

مدل سازی توسعه شهر شیراز با تلفیق مدل اتوماتای سلولی و سیستم های فازی

غلامرضا فلاحی^۱، مهران قبادیان نژاد^۲

^۱استادیار آموزشکده نقشه برداری، سازمان نقشه برداری کشور
^۲دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

چکیده

مدل سازی کاربری زمین و سناریوهای مکانی، توجه بسیاری را به عنوان وسیله ای برای برخورد با عدم قطعیت در طراحی و تصمیم گیری های مکانی جلب کرده اند. فعالیتهای گوناگونی نیز در این رابطه صورت پذیرفته است. مدل اتوماتای سلولی به طور گسترده در مدلسازی تغییرات مکانی-زمانی گسترش شهرها مورد استفاده قرار گرفته است. مقاله ای حاضر به ارائه مدل اتوماتای سلولی و ترکیب آن با منطق فازی پرداخته است. در روشهای متداول اتوماتای سلولی یا همان CA، حالت، وضعیت و قوانین انتقال به صورت قطعی تعریف میشوند در حالیکه بیان قطعی این اجزا، نیازمند داده های بسیار زیاد است. حال اینکه دسترسی به داده های دقیق، به دلیل گستردگی و حجم بالای معیارهای موثر در مدلسازی فرآیند توسعه شهری، کار ساده ای نیست. از اینرو نظریه فازی به دلیل پشتیبانی از عدم قطعیت و قابلیت توصیف واژگان طبیعی میتواند در بیان اجزای CA استفاده گردد. مدل پیشنهادی به منظور مدلسازی گسترش شهر شیراز بین سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ استفاده شده و سپس نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسه ای نتایج این تحقیق با تصاویر ماهواره ای، حاکی از دقت ۸۰ درصدی برای روش پیشنهادی می باشد، این در حالی است که برای روش اتوماتای سلولی معمول دقت ۷۵ درصد گزارش شده است. نتایج تحقیق، گامی به سمت جلو می باشد، زیرا مدل پیشنهادی با افزایش قابلیت اتوماتای سلولی در مدلسازی پروسه های پیچیده مکانی به دقت مطلوب تری نیز دست پیدا کرده است. نتایج حاصل از این مدلسازی می تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت اخذ تصمیم های بهینه در اختیار برنامه ریزان شهری قرار گیرد.

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

مقدمه

شهرهای امروزی روز به روز از لحاظ کالبد بزرگتر و از لحاظ ساخت پیچیده‌تر می‌گردند و به دنبال این رشد فیزیکی، توسعه‌ی اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آنها نیز به تدریج دگرگون می‌شود. همواره فضای کالبدی شهرها تحت تاثیر 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 تاثیرات، تغییرات جدیدی نیز برچهره و منظر کالبدی شهر تحمیل می‌کنند (Veldkamp, 2001: 210).

برای بازبینی موضوع توسعه شهری با دیدگاه کنترل روند تغییرات، باید موضوع را از زوایای متفاوت بررسی کرد. پیدایش تفکر آمایش شهری به همراه فناوری‌های جدید مانند سنجش از دور^۱، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ و تکنیک‌های مدلسازی برای دستیابی به برنامه‌ریزی‌های مناسب‌تر، اندیشه و فکر دانشمندان را در سال‌های اخیر به خود مشغول داشته‌اند. یکی از نتایج ترکیب قابلیت‌های مختلف فناوری‌های موجود را می‌توان در رویکردهای موجود مدلسازی توسعه شهری یافت، که هدف اصلی در آنها شناسایی روند تغییرات شهری در آینده بر اساس تغییرات گذشته است. مدلسازی رشد شهری توجه بسیاری از برنامه ریزان شهری را به خود جلب کرده است، که بر این اساس می‌توان توسعه‌ای متناسب با موقعیت شهر و براساس فاکتورهای زیست محیطی و عوامل طبیعی فراهم آورد و آینده شهر را رقم زد (Malczewski, 2006: 27).

اتوماتای سلولی^۳ 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 در مناطق مختلف می‌تواند گام مهمی در جهت توسعه آنها باشد. مدل‌های سلول‌های خودکار یا به اختصار CA بدلیل داشتن ماهیت دینامیک و همچنین ساختاری ساده، کاربرد نسبتاً وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و همچنین توسعه اراضی شهری یافته است. (Wu, 1996: 370; Openshaw, 1998: 1865)

مرور تحقیقات گذشته

تابه حال تحقیقات فراوانی در زمینه‌ی مدلسازی رشد شهرها از دیدگاه‌های مختلف انجام گرفته است، وایت و انگلن از سلولی با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر به منظور ارزیابی یک مدل اتوماتای 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 آنرا بر تنظیم پارامترهای مدل اتوماتای سلولی و خروجی‌های مدل بررسی کنند (Dietzel, 2004: 84).

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 اتوماتای سلولی، به واسطه تلفیق این روش با روش‌های دیگر شد. از اینرو لی برای ترکیب اتوماتای 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

¹ Remote Sensing (RS)

²Geographic Information Systems (GIS)

³Cellular Automata (CA)

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 اتوماتای سلولی که به صورت قطعی بوده، در نظر گرفته نشده است (Al-Kheder,2006:8). Al-Ahmadi در تحقیقات خود مدلی پیاده سازی کرد که در آن پنج کاربری دریاچه، رودخانه، مناطق شهری، مناطق غیر شهری و منبع آلودگی در نظر گرفته شد. همچنین مدل ارتفاعی رقومی و فاصله تا مرکز شهر به عنوان ورودی در پردازش استنتاج فازی در نظر گرفته شدند (Al-Ahmadi,2009: 80).

از جمله تحقیقات داخلی که در زمینه CA انجام گرفته می‌توان به تحقیق آقای ملکی اشاره کرد. وی برای مدلسازی توسعه شهری از اتوماتای 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 اتوماتای سلولی فازی توسعه داده و از آن برای مدلسازی توسعه شهری استفاده نموده است. در مدل وی بیشترین تاکید بر تعریف حالت و وضعیت سلول‌ها به صورت فازی می‌باشد (مرادی، ۱۳۹۰: ۱۲). آقای ربانی و همکاران نیز با بهره‌گیری از مدل خودکار ترکیبی و روش بهینه سازی 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 بکار گرفته‌اند (ربانی، ۱۳۹۰: ۳۹).

تئوری تحقیق

مدل اتوماتای سلولی از روش‌های 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 می‌کنند. اتوماتای سلولی یک سیستم پویا و گسسته در مکان و زمان می‌باشد که بر روی شبکه‌ی 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 اتوماتای سلولی به دلیل داشتن ماهیت پویا و هم چنین 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 سلول‌های مجاور هستند که در این تغییرات دخیل می‌باشند (مرادی، ۱۳۹۰: ۴۳).

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

$$S_{xij}^{t+1} = f(S_{xij}^t, S_{\Omega xij}^t) \quad \text{رابطه (۱)}$$

مدل CA دارای پنج عنصر اصلی می‌باشد:

- ❖ **فضای سلولی:** سلول‌های توانمند 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 اتوماتای 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).
- ❖ **مجموعه‌ی حالت‌ها:** هر سلول در هر زمان می‌تواند یک حالت از مجموعه تمام حالت‌های ممکن را داشته باشد. در اتوماتای سلولی شهری حالت سلول‌های توانمند 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 اتوماتای سلولی، حالت هر سلول در گام‌های زمانی متوالی با تکرار قانون اتوماتای 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).

تئوری منطق فازی

تئوری منطق فازی به عنوان ابزاری برای توسعه از تئوری مجموعه‌های دوتایی به مجموعه‌های پیوسته مطرح گردید. کلاسه بندی پدیده‌های با مقادیر پیوسته با فراهم کردن انتقالی تدریجی بین کلاس‌های مختلف، نشان دهنده‌ی درجات متفاوت اثر گذاری می‌باشد. تئوری فازی روشی است که برای بیان درجه عضویت به یک کلاس یا مجموعه خاص ابداع شده است. این طبیعت منحصر بفرد تئوری فازی آن را به ابزاری مناسب برای نمایش فرایندهای مکانی که شامل اجزاء مکانی متعلق به کلاس‌های چندتایی با درجات عضویت مختلفند، تبدیل کرده است. تئوری فازی برای مسائلی که در آنها مشخص کردن یک مرز قاطع و مشخص مشکل است، بسیار مناسب است. این تئوری با بکارگیری دانش بیانی و زبانی، سعی در تقلید از طبیعت پیوسته فرایندهای مکانی پیچیده همانند رشد شهری دارد. به عنوان مثال، تئوری فازی می‌تواند برای تعیین پتانسیل شهری بصورت کم، متوسط و یا زیاد بر اساس ارتفاع منطقه مورد استفاده قرار گیرد و این مسئله ای است که با تئوری‌های قطعی قابل انجام نیست (ملکی، ۱۳۹۰؛ Liu, 2008).

کاربرد مفاهیم فازی در اتوماتای سلولی

بیان جبری قوانین انتقال در جهت مدلسازی واقعی فرآیندهای پیچیده مکانی نیازمند داده‌های بسیار زیاد است. حال اینکه دسترسی به داده‌های دقیق، کافی و عاری از ابهام به دلیل گستردگی و حجم بالای معیارهای موثر در فرآیندهای پیچیده مکانی، کار ساده‌ای نیست.

بنابراین بیان جبری قوانین انتقال اتوماتای سلولی نمیتواند در امر مدل سازی اینگونه فرآیندها مفید باشد.

از این رو نظریه فازی به دلیل پشتیبانی از عدم قطعیت و قابلیت توصیف واژگان طبیعی می تواند در بیان قوانین انتقال اتوماتای سلولی مورد استفاده قرار گیرد. این امر موجب افزایش قابلیت مدلسازی فرآیندهای پیچیده مکانی خواهد شد.

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

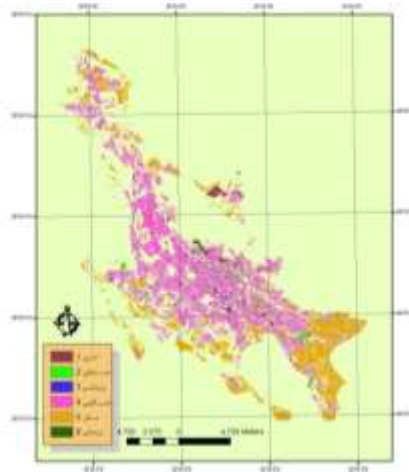
شیراز یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز استان فارس است. برپایه اطلاعات سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵ خورشیدی، این شهر جمعیتی بالغ بر ۱۲۱۴۸۰۸ نفر داشته که این تعداد در سال ۱۳۸۸ خورشیدی به ۱۴۵۵۰۷۳ نفر افزایش پیدا کرده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). علاوه بر افزایش جمعیت، شهر از نظر مساحت فیزیکی نیز توسعه نسبتاً چشمگیری داشته و اسکان غیر رسمی و حاشیه نشینی 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.

داده‌های مورد نیاز برای سال مبنای ۱۳۸۳ و سال هدف ۱۳۸۸:

- ۱- لایه برداری نقاط ارتفاعی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ یا لایه رستری وضعیت ارتفاع با پیکسل سایز ۵۰ متر برای این سال. از این داده‌ها در مرحله تعیین تناسب فیزیکی برای تهیه نقشه شیب و ارتفاع استفاده میشود.
- ۲- لایه بردار راههای اصلی و فرعی در سال مبنای، برای تعیین میزان دسترسی.
- ۳- لایه رستری کاربری‌های شهر با پیکسل سایز ۵۰ متر برای سال مبنای، که حداقل کاربری‌های مسکونی، صنعتی، بهداشتی، تفریحی، اداری و سایر از آن قابل استخراج باشد.
- ۴- نقشه کاربری‌های شهر در سال هدف با پیکسل سایز ۵۰ متر، که از این نقشه فقط برای ارزیابی نتایج مدل استفاده می‌شود و کاربرد مستقیمی در فرآیند مدلسازی ندارد.

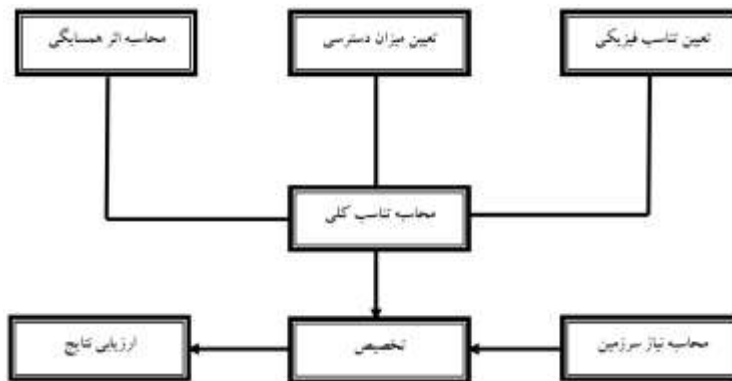
در این پژوهش علاوه بر داده‌های ارتفاعی و نقشه راه‌ها، از لایه‌های شش کاربری مسکونی، صنعتی، اداری، تفریحی، بهداشتی-درمانی و سایر در سال ۱۳۸۳ و نیز تصاویر ماهواره‌ای حاصل از سنجنده‌های TM و ETM+ (شماره گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۴) برای سال ۲۰۰۹ و بر روی ماهواره لندست استفاده شده است که قدرت تفکیک این تصاویر به ترتیب 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.

آماده سازی داده‌ها



شکل شماره (۱) نقشه کاربری‌های شهر شیراز (۱۳۸۳)

مطابق شکل (۲) در ابتدا، با بکارگیری 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.

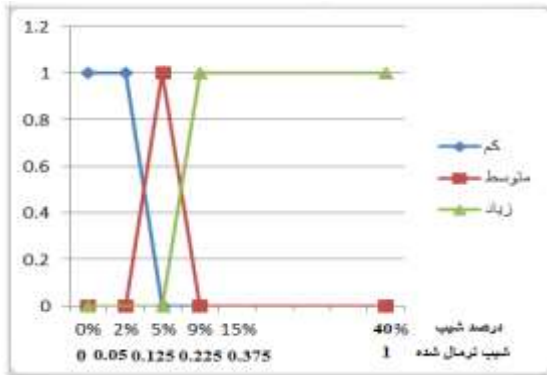


شکل شماره (۲) چارچوب مدل پیشنهادی

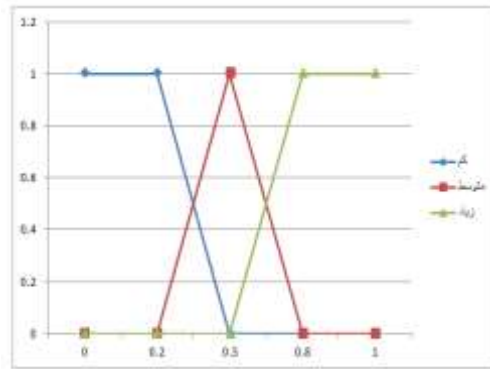
تعیین تناسب فیزیکی

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 همه محدودیت‌ها و فرصت‌های رشد شهری مشخص می‌گردد. در همین راستا در این تحقیق فاکتورهای شیب و ارتفاع به عنوان دو عامل تاثیرگذار در رشد شهری در نظر گرفته شده‌اند. جهت تعیین اثر فاکتورهای فیزیکی زمین یعنی شیب و ارتفاع، ابتدا برای هر کدام از این فاکتورها با استفاده از دانش کارشناسی توابع عضویت تعریف می‌-

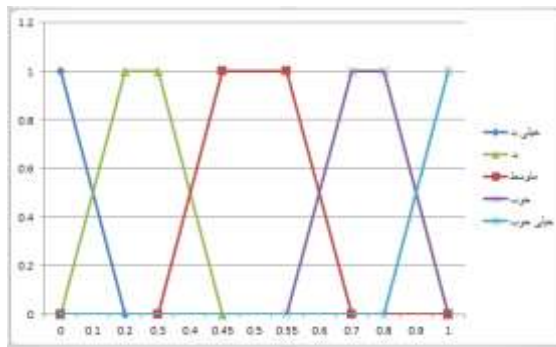
گرد (شکل ۳ و ۴). لازم به ذکر است قبل از تعریف توابع عضویت، باید نقشه‌های شیب و ارتفاع به فاصله صفر تا یک نرمال‌سازی شوند. مثلاً لایه رستری شهر شیراز با توجه به حداقل ارتفاع ۱۴۶۸ متر و حداکثر ۲۱۸۲ متر به فاصله (۰.۹-۰.۱) نرمال‌سازی و لایه شیب نیز با توجه به حداقل شیب ۰٪ و حداکثر ۳۷٪ در این فاصله نرمال میشوند.



شکل شماره (۴) تابع عضویت شیب



شکل شماره (۳) تابع عضویت ارتفاع

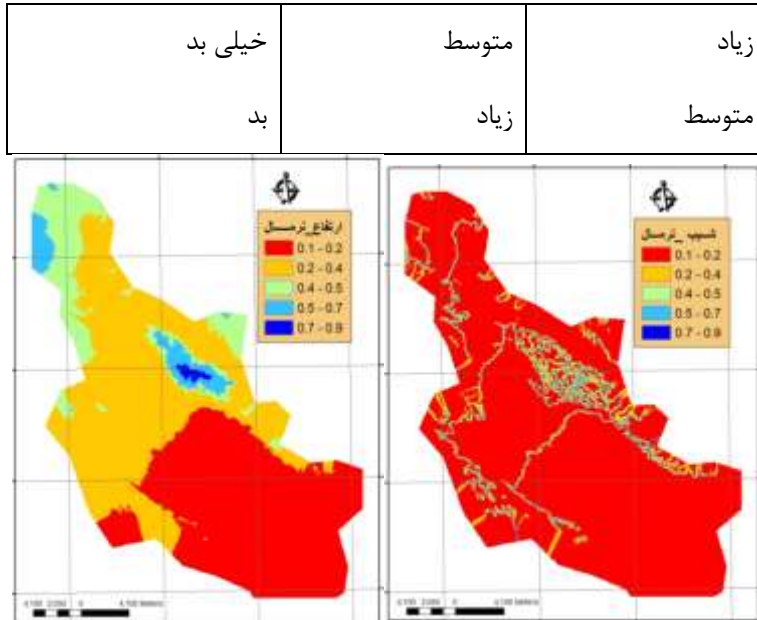


شکل شماره (۵) تابع عضویت خروجی تناسب فیزیکی

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

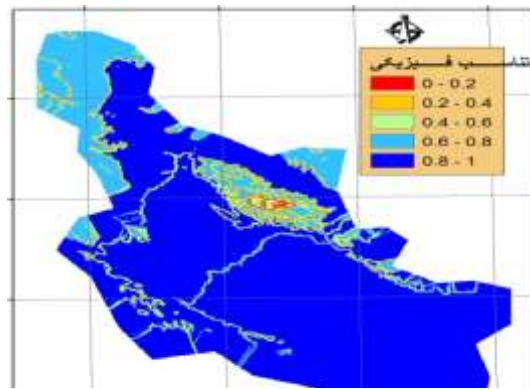
جدول شماره (۱) چند نمونه از قوانین انتقال برای محاسبه تناسب فیزیکی

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



شکل شماره (۷) نقشه شیب

شکل شماره (۶) نقشه

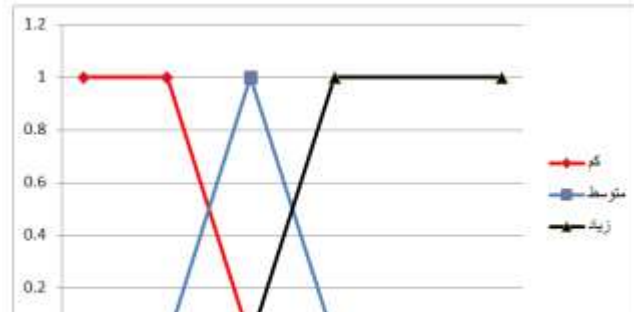


شکل شماره (۸) نقشه تناسب فیزیکی شیراز

(۱۳۸۳)

تعیین میزان دسترسی

شبکه حمل و نقل یکی از مهمترین عوامل در تسریع روند توسعه شهری است. بنابراین دسترسی به شبکه حمل و نقل، شاخص موثری در امر شبیه سازی توسعه شهری می باشد. از جمله فاکتورهای دسترسی، دسترسی به ایستگاههای مترو، پایانه های حمل و نقل و همچنین دسترسی به آزادراهها، بزرگراهها و خیابان های اصلی و فرعی هستند که در این تحقیق با توجه به داده های موجود، دسترسی به راه های اصلی و فرعی به عنوان عوامل تاثیر گذار در رشد شهری در نظر گرفته شدند. مطابق بحث تعیین تناسب فیزیکی، برای محاسبه میزان دسترسی نیز، ابتدا توابع عضویت (شکل ۹) و قوانین انتقال (جدول ۲) تعریف شده و سپس با استفاده از موتور استنتاج فازی به پردازش داده ها و تهیه نقشه دسترسی پرداخته می شود.

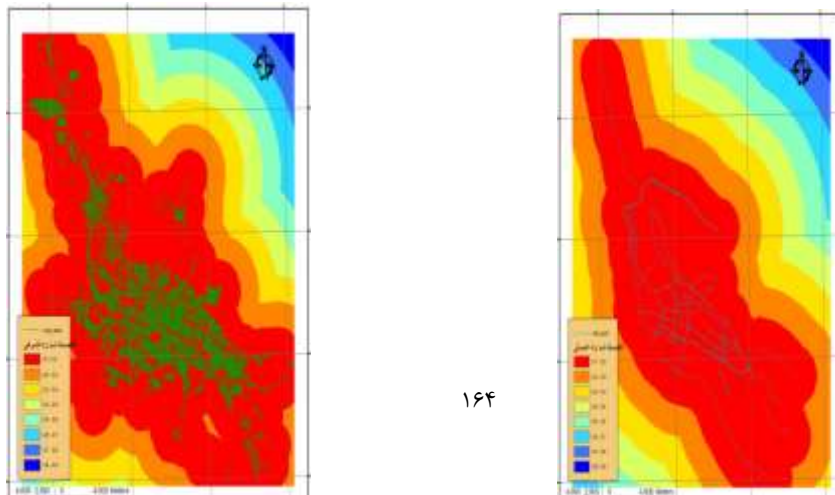


شکل شماره (۹) تابع عضویت فاصله برای راههای اصلی و فرعی

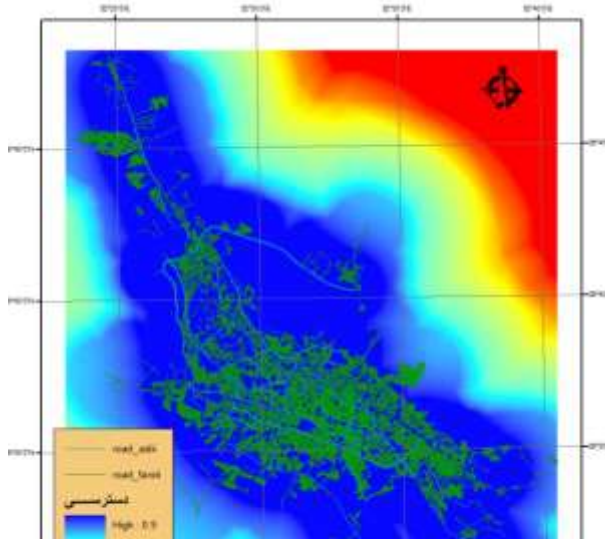
جدول شماره (۲) چند نمونه از قوانین انتقال برای محاسبه میزان دسترسی

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

برای پیاده سازی این لایه ها ابتدا راهها را از نقشه های شهری استخراج کرده و سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS فاصله مستقیم هر پیکسل از راه اصلی و فرعی محاسبه میشود. در مرحله بعد این نقشه ها با توجه به حداکثر و حداقل فاصله نرمال سازی میشوند.



شکل شماره (۱۰) فاصله ی نقاط از راه های اصلی (چپ) و فرعی (راست)



شکل شماره (۱۱) خروجی تعیین میزان دسترسی

محاسبه اثر همسایگی

ساختار و شکل همسایگی به دلیل بیان محدوده موثر بر تغییر وضعیت سلول، یکی از اجزای مهم اتوماتای سلولی است. در این تحقیق به منظور 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).

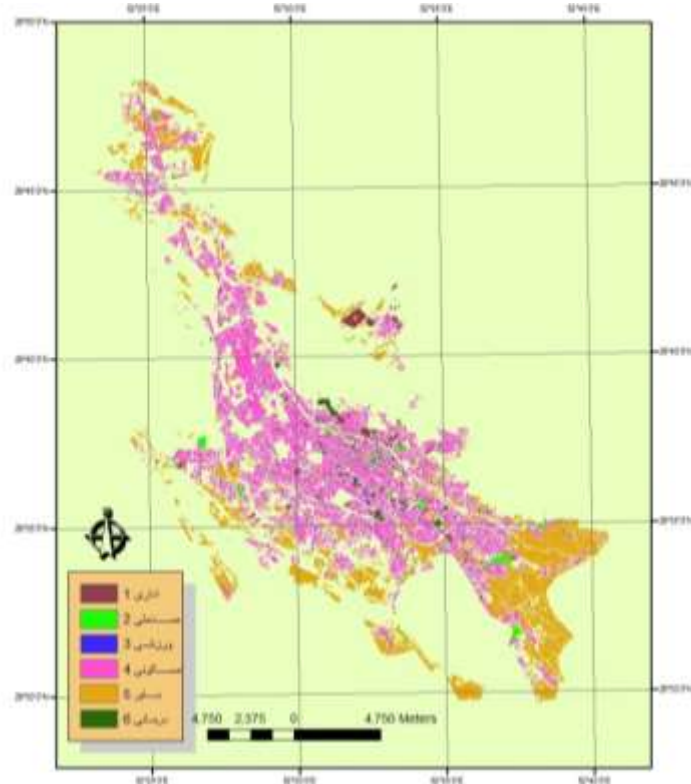
$$F_{kdi} = \frac{\frac{n_{kdi}}{N_k}}{N} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه F فاکتور غنی سازی^۴، 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 اثر همسایگی نهایی محاسبه می‌شود (Karimi M. et al, 2012: 10):

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

در این تحقیق برای محاسبه اثر همسایگی، از شش کاربری صنعتی، مسکونی، اداری، تفریحی، بهداشتی و بایر به عنوان حالت و وضعیت سلول‌ها استفاده می‌شود. ساختار کلی مدل از قانون تابلر تبعیت می‌کند، یعنی سلول‌هایی که به هم نزدیک‌تر هستند ارتباط بیشتری با هم دارند و بیشتر همدیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بنابراین سلول‌هایی که در اطراف خود همه انواع کاربری‌ها را دارند از اثر همسایگی بیشتری برخوردار هستند.

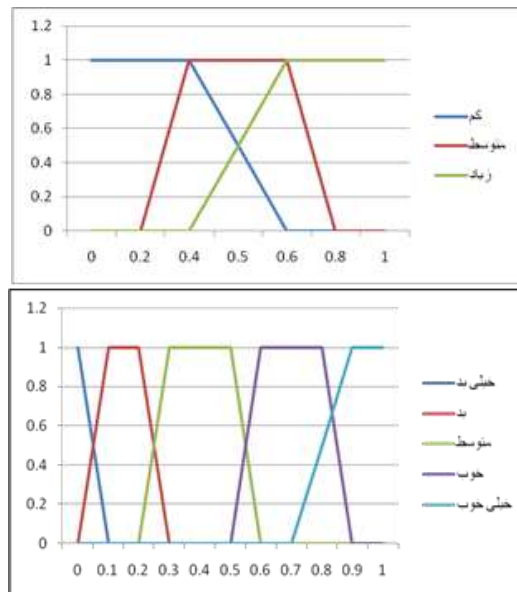
⁴ Enrichment Factor



شکل (۱۲) نقشه کاربریهای شهر شیراز (۱۳۸۳)

محاسبه تناسب کلی

در مراحل قبل برای هر یک از سلول‌ها در منطقه مورد مطالعه، سه عدد به عنوان وضعیت ژئومورفولوژی، میزان دسترسی به شبکه حمل و نقل و اثر همسایگی سلول‌های اطراف محاسبه شد. تلفیق سه عدد ذکر شده و محاسبه یک عدد به عنوان 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 ۱۳)، قوانین انتقال (جدول ۳) و موتور استنتاج تشکیل شده است.



شکل شماره (۱۳) توابع عضویت ورودی (بالا) و خروجی (پایین) برای محاسبه تناسب کلی

جدول شماره (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 به عنوان 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.

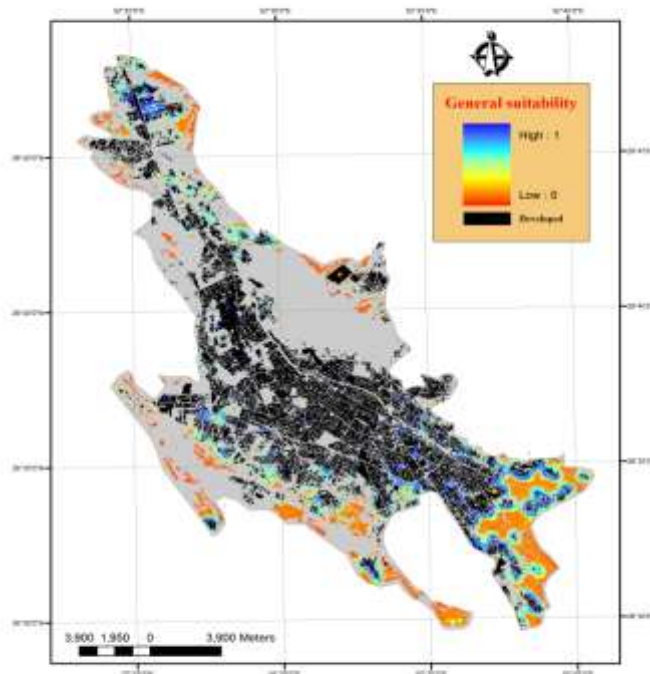
محاسبه نیاز سرزمین

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 در سال ۱۳۸۳ به عنوان زمان مبدأ (حالت اولیه) و از تصاویر ماهواره‌ای محدوده در سال ۱۳۸۸ به

عنوان زمان هدف (حالت توسعه یافته) استفاده شده است و با مقایسه این دو حالت مشخص شد که حدود ۴۰۷ پیکسل از کاربری بایر به ساخته شده تغییر کاربری داده‌اند.

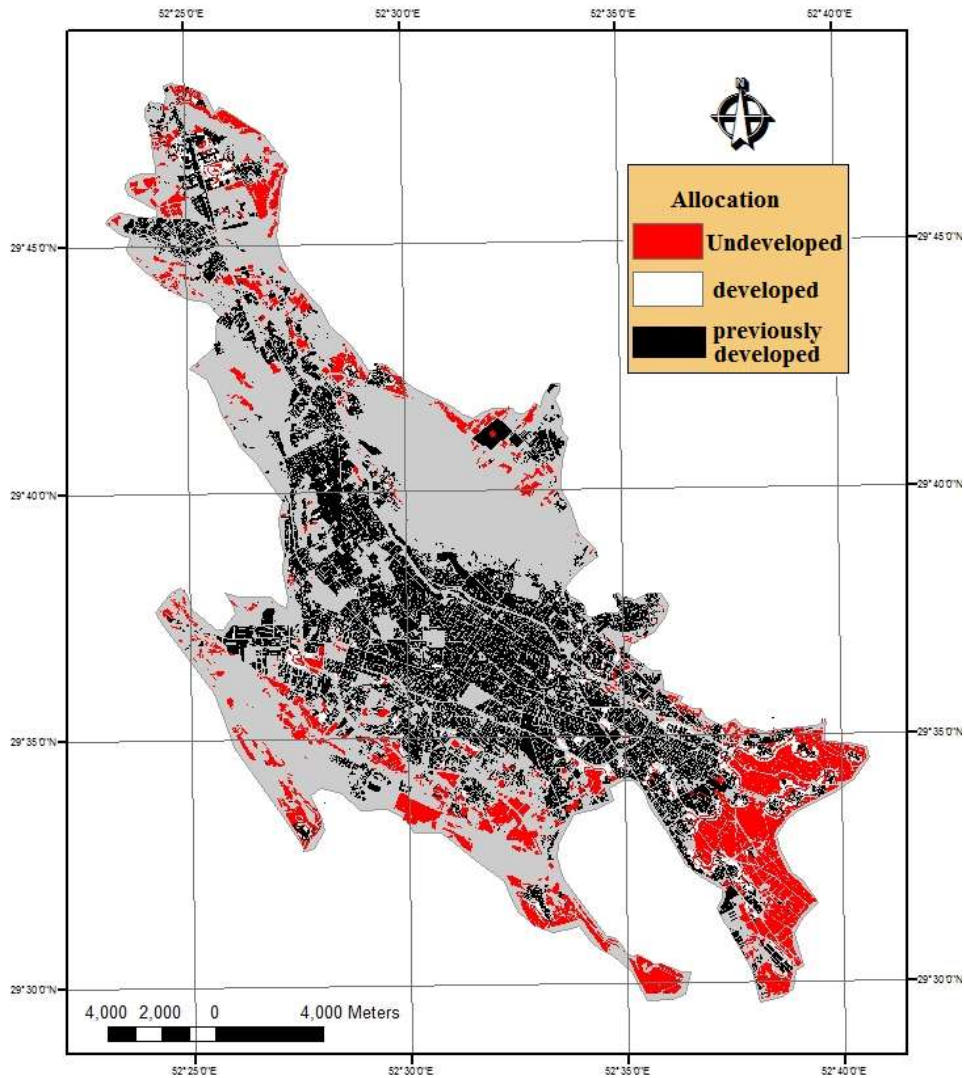
پیاده سازی

مدل پیشنهادی ارائه شده در قسمت قبل برای لایه های کاربری شهر شیراز در سال ۱۳۸۳ اجرا شد. بدین منظور در نرم افزار ArcGIS 10 به هریک از این کاربریهای کد اختصاص داده شده و فرمت رستر به فرمت ASCII که قابل اجرا به صورت ماتریس در نرم افزار MATLAB می باشد تبدیل گردید. فرآیند پردازش داده‌ها و محاسبه اثر همسایگی با در نظر گرفتن شعاع ۸ پیکسل دایره ای در نرم افزار MATLAB صورت پذیرفت و برای هریک از کاربریهای مسکونی، ورزشی، اداری، صنعتی، بهداشتی و بایر یک ماتریس اثر همسایگی بدست آمد. در نهایت با تلفیق روشهای اتوماتای سلولی و توابع فازی ماتریس های بدست آمده ترکیب شده و نقشه اثر همسایگی مطابق شکل ۸ بدست آمد.



شکل شماره (۱۴) نقشه تناسب کلی شهر شیراز در سال ۱۳۸۳

جهت انجام فرآیند تخصیص حد آستانه ۰.۹ برای تناسب کلی در نظر گرفته شده و فرض شد تمام پیکسل‌هایی که در سال مینا دارای کاربری بایر بوده و نیز تناسب کلی بالا ۰.۹ دارند، از سال مینا تا سال هدف از کاربری بایر به کاربری ساخته شده تغییر حالت می‌دهند (شکل ۱۵).



شکل شماره (۱۵) فرآیند تخصیص

ارزیابی نتایج

با بررسی نقشه خروجی مدل مشخص می‌شود که حدود ۳/۶ درصد از پیکسل‌ها دارای تناسب کلی بالای ۰/۹ می‌باشند. پس در صورتی که پتانسیل ۰/۹ به عنوان حد آستانه تخصیص کاربری در نظر گرفته شود، حدود ۷۳۰ پیکسل در فرآیند تخصیص شرکت 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 شده‌اند 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 بدست می‌آید.

جدول شماره (۴) ماتریس مقایسه و شاخص‌های دقت برای خروجی مدل

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

بحث و نتیجه گیری

مساله مدلسازی رشد شهری و پیش بینی نحوه گسترش شهرها در آینده یکی از مسائلی است که اهمیت زیادی برای مدیران و کارشناسان در حوزه برنامه ریزی شهری دارد. تاکنون روشهای مختلفی برای حل این مساله به کار گرفته شده که CA یکی از پرکاربردترین این روش ها می باشد. این مقاله کارایی مدلسازی CA، سیستم‌های فازی و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی 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 تاثیر می‌گذارند و نیز برای یافتن محتمل‌ترین مکان‌ها برای توسعه‌ی شهری آینده شهر شیراز، مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این ارزیابی، دیدگاه‌های قابل توجهی را در مورد شبیه سازی توسعه‌های آتی شهری ارائه می‌دهد.

هدف مدل پیشنهادی این تحقیق، افزایش قابلیت روش اتوماتای 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 پیاده سازی مدل ترکیبی بر روی لایه‌های کاربری سال ۱۳۸۳، شبیه سازی شد. به منظور مدلسازی روند توسعه از میان فاکتورهای موثر، فاکتور تناسب

فیزیکی، میزان دسترسی و اثر همسایگی به عنوان 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 شبیه‌سازی نیز شناسایی شده‌اند. این دقت در مقایسه با دقت ۷۵ درصد حاصل از مدلسازی با روش اتوماتای 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 اتوماتای سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیده مکانی به دقت مطلوب تری نیز دست پیدا کرده است. نتایج حاصل از این مدلسازی می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت اخذ تصمیم‌های بهینه در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

منابع

- ۱- 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.
- ۲- 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.
- ۳- مرادی، مریم (۱۳۹۰)، مدلسازی توسعه‌ی سکونتگاه‌های شهری با استفاده از اتوماتای سلولی فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
- ۴- مرکز آمار ایران، سالنامه‌آماري (۱۳۹۰)، سالنامه‌آماري استان فارس.
- ۵- ملکی، داود (۱۳۸۹)، مدلسازی توسعه شهری با استفاده از روش اتوماتای سلولی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
- 6- 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.
- 7- 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.
- 8- Bandini, S. and Worsch, T. (2001), Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata, Proceedings of the Fourth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, pages 108– 116.
- 9- Dietzel, R. (2004), Spatial differences in multi-resolution urban automata modeling, Transactions in GIS, Vol. 8, pp. 479–92.
- 10- 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.
- 11- Karimia M., Sharifib M.A., Mesgaria M.S. (2012), Modeling land use interaction using linguistic variables, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 16, Pages 42–53.
- 12- 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.

- 13- Liu, Y. and S. R. Phinn (2003), modeling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 27(6), Pages 637-658.
- 14- 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, Pages 270-277.
- 15- Menard, J. (2005), Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata, *Environment and Planning B*, vol. 32, pp. 693-714.
- 16- Openshaw, S. (1998), Neural network, genetic, and fuzzy logic models of spatial interaction, *Environment and Planning A*, Vol. 30(10), Pages 1857-1872.
- 17- Qingsheng Yang, Xia Li, Xun Shi (2008), Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines, *Computers & Geosciences*, vol. 34, Pages 592-602.
- 18- 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.
- 19- Stevens, S. (2007), A GIS-based irregular cellular automata model of land use change, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 34, pp. 708-724.
- 20- 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.
- 21- Verburg PH, de Nijs TCM, van Ritsma Eck J, Visser H, de Jong K. (2004), A method to analyze neighborhood characteristics of land use patterns, *Computers Environment Urban Systems*, vol. 28, Pages 667-690.
- 22- White, R., Engelen, G. (1997), Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling, *Environment and Planning*, Vol. 24(2), Pages 235-246.
- 23- 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, Pages 367-87.
- 24- 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.