اش (s_{Ω}) در زمان t است، مطابق رابطه زیر (Liu, 2003: 21):

$$s_{xij}^{t+1} = f(s^{t}_{xij}, s^{t}_{\Omega xij})$$ رابطه (۱)

مدل CA دارای پنج عنصر اصلی می‌باشد:

فضای سلولی: سلول‌ها می‌توانند به حالت سه ضلعی، چهارضلعی و شش ضلعی و به صورت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی در کنار یکدیگر قرار گیرند (مرادی، ۱۳۹۰: ۵۱).

همسایگی: همسایگی در واقع سلول‌های مجاور یک سلول هستند که حالات بعدی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. چهار سلول، هشت سلول و همسایگی شعاعی از معروفترین همسایگی‌ها در بحث اتوماسیون سلولی می‌باشند (Riccioli F. et al, 2013: 5362).

قانون انتقال: قوانین انتقال، الگوریتم‌هایی جهت تغییر سلول‌ها از یک حالت به حالت دیگر در طی زمان ارائه کرده و در واقع قوانینی هستند که بر گذر بین حالت‌های یک سلول حکم فرما می‌باشند (Qingsheng Yang et al, 2008).

مجموعه حالت‌ها: هر سلول در هر زمان می‌تواند یک حالت از مجموعه تمام حالت‌های ممکن را داشته باشد. در اتوماسیون سلولی شهری حالت سلول‌ها می‌تواند نمایانگر کاربری اراضی و یا پوشش زمین باشد. در فضای سلولی معمولاً حالت سلول‌ها به صورت گسسته بیان می‌شود (Kocabas et al, 2006).

زمان: بر اساس تعریف اتوماسیون سلولی، حالت هر سلول در گام‌های زمانی متوالی با تکرار قانون اتوماسیون سلولی و با توجه به حالات سلول‌های همسایه‌اش تغییر می‌کند. البته این گام‌های زمانی می‌تواند دارای سرعت‌های مختلف برای سلول‌های مختلف باشد (Bandini, S. & Worsch, T., 2001).

الف) بیان فازی قوانین انتقال: چگونگی تعریف و بیان این قوانین انتقال[6]، تأثیر بسیار زیادی بر ساختار مدل و خروجی‌های آن خواهد داشت. بیان قوانین انتقال در مدل‌های اتوماسیون سلولی کلاسیک و نیز بسیاری از مدل‌های توسعه یافته امروزی به‌صورت جبری و بر پایه روش‌های ریاضی بوده و نیازمند داده‌های بسیار زیاد است که به‌دلیل گستردگی و حجم بالای معیارهای مؤثر در فرآیندهای پیچیده مکانی،کار ساده‌ای نیست. از این‌رو نظریه فازی به‌دلیل پشتیبانی از عدم قطعیت و قابلیت توصیف واژگان طبیعی می‌تواند در بیان قوانین انـتقال CA مورد استفاده قرار گیـرد. این امر موجب افزایش قابلیت مدل‌سازی فرآیندهای پیچیده مکانی خواهد شد.

ب) بیان فازی حالت سلول‌ها: در روش‌های CA کلاسیک، معمولاً حالت سلول‌ها به صورت گسسته بیان شده و مرز روشنی بین تمامی حالت‌ها وجود دارد. در حالی‌که در عمل شناسایی یک مرز صریح و روشن بین حالت‌ها ممکن است کمی مشکل باشد. برای حل این مشکل، برخی محققان استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی جهت تعریف حالت سلول‌ها را توصیه کرده‌اند.

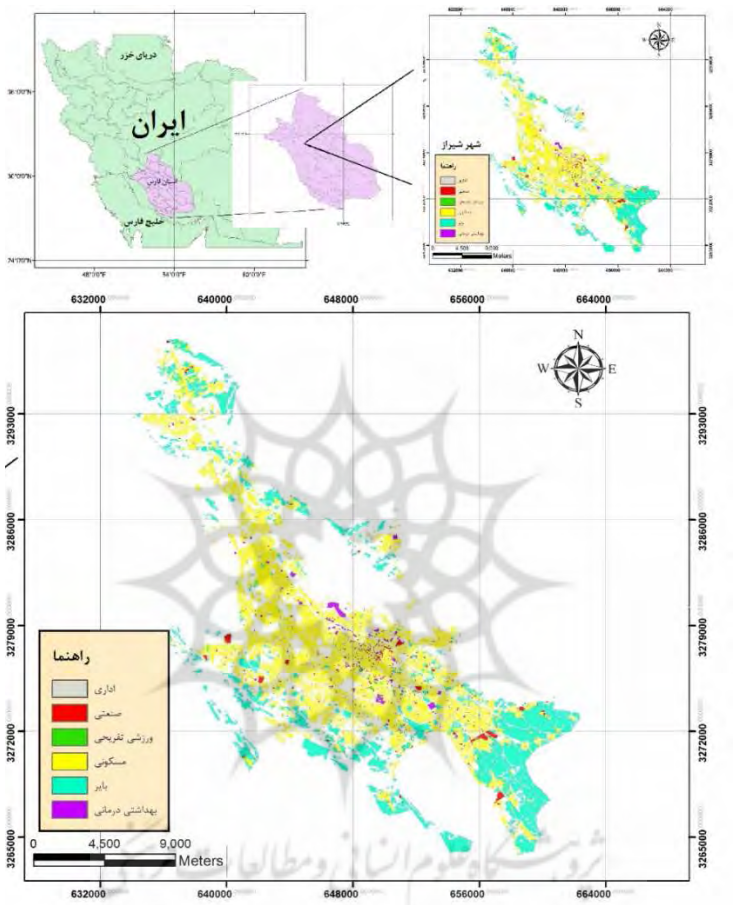
6- Transition Rules

ج) بیان فازی مرزهای جغرافیایی: در بیان ویژگی‌هایی که دارای تغییرات پیوسته هستند نظیر جنس خاک، پوشش زمین و تراکم جمعیت، استفاده از مرزهای واضح برای تمایز طبقات مختلف روش مناسبی نمی‌باشد، زیرا این‌گونه مرزها به‌ندرت واضح و مشخص هستند و استفاده از مرزهای قطعی برای آن‌ها می‌تواند منجر به تعبیر نادرست اطلاعات شود. همانند این پدیده‌ها، شهرها نیز به‌صورت «پیوسته» در مکان و زمان رشد می‌کنند. استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن برای بیان پدیده‌های جغرافیایی راه حلی برای مقابله با اینگونه مشکلات است.

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

شیراز یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز استان فارس است. در سال ۱۳۸۵ خورشیدی، این شهر جمعیتی بالغ بر ۱۲۱۴۸۰۸ نفر داشته که این تعداد در سال ۱۳۸۸ خورشیدی به ۱۴۵۵۰۷۳ نفر افزایش پیدا کرده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). علاوه بر افزایش جمعیت، شهر از نظر مساحت فیزیکی نیز توسعه نسبتاً چشمگیری داشته و اسکان غیررسمی و حاشیه‌نشینی در اطراف شهر تشدید یافته و ابعاد گسترده‌ای پیدا کرده است (سروستانی، ۱۳۸۸: ۸). سرعت توسعه شهر شیراز محققان این تحقیق را به اجرای مدل توسعه شهری برای این شهر ترغیب نمود. شکل (۱) موقعیت مکانی و توزیع کاربری‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

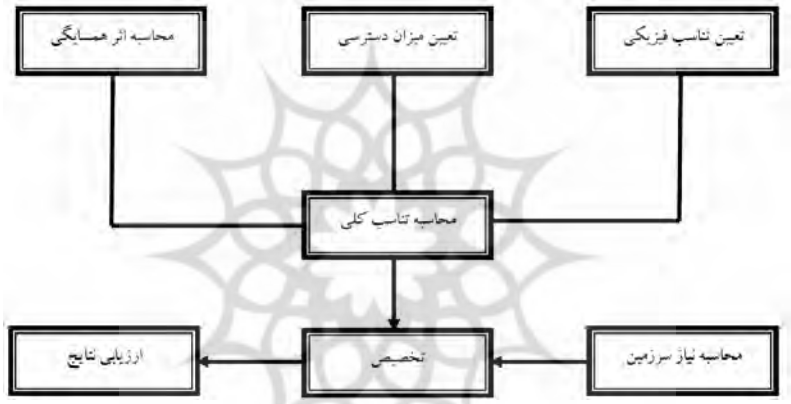


شکل (۱) موقعیت مکانی و توزیع کاربری‌های شهر شیراز در سال۱۳۸۳

در این پژوهش علاوه بر داده‌های ارتفاعی و نقشه راه‌ها، از لایه‌های شش کاربری مسکونی، صنعتی، اداری، تفریحی، بهداشتی–درمانی و بایر در سال ۱۳۸۳ و نیز تصاویر ماهواره‌ای حاصل از سنجنده‌های TM و ETM^{+} (شماره گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۴) برای سال ۲۰۰۹ و برروی ماهواره لندست استفاده شده است که قدرت تفکیک این تصاویر به‌ترتیب ۳۰ و ۲۸/۵ متر می‌باشد. بدین ترتیب که از داده‌های سال ۱۳۸۳ استفاده شده و وضعیت

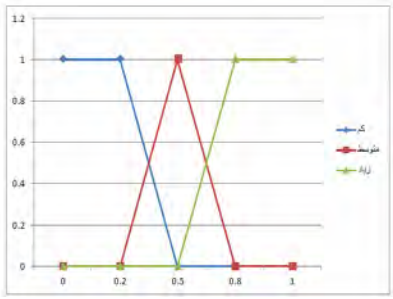
شهر برای سال ۱۳۸۸ مدل‌سازی می‌شود. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شبیه‌سازی صورت گرفته مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و دقت مدل با واقعیت مقایسه می‌شود.

مطابق شکل ۲ در ابتدا، با به‌کارگیری داده‌های مورد نیاز و روش‌های مناسب، نقشه‌های تناسب فیزیکی، دسترسی و اثر همسایگی تولید می‌شود و سپس با ترکیب این نقشه‌ها تناسب کلی برای هر پیکسل محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد با توجه به نقشه تناسب کلی و نیاز سرزمین، فرآیند تخصیص صورت می‌پذیرد.

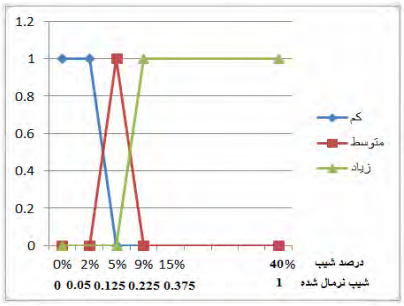


شکل (۲) چارچوب مدل پیشنهادی

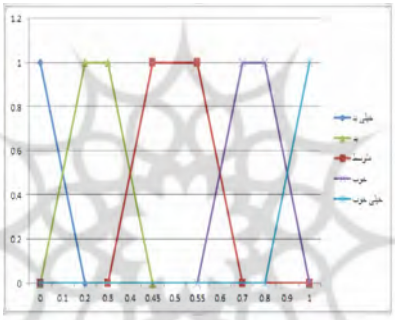
یکی از مواردی که در برنامه‌ریزی‌های شهری باید به آن توجه داشت ژئومورفولوژی شهری است که به ساختار زمین‌شناسی شهر و پیرامون آن می‌پردازد و در آن روند رشد شهری مشخص می‌گردد. در همین راستا در این تحقیق فاکتورهای شیب و ارتفاع به‌عنوان دو عامل تأثیرگذار در رشد شهری در نظر گرفته شده‌اند. جهت تعیین اثر فاکتورهای فیزیکی زمین یعنی شیب و ارتفاع، ابتدا برای هرکدام از این فاکتورها با استفاده از دانش کارشناسی توابع عضویت تعریف می‌گردد (شکل ۳و۴و۵). همچنین قبل از تعریف توابع عضویت، باید نقشه‌ها نرمال‌سازی شوند.



شکل شماره (۳) تابع عضویت ارتفاع



شکل شماره (٤) تابع عضویت شیب



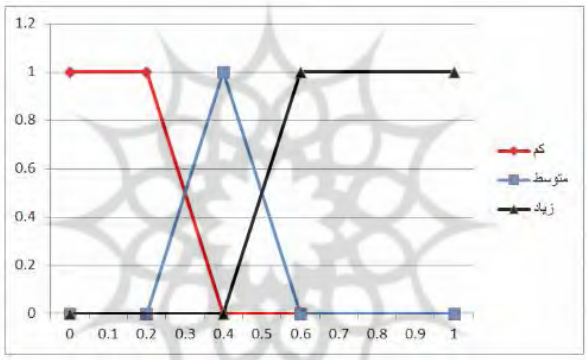
شکل شماره (٥) تابع عضویت خروجی تناسب فیزیکی

بعد از تعریف توابع عضویت و نیز قوانین انتقال فازی، مطابق جدول (۱) از موتور استنتاج ممدانی برای پردازش داده‌ها و تهیه نقشه تناسب فیزیکی، استفاده می‌شود.

جدول (۱) چند نمونه از قوانین انتقال برای محاسبه تناسب فیزیکی

شیب	ارتفاع	تناسب فیزیکی
کم	کم	خیلی خوب
متوسط	کم	خوب
زیاد	زیاد	خیلی بد
زیاد	متوسط	خیلی بد
متوسط	زیاد	بد

شبکه حمل و نقل یکی از مهم‌ترین عوامل در تسریع روند توسعه شهری است. از جمله فاکتورهای دسترسی، دسترسی به ایستگاه‌های مترو، پایانه‌های حمل و نقل و هم‌چنین دسترسی به آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی و فرعی هستند که در این تحقیق با توجه به داده‌های موجود، دسترسی به راه‌های اصلی و فرعی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در رشد شهری درنظر گرفته شدند. برای محاسبه میزان دسترسی، ابتدا توابع عضویت (شکل ۶) و قوانین انتقال (جدول ۲) تعریف شده و سپس با استفاده از موتور استنتاج فازی به تهیه نقشه دسترسی پرداخته می‌شود.



شکل شماره (٦) تابع عضویت فاصله

جدول شماره (۲) چند نمونه از قوانین انتقال برای محاسبه میزان دسترسی

فاصله تا راه اصلی	فاصله تا راه فرعی	دسترسی
کم	کم	خیلی خوب
متوسط	کم	خوب
زیاد	زیاد	خیلی بد
زیاد	متوسط	بد
متوسط	زیاد	بد

ساختار و شکل همسایگی به دلیل بیان محدوده مؤثر بر تغییر وضعیت سلول، یکی از اجزای مهم اتوماسیون سلولی است. در این تحقیق به‌منظور بررسی اثر همسایگی بر

خروجی نهایی از همسایگی‌هایی با ابعاد ۸ سلول و به صورت دایره‌ای استفاده شد. محاسبه اثر کاربری‌های مجاور که در CA تحت عنوان اثر همسایگی شناخته می‌شود، با روش فاکتور غنی سازی صورت می‌پذیرد. به این ترتیب که ابتدا با رابطه ۲ اثر هریک از کاربری‌ها و در فواصل مختلف از سلول مرکزی بر پیکسل‌های دارای کاربری بایر محاسبه می‌شود (Karimi M. et al, 2012: 7):

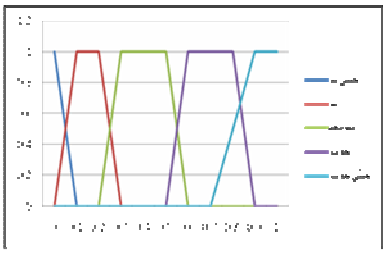
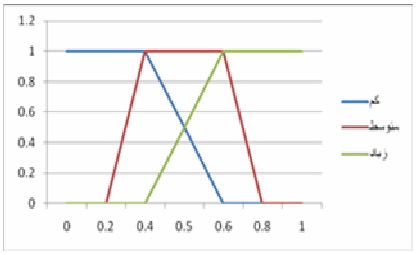
رابطه (۲)
$$F_{kdi} = \frac{\frac{n_{kdi}}{n_{di}}}{\frac{N_k}{N}}$$

در این رابطه F فاکتور غنی‌سازی، i پیکسل مرکزی ،d فاصله، k کاربری، n تراکم محلی و N تراکم کلی می‌باشند. در مرحله بعد با استفاده از رابطه (۳) اثر کاربری‌های مختلف با هم جمع شده و اثرهمسایگی نهایی محاسبه می‌شود (Karimi M. et al, 2012: 10):

رابطه (۳)
$$N = \sum_d \sum_k w_{d,k} \qquad d = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

در این تحقیق برای محاسبه اثر همسایگی، از شش کاربری صنعتی، مسکونی، اداری، تفریحی، بهداشتی و بایر به‌عنوان حالت و وضعیت سلول‌ها استفاده می‌شود. ساختار کلی مدل از قانون تابلر تبعیت مـی‌کند. بنابر این سلول‌هایی که در اطراف خود همه انواع کاربری‌ها را دارند از اثر همسایگی بیشتری برخوردار هستند.

در مراحل قبل برای هر یک از سلول‌ها در منطقه مورد مطالعه، سه عدد به‌عنوان وضعیت ژئومورفولوژی، میزان دستری به شبکه حمل و نقل و اثر همسایگی سلول‌های اطراف محاسبه شد. تلفیق سه عدد ذکر شده و محاسبه یک عدد به‌عنوان پتانسیل نهایی سلول برای شرکت در فرآیند توسعه، تحت عنوان محاسبه تناسب کلی شناخته می‌شود. برای محاسبه تناسب کلی یک سیستم فازی ایجاد می‌شود که از سه بخش توابع عضویت (شکل ۷)، قوانین انتقال (جدول ۳) و موتور استنتاج تشکیل شده است.

شکل (۷) توابع عضویت ورودی (راست) و خروجی(چپ) برای محاسبه تناسب کلی

جدول (۳) چند نمونه از قوانین انتقال برای محاسبه تناسب کلی

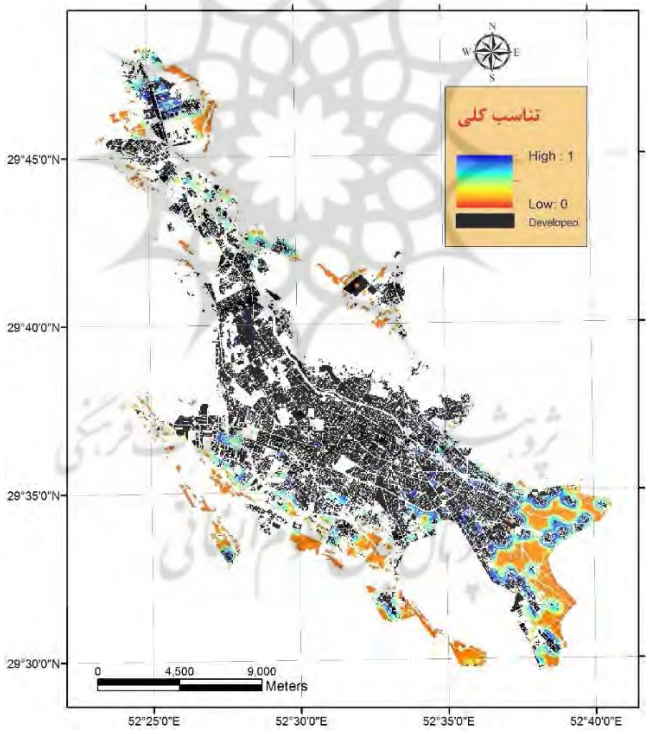
تناسب فیزیکی	میزان دسترسی	اثر همسایگی	خروجی
زیاد	زیاد	زیاد	خیلی خوب
متوسط	زیاد	زیاد	خیلی خوب
زیاد	زیاد	کم	خوب
زیاد	متوسط	کم	متوسط
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
کم	متوسط	متوسط	بد

تا این مرحله برای تمام پیکسل‌ها تناسب کلی محاسبه شده و این تناسب به‌عنوان پتانسیل این پیکسل‌ها برای تغییر وضعیت به حالت شهری (توسعه به سایر کاربری‌ها) شناخته می‌شود یعنی پیکسل‌های بایری که دارای پتانسیل بیش‌تری می‌باشند برای تغییر وضعیت به حالت شهری در اولویت قرار دارند.

یکی دیگر از بخش‌های مهم مدل در مدل‌سازی توسعه شهری، بررسی میزان تقاضای سرزمین به توسعه می‌باشد. بدین منظور وضعیت گسترش شهر در دو یا چند بازه زمانی مورد بررسی قرار گرفته تا میزان و جهت توسعه کلی شهر مشخص گردد. در این تحقیق از لایه کاربری‌های شهر درسال ۱۳۸۳ به‌عنوان زمان مبدأ (حالت اولیه) و از تصاویر ماهواره‌ای محدوده در سال ۱۳۸۸ به‌عنوان زمان هدف (حالت توسعه‌یافته) استفاده شده است و با

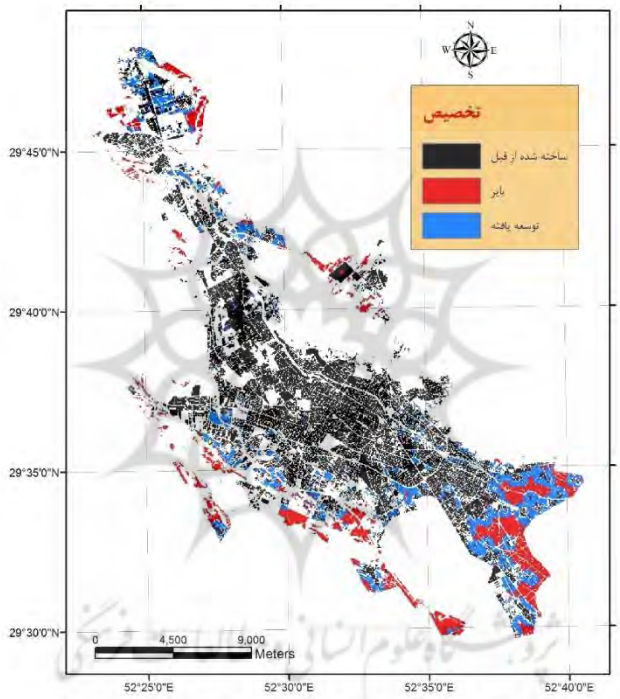
مقایسه این دو حالت مشخص شد که حدود ۴۰۷ پیکسل از کاربری بایر به ساخته شده تغییر کاربری داده‌اند.

مدل پیشنهادی برای لایه‌های کاربری شهر شیراز در سال ۱۳۸۳ اجرا شد. بدین منظور در نرم افزار ArcGIS 10 به هریک از این کاربری‌ها یک کد اختصاص داده شده و فرمت رستر به فرمت ASCII قابل اجرا در نرم‌افزار MATLAB تبدیل گردید. فرآیند پردازش داده‌ها و محاسبه اثر همسایگی با در نظر گرفتن شعاع ۸ پیکسل دایره‌ای صورت پذیرفت و برای هریک از کاربری‌ها یک ماتریس اثر همسایگی به‌دست آمد. در نـهایت با تلفیق روش‌های اتوماسیون سلولی و توابع فازی، نقشه اثر همسایگی مطابق شکل ۸ به‌دست آمد.



شکل شماره (۸) نقشه تناسب کلی شهر شیراز در سال ۱۳۸۳

جهت انجام فرآیند تخصیص حد آستانه ۰/۹ برای تناسب کلی درنظر گرفته شده و فرض شد تمام پیکسل‌هایی که در سال مبنا دارای کاربری بایر بوده و نیز تناسب کلی بالا ۰/۹ دارند، از سال مبنا تا سال هدف از کاربری بایر به کاربری ساخته شـده تـغییر حالت می‌دهند (شکل ۹).



شکل شماره (۹) فرآیند تخصیص

یافته‌ها

با بررسی نقشه خروجی مدل مشخص می‌شود که حدود ۳/۶ درصد از پیکسل‌ها دارای تناسب کلی بالای ۰/۹ می‌باشند. پس درصورتی که پتانسیل ۰/۹ به‌عنوان حد آستانه تخصیص کاربری در نظر گرفـته شود، حدود ۷۳۰ پیکسل در فـرآیند تخصیص شـرکت

می‌کنند. از مقایسه نقشه مدل‌سازی شده در سال هدف و نقشه واقعی شهر در این سال مشخص می‌شود که ۳۲۱ پیکسل در هر دو نقشه از کاربری بایر به کاربری ساخته شده تغییر کرده‌اند. هم‌چنین ۴۰۹ پیکسل وجود دارد که در نقشه مدل‌سازی از بایر به ساخته شده تبدیل شده، ولی در واقعیت تغییر کاربری نداده‌اند و نیز ۸۶ پیکسل موجود می‌باشد که در واقعیت از کاربری بایر

به ساخته شده تبدیل شده‌اند ولی در مدل‌سازی این تغییر کاربری برای آنها لحاظ نشده است، جدول (۴) خلاصه این نتایج را نشان می‌دهد. در جدول (۴)، دقت کلی نمایانگر نسبت پیکسل‌های درست تخصیص داده شده به تعداد کل پیکسل‌ها می‌باشد. دقت کاربر نشان دهنده درصد پیکسل‌های ساخته شده در واقعیت است که درست پیش‌بینی شده اند و دقت تولید کننده برابر درصد پیکسل‌های ساخته شده از نقشه شبیه سازی است که برای آنها تخصیص به درستی صورت گرفته است. شاخص سازگاری نیز از لحاظ کردن توام دقت کاربر و تولید کننده به‌دست می‌آید.

جدول شماره (٤) ماتریس مقایسه و شاخص‌های دقت برای خروجی مدل

	واقعیت		
مدل‌سازی با Fuzzy	ساخته شده		بایر
ساخته شده	۳۲۱		۴۰۹
بایر	۸۶		۱۹۳۶۴
دقت کلی	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	شاخص سازگاری
۰/۹۷۵	۰/۷۸۸	۰/۴۳۹	۰/۳۹۳

بحث و نتیجه‌گیری

مساله مدل‌سازی رشد شهری و پیش‌بینی نحوه گسترش شهرها در آینده یکی از مسائلی با اهمیت بالا برای مدیران و کارشناسان در حوزه برنامه‌ریزی شهری می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلفی برای حل این مساله به کار گرفته شده که CA یکی از پرکاربردترین این روش‌ها می‌باشد. این مقاله کارایی مدل‌سازی CA، سیستم‌های فازی و GIS را در یک مدل تلفیقی

و به منظور مدل‌سازی رشد شهری شیراز مورد بررسی و ارزیابی قرار داده است. مدل پیشنهادی این تحقیق با هدف شناسایی و بهبود درک کاربران از عوامل فیزیکی، فاکتورهای دسترسی و اثر همسایگی که بر توسعه شهری تأثیر می‌گذارند و نیز برای یافتن محتمل‌ترین مکان‌ها برای توسعه شهری آینده شهر شیراز، مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده از این ارزیابی، دیدگاه‌های قابل توجهی را در مورد شبیه‌سازی توسعه‌های آتی شهری ارائه می‌دهد.

هدف مدل پیشنهادی، افزایش قابلیت روش اتوماسیون سلولی در مدل‌سازی فرآیندهای پیچیده مکانی، با استفاده از ترکیب این روش با منطق فازی می‌باشد. در این راستا توسعه شهر شیراز بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ با پیاده‌سازی مدل ترکیبی بر روی لایه‌های کاربری سال ۱۳۸۳، شبیه‌سازی شد. به‌منظور مدل‌سازی روند توسعه از میان فاکتورهای مؤثر، فاکتور تناسب فیزیکی، میزان دسترسی و اثر همسایگی به‌عنوان فاکتور اصلی مورد نظر قرار گرفت. مقایسه نتایج مدل با تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد حدود ۸۰ درصد از پیکسل‌هایی که در واقعیت از کاربری بایر به کاربری ساخته شده تغییر حالت داده‌اند، در شبیه سازی نیز شناسایی شده‌اند. این دقت در مقایسه با دقت ۷۵ درصد حاصل از مدل‌سازی با روش اتوماسیون سلولی (بدون استفاده از منطق فازی) در تحقیق انجام شده توسط ملکی (ملکی، ۱۳۸۹: ۵۶) قابل قبول می‌باشد. نتایج تحقیق، گامی به سمت جلو می‌باشد، زیرا مدل پیشنهادی با افزایش قابلیت اتوماسیون سلولی در مدل‌سازی پروسه‌های پیچیده مکانی به دقت مطلوب‌تری نیز دست پیدا کرده است. نتایج حاصل از این مدلسازی می‌تواند جهت اخذ تصمیم‌های بهینه در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

منابع

- ربانی، امیر (۱۳۹۰)، «مدل‌سازی گسترش شهری با بهره‌گیری از مدل خودکاره‌ی ترکیبی و روش بهینه‌سازی توده ذرات»، ***نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری***، دوره اول شماره ۳، صفحات ۳۹- ۴۶.

- سروستانی، مهدی (۱۳۸۸)، «بررسی روند رشد شهر شیراز و تاثیر آن بر فضای سبز طی سه دهه گذشته»، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک سازمان نقشه برداری کشور، تهران، ایران.

- مرادی، مریم (۱۳۹۰)، «مدل‌سازی توسعه سکونتگاه‌های شهری با استفاده از اتوماتای سلولی فازی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

- مرکز آمار ایران، سالنامه آماری (۱۳۹۰)، سالنامه آماری استان فارس.

- ملکی، داود (۱۳۸۹)، «مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از روش اتوماتای سلولی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

- Al_Ahmadi, K., See, L. (2009), "Calibration of a fuzzy Cellular Automata model of urban dynamics in Saudi Arabia", ***Ecological Complexity***, 6(2), PP. 80-101.

- Al_Kheder, SH., Jun Wang, Jie Shan. (2006), "Fuzzy cellular Automata Approach for Urban Growth Modeling", American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, Reno, Nevada.

- Bandini, S., Worsch, T. (2001), "Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata, Proceedings of the Fourth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, PP 108– 116.

- Dietzel, R. (2004), "Spatial differences in multi-resolution urban automata modeling, ***Transactions in GIS***, Vol. 8, PP 479–92.

- Engelen, G. (1993), "Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use", ***Environment and Planning A***, Vol. 25, Pp. 1175–99.

- Karimia M., Sharifib M.A., Mesgaria M.S. (2012), "Modeling land use interaction using linguistic variables", ***International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation***, Vol. 16, PP. 42–53.

- Kocabas, V., Dragicevic, S., (2006), "Assessing Cellular Automata model behaviour using a sensitivity analysis approach, Computers", ***Environment, and Urban Systems***, Vol. 30(6), Pp. 921–953.

- Liu, Y., S.R. Phinn (2003), "Modeling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches, Computers", ***Environment and Urban Systems***, Vol. 27(6), PP. 637-658.

- Malczewski, J. (2006), "Ordered Weighted Averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis, ***International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation***, Vol. 8, PP. 270–277.

- Menard, J. (2005), "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata", ***Environment and Planning***, B, Vol. 32, Pp. 693–714.

- Openshaw, S. (1998), "Neural network, genetic, and fuzzy logic models of spatial interaction", ***Environment and Planning***, A, Vol. 30(10), PP. 1857-1872.

- Qingsheng Yang, Xia Li, Xun Shi (2008), "Cellular Automata for simulating land use changes based on support vector machines", ***Computers & Geosciences***, Vol. 34, PP. 592–602.

- Riccioli, F., Toufic El Asmar & Jean-Pierre El Asmar & Roberto Fratini (2013), "Use of cellular automata in the study of variables involved in land use changes", ***Environ Monit Assess***, Vol. 185, PP. 5361–5374.

- Stevens, S. (2007), "A GIS-based irregular cellular automata model of landuse change", Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 34, PP. 708–24.

- Veldkamp, A., Kok, K. (2001), "Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America, Agriculture", ***Ecosystems and Environment***, Vol. 85, PP. 205-221.

- Verburg PH, De Nijs TCM, Van Ritsema Eck J, Visser H, De Jong K. (2004), "A method to analysis neighborhood characteristics of land use patterns", ***Computers Environment Urban Systems***, Vol. 28, PP. 667–690.

- White, R., Engelen, G. (1997), "Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling", ***Environment and Planning***, Vol. 24(2), PP. 235-246.

- Wu, F. (1996), "A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region", ***Computers Environment and Urban Systems***, Vol. 20, PP. 367–87.

- Yongjiu, F. (2011), "Modeling dynamic urban growth using Cellular Automata and particle swarm optimization rules", ***International Journal of Landscape and Urban Planning***, Vol. 102(3), PP. 188-196.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی