مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال سوم، شماره یازدهم، زمستان ۱۳۹۱
دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۶ – پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۷
صص ۱۶-۱

مدلسازی توسعه شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز)

رضـــا زارعـــی: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران*
علی‌اصـغر آل‌شیخ: دانشـیار سـنجش از دور، دانشـگاه صـنعتی خواجـه نصـیرالدین طوسـی، تهـران، ایـران

چکیده

امروزه گسترش فیزیکی روزافزون و بدون برنامه‌ریزی شهرها، باعث کاهش کیفیت زندگی جوامع شهری و غیرشهری شده است. درک فرایند رشد شهری در برنامه ریزی و مدیریت شهری به منظـور رسـیدن بـه شـهری پایدار بسیار مهم است. از طرف دیگر مدلسازی الگوهای فضایی شهری می تواند دیـد مناسـبی در مـورد اینکـه چگونه شهرها تحت شرایط مختلف اجتمـاعی و اقتصـادی و محیطـی توسـعه مـی‌یابنـد، ایجـاد کنـد. تـاکنون تلاش‌های زیادی در زمینه مدلسازی توسعه شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی صورت پذیرفته است اما برای ایجاد یک مدل قابل اطمینان و معتبر هنوز برخی مسائل بصورت حل نشده باقی مانده است. پیچیدگی در فرآیند توسعه شهری، تعداد متغیرهای زیاد و وجود قوانین مختلف باعـث گردیـده تـا کالیبراسـیون مـدل اتوماسـیون سلولی، یکی از مسائل چالش برانگیز در شبیه‌سازی گسترش شهری باشد. در این تحقیق تلاش بر این بـوده کـه با تلفیق اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک مدلی مناسب جهت مدلسازی فرایند رشـد شـهری ایجـاد شـده و کاربردی عملی از آن در پیش بینی فرایند توسعه شهری شـیراز بـین سـال‌هـای ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ نشـان داده شـود. پارامترهای موثر در این فرایند تعداد همسایگی شهری، شیب زمین، فاصله تا راه‌های اصلی و منـاطق غیـر قابـل توسعه می‌باشند که به هر کدام سهمی از ژن‌های کروموزوم اختصاص داده شده و نتایج بهینه از آن‌ها اسـتخراج گشته و در نهایت از دقت کلی و شاخص کاپا برای ارزیابی مدل استفاده شده است. بـدین ترتیـب دقـت کلـی بدست آمده برابر با ۰/۹۱۸۳۷ است که نشان دهنده‌ی این است که ۹۱/۸۳۷ درصد سلول‌ها درست شبیه سـازی شده‌اند و مقدار شاخص کاپای نهایی ۰/٦٨٤٠٦ بوده که نشان دهنده‌ی این است که نتـایج شـبیه‌سـازی ٦٨/٤٠٦ درصد بهتر از زمانی است که شبیه‌سازی بطور تصادفی صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی توسعه‌ی شهری، اتوماسیون سلولی، الگوریتم ژنتیک، شاخص کاپا، شیراز

*نویسنده مسؤول: ۰۹۳۷٦۹۰٦٤۸۷
Email: rezaprincipal@yahoo.com

۱- مقدمه

۱-۱- طرح مسأله

ایجاد شهرها یکی از عظیم‌ترین انقلاب‌ها در فرهنگ انسان‌ها بوده است که موجب دگرگونی در روابط متقابل انسان با محیط گشته است. پدیده شهر نشینی که شامل رشد جمعیت شهرها، افزایش تعداد شهرهای بزرگ و ظهور شهرهای تازه می‌شود، تحولاتی را در ساختار فیزیکی، اقتصادی و فرهنگی اجتماعی آن‌ها به وجود آورده است. از اینرو نیازی جهت بوجود آمدن مدل‌هایی که توانایی مدلسازی تغییرات را داشته باشند وجود دارد. در همین راستا، برنامه‌ریزی شهری که مجموعه گسترده ای از فعالیت‌های نظام مند است و به منظور نیل به اهدافی برای آینده شهر در نظر گرفته می‌شود. در چند دهه اخیر اهمیت و جایگاه ویژه‌ای در جوامع مختلف یافته است و این مدل‌ها می‌توانند کمک شایانی به طراحان و برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان جامعه در راستای رسیدن به توسعه‌ی شهری پایدار و استفاده‌ی معقول از منابع طبیعی و حداقل‌سازی پیامدهای زیست محیطی داشته باشد.

توسعه شهری متاثر از فرایندهای طبیعی، اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی و سیاسی است که در طول تاریخ مراحل گوناگونی را طی کرده است. شهرها در طول زمان رشد می‌یابند و آنچه امروز به مشکلات شهری معروف است روز به روز زیادتر می‌شود. شهرها علاوه بر اینکه مراکز توده‌های جمعیتی هستند، یکی از نشانه‌های پیشرفت جوامع هستند. آبادانی شهرها و توزیع هماهنگ گسترش فیزیکی در آن‌ها نشان‌دهنده‌ی یکنواختی یا هماهنگی طرح‌های توسعه کشورها تلقی می‌شود. بنابراین اگر بتوان این روند را تحلیل و در قالب مدل بیان کرد، نتایج بدست آمده برای برنامه‌ریزی بسیار قابل اطمینان خواهد بود. پس با توجه به پیچیده بودن و پویایی ماهیت شهر، مدلسازی توسعه شهری ابزار کارآیی در درک و حل مشکلات آن است (طیبی،۱۳۸۸).

رشد شهری یک فرایند پیچیده است که شامل جنبه‌های مکانی، زمانی، اقتصادی، اجتماعی و فیزیکی است (Han, 2009). به دلیل همین چند بعدی بودن، مدلسازی این فرایند امری مشکل می‌نماید. مدل‌های شهری شامل توابع و فرایندهایی هستند که ساختار مکانی شهر را در قالب ترم‌هایی همچون کاربری زمین، جمعیت، اشتغال و حمل‌ونقل نشان می‌دهند. این مدل‌ها معمولا بصورت برنامه‌های کامپیوتری نمود پیدا می‌کنند و این امکان را فراهم می‌سازند تا تئوری‌های مکانی توسط داده‌ها آزمایش شده و پیش‌بینی‌هایی از الگوهای مکانی آینده فراهم گردند (Batty, 2009).

شهرنشینی با ایجاد گسترده‌ترین دستکاری‌های بشری در چهره‌ی طبیعی زمین، شرایط زندگی ساکنان شهری را در معرض تهدید و نابودی قرار داده است. امروزه گسترش فیزیکی روزافزون و بدون برنامه ریزی شهرها، رشد بی رویه جمعیت، توسعه‌ی اقتصادی و نیز مهاجرت روستانشینان به شهرها، باعث پیدایش و تداوم مخاطرات عظیم زیست محیطی و اجتماعی و کاهش کیفیت زندگی جوامع شهری و غیرشهری شده است. مراکز جمعیتی کوچک ومنفرد در گذشته، به مراکزی بزرگ، پیچیده و متصل به هم تبدیل شده‌اند (ملکی، ۱۳۸۹). ۱۰۰ سال پیش تقریبا ۱۵ درصد جمعیت جهان در مناطق

شهری زندگی می کردند و امروزه این آمار نزدیک به ۵۰ درصد شده است. طی ۲۰۰ سال اخیر با وجودی که جمعیت جهان ٦ برابر شده است اما جمعیت شهرنشین آن نزدیک به ۱۰۰ برابر گشته است (Acevedo, 1996) و این در حالی است که طی یک دوره ۸۰ ساله، شهرنشینی در کشور ما بیش از ۲ برابر شده است.

۱-۲- اهمیت و ضرورت

رشد شهری یک پدیده جهانی و یکی از مهمترین پدیده‌هایی است که بدلیل داشتن جنبه‌های زیاد اکولوژیکی و همچنین اجتماعی اقتصادی، هم بر طبیعت و هم بر محیط زندگی انسان، تاثیرات زیادی داشته است. افزایش امکاناتی که در اختیار مردم قرار می‌گیرد، توام با به حداقل رساندن هزینه‌های زیست محیطی و اقتصادی، تنها در سایه یک رشد شهری برنامه‌ریزی شده تحقق خواهد یافت (Lefteris, 2010).

شهرها سیستم‌های پیچیده، باز، پویا و خودسامانده هستند که در فرایند توسعه آنها بسیاری از نشانه‌های پیچیدگی مانند ابعاد فرکتال[1]، خودمانندی[2]، خودسازماندهی و غیره وجود دارد (Thorrens, 2001). درک فرایند رشد شهری در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است. از اینرو از مدل‌های فضایی که ابزارهایی مفید برای درک فرایند توسعه شهری و ابزاری کمکی برای سیاستگذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم کننده اطلاعات برای ارزیابی تاثیرات شهری بر محیط زیست هستند می‌توان برای مدلسازی فرایند توسعه شهری استفاده کرد (He, 2008). مدلسازی الگوهای فضایی شهری می‌تواند دید مناسبی را در مورد اینکه چگونه شهرها تحت شرایط مختلف اجتماعی و اقتصادی و محیطی توسعه می‌یابند ایجاد کند.

۱-۳- اهداف

هدف از انجام این تحقیق، ارائه مدلی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پدیده توسعه شهر شیراز با کمک روش اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک است.

۱-٤- پیشینه پژوهش

مدلسازی شهری عبارت است از فرآیند شناسایی تئوری مناسب و تبدیل آن به یک مدل ریاضی که در برنامه‌های کامپیوتری مربوطه توسعه می‌یابند و تا قبل از اینکه مدل برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار گیرد کالیبره شده، مورد اعتبار سنجی قرار گیرد و در نهایت بازبینی شود (Batty, 2009). مدل‌های توسعه شهری را می‌توان به سه کلاس اصلی تقسیم کرد که بعضی بیشتر روی جنبه‌های مفهومی تمرکز داشته‌اند و برخی دیگر علاوه بر جنبه‌های تئوری کاربردهای عملی را نیز مورد توجه قرار داده‌اند. دسته اول مدل‌های Land-Use Transportation (LUT) که بر روی تجمیع اثر متقابل مدل‌های استاتیک اقتصادی و مکانی شکل گرفته‌اند (Batty, 2009). UrbanSim را شاید بتوان شکل توسعه‌یافته این نوع مدل‌ها در نظر گرفت، اگرچه مدل‌هایی مانند MEPLAN، TRANUS و IRPUD نیز از مثال‌های دیگر این نوع مدل هستند. دسته دوم مدل‌های Urban Dynamics Model هستند که کمتر در کاربردهای عملی مورد توجه قرار گرفته‌اند. دسته سوم عبارتند از مدل‌های

1- fractal
2 -Self similarity

اتوماتای سلولی Cellular Automat (CA) و مدلهای عامل مبنا Agent-Based Models(ABM) و مدل‌های Microsimulation. این دسته از مدل‌ها، در حال حاضر بیشترین توجه را معطوف به خود ساخته‌اند. این مدل‌ها برای نمایش فعالیت‌ها و رفتارهای عامل‌های منحصربفرد در فضا به کار می‌روند. در حقیقت بیشترین مدل‌های پیاده‌سازی شده بر اساس CA هستند که در آن عامل‌ها، سلول‌ها هستند که بر اساس تغییرات کاربری تغییر حالت می‌دهند (Batty, 2009).

مدل‌های معمول LUT، بدلیل اینکه تا درجه زیادی غیرپویا هستند، عملی بودن آنها محدود شده است. با ظهور مدل‌های پویای CA و مدل‌های ABM، سعی در رفع این نقیصه شده است. دلیل فراگیر شدن مدل‌های CA برای شبیه‌سازی رشد شهری، سادگی، انعطاف‌پذیری و برخورداری از قابلیت درک شهودی و شفافیت و مخصوصا برخورداری از توانایی مواجه شدن با ابعاد مکانی و زمانی فرآیند توسعه شهری است. همچنین CA می‌تواند به راحتی با سیستم‌های GIS تلفیق گردد (Inés, 2010).در مدلسازی رشد شهری، متغیرهایی که در سطح کلان اجتماعی اقتصادی وجود دارند همانند نابرابری‌های اقتصادی در سطح منطقه‌ای، مهاجرت جمعیت و همچنین تاثیرات سیاست‌گذاری‌ها نادیده گرفته می‌شوند. در عوض، بسیاری از مدل‌های CA، فقط به برون‌یابی روند تاریخی رشد شهری می‌پردازند (Han, 2009).

در دهه اخیر مدل‌های CA، به صورت گسترده ای جهت شبیه سازی وقایع مکانی گوناگون نظیر تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی (Ménard, 2007)، (Wu, 2002)، (Almeida, 2003)، توسعه شهری (Batty, 1999)، (Almeida, 2008)، (Dietzel, 2006)، (White, 2000)، انتشار آتش (Berjak, 2002)،(Favier, 2004)، (Yassemi, 2008)، جریان ترافیک (Sun, 2007)، (Wahle, 2001) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

حجم زیاد و روبه افزایش تحقیقات نشان می‌دهد که CA یک ابزار مناسب برای مدلسازی دینامیک مکانی است(Batty , 1994)،(Couclelis, 1985) و به دلیل طبیعت مکانی CA، بسیار مورد توجه برنامه‌ریزان شهری بوده‌است.Frakhouser در سال ۱۹۹۱ نشان داد که مدل CA رشد تومور همچنین می‌تواند برای نمایش رشد یک فضای شهری نیز استفاده شود. بعد از آن مدلسازی توسعه‌ی شهری و تغییر کاربری با استفاده از مدل اتوماتای سلولی توسط Engelen و White در سال ۱۹۹۳ نیز ارائه شد و برای ٤ شهر آمریکا یک مدل CA تغییر کاربری را تست کردند (White, 1993). مدل SLEUTH[1] یکی از مدل‌های سلولی است که از اطلاعات شیب، کاربری زمین، مناطق غیر قابل گسترش، حدود شهری، شبکه حمل‌ونقل و اطلاعات توپوگرافی برای مدلسازی رشد شهری استفاده می‌کند و در ابتدا برای پیش‌بینی در شهرهای آمریکای شمالی همانند سانفرانسیکو و واشنگتن به کار برده شده است (Silva, 2002). همچنین در (جوادی،۱۳۸۷) از تلفیق شبکه‌های عصبی و آتوماتای سلولی جهت مدلسازی توسعه شهری اصفهان در محیط سلولی استفاده گردیده است. این مدلسازی با استفاده از ۳ پارامتر

1 - (slope, landuse, exclusion, urban extent, transportation and hillshade)

فاصله از شبکه راهها، شیب و تراکم همسایگی شهری صورت پذیرفته و در نهایت نتایج مدلسازی با استفاده از شاخص کاپا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در تحقیق دیگری نیز از آتوماتای سلولی در محیط برداری برای مدلسازی توسعه شهری اصفهان بهره گرفته شده است. در این تحقیق از مدل برداری CA به عنوان جایگزینی به منظور حل محدودیت‌ها و مشکلات موجود در مدل رستری CA ارائه گردیده که از طریق آن می‌توان به شبیه‌سازی تغییرات پدیده‌های مکانی پرداخت.

۱-۵- سوال‌ها و فرضیه‌ها

فرایند مدلسازی در این تحقیق براساس تعدادی فرضیات صورت گرفته که عبارتند از:

- فرایند توسعه‌ی شهری تابع عواملی همچون شیب زمین، فاصله از راه، همسایگی با مناطق توسعه یافته‌ی شهری می باشد.
- برخی مناطق مانند فضای سبز، باغ‌ها، مناطق نظامی و باغ وحش قابلیت توسعه ندارند.

۱-٦- روش تحقیق و مراحل آن

۱-٦-۱- داده‌های مورد استفاده

تصاویر مورد نیاز در این تحقیق تصویر TM[1] در سال ۱۹۹۰ و ETM+[2] در سال ۲۰۰۰ است که از طریق سایت www.usgs.gov تهیه شده‌اند.

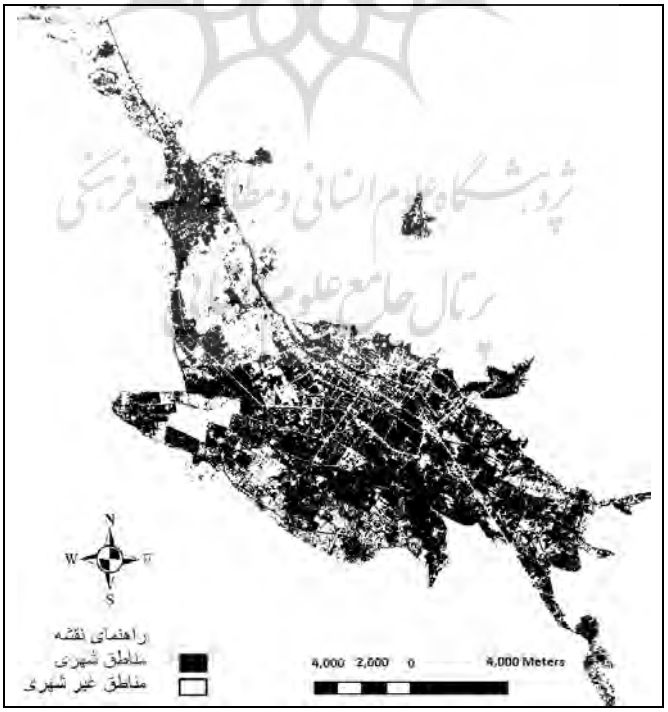
۱-٦-۲ روش تحقیق

در این تحقیق با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی و کالیبراسیون آن توسط الگوریتم ژنتیک (ملکی، ۱۳۸۹)، پیش بینی فرایند توسعه شهری شیراز و آشکارسازی تغییرات بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ انجام شد. همانطور که فلوچارت تحقیق را در شکل ۱ می‌بینید، ابتدا با استفاده از نرم افزار PCI Geomatica لایه مناطق شهری و غیر شهری طی عملیات طبقه‌بندی[3] آماده گردیده و به فرمت‌های مناسب برای ورود به مدل توسعه ی شهری تبدیل می‌شوند، و شبکه راه‌ها از عکس ماهواره ای منطقه، و نقشه‌ی شیب منطقه و فاصله از راه‌های اصلی نیز با استفاده از نرم افزار ARCGIS تهیه شده‌اند. سپس مدل CA با استفاده از MATLAB پیاده سازی می‌گردد. در نهایت نیز جهت ارزیابی مدل از شاخص دقت کلی و شاخص کاپا استفاده شده است. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک جهت کالیبراسیون مدل CA و تعیین میزان تاثیر عوامل مختلف در فرایند مدلسازی استفاده گردیده است. با استفاده از الگوریتم ژنتیک و به منظور کالیبراسیون مدل CA، کروموزوم‌هایی به طول ۱۲ ژن خواهیم داشت که به صورت باینری کدبندی شده و سهم هر پارامتر موثر در توسعه به صورت زیر بوده است:

دو ژن اول برای پارامتر همسایگی، سه ژن دوم برای پارامتر شیب زمین، سه ژن سوم برای پارامتر فاصله از راه اصلی و چهار ژن آخر برای پارامتر تعداد تکرار الگوریتم می‌باشند. در این فرایند تابع هدفی که می‌بایست بهینه شود دقت کلی است و شرط خاتمه الگوریتم، تعداد تکرارتعیین شده است. با توجه به وسعت زیاد منطقه ابتدا بهترین پارامترها برای قسمت کوچکی از منطقه بدست آمده، سپس پارامترهای بهینه بروی کل منطقه اعمال می گردد. در شکل ۲ بافت شهری شیراز در سال ۱۹۹۰ در شکل ۳ بافت شهری شیراز در سال ۲۰۰۰ مشاهده می‌شود.

1 -Thematic Mapper
2 -Enhanced Thematic Mapper Plus
3 - Classification

شکل ۱- فلوچارت تحقیق



شکل ۲- بافت شهری شیراز در سال ۱۹۹۰

۱-۷- معرفی متغیرها و شاخص‌ها

۱-۷-۱- دقت کلی

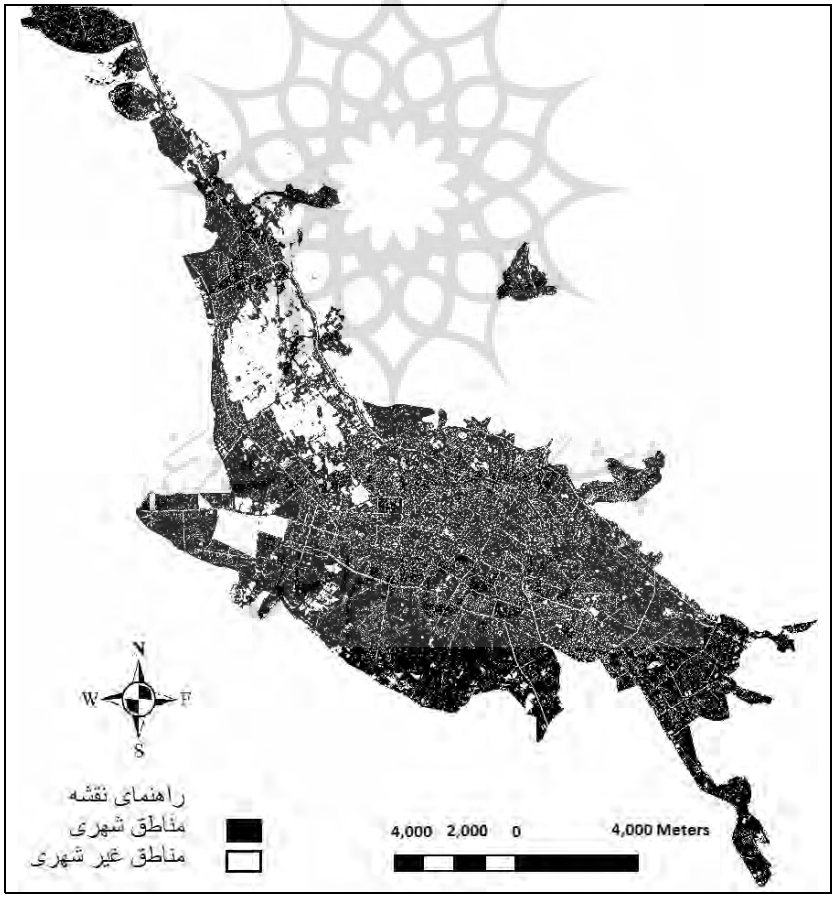
دقت کلی میانگینی از دقت طبقه بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه بندی شده به جمع کل پیکسلهای معلوم را نشان می دهد و از رابطه زیر بدست می‌آید.

رابطه ۱

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^{C} E_{ii}}{N}$$

که در آن، c تعداد کلاسها، N تعداد کل پیکسلهای معلوم، E_{ii}اعضا قطری ماتریس خطا و دقت کلی طبقه بندی است.

دقت کلی همانطور که از نامش برمی‌آید یک برآورد کلی از دقت طبقه‌بندی و یا به اصطلاح دقیقتر میانگینی از دقت طبقه بندی است. این پارامتر با همه کلاسها بطور یکسان برخورد می‌کند و بنابراین تفاوتهایی که میان کلاس‌ها وجود دارد را در نظر نمی‌گیرد. علاوه بر این دقت کلی بر اساس عناصر قطری ماتریس خطا محاسبه می‌شود و بنابراین از اطلاعات مفید غیر قطری آن بر خلاف پارامترهایی نظیر کاپا استفاده نمی‌کند.



شکل ۳- بافت شهری شیراز در سال ۲۰۰۰

۱-۷-۲- شاخص کاپا

یکی از پارامترهای دقت که از ماتریس خطا استخراج می‌شود ضریب کاپا است. ضریب کاپا دقت طبقه بندی را نسبت به یک طبقه بندی کاملاً تصادفی محاسبه می کند. به این معنی که مقدار کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود را به دست می‌دهد. این کار را می توان به این صورت معنی کرد که پس از حذف تاثیر شانس در طبقه بندی مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد. رابطه‌ی ۲ یکی از معروف‌ترین برآوردهای کاپا با استفاده از عناصر ماتریس خطا است.

رابطه ۲

$$\hat{K} = \frac{n\sum_{i=1}^{k} n_{ii} - \sum_{i=1}^{k} n_{i+}n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^{k} n_{i+}n_{+i}}$$

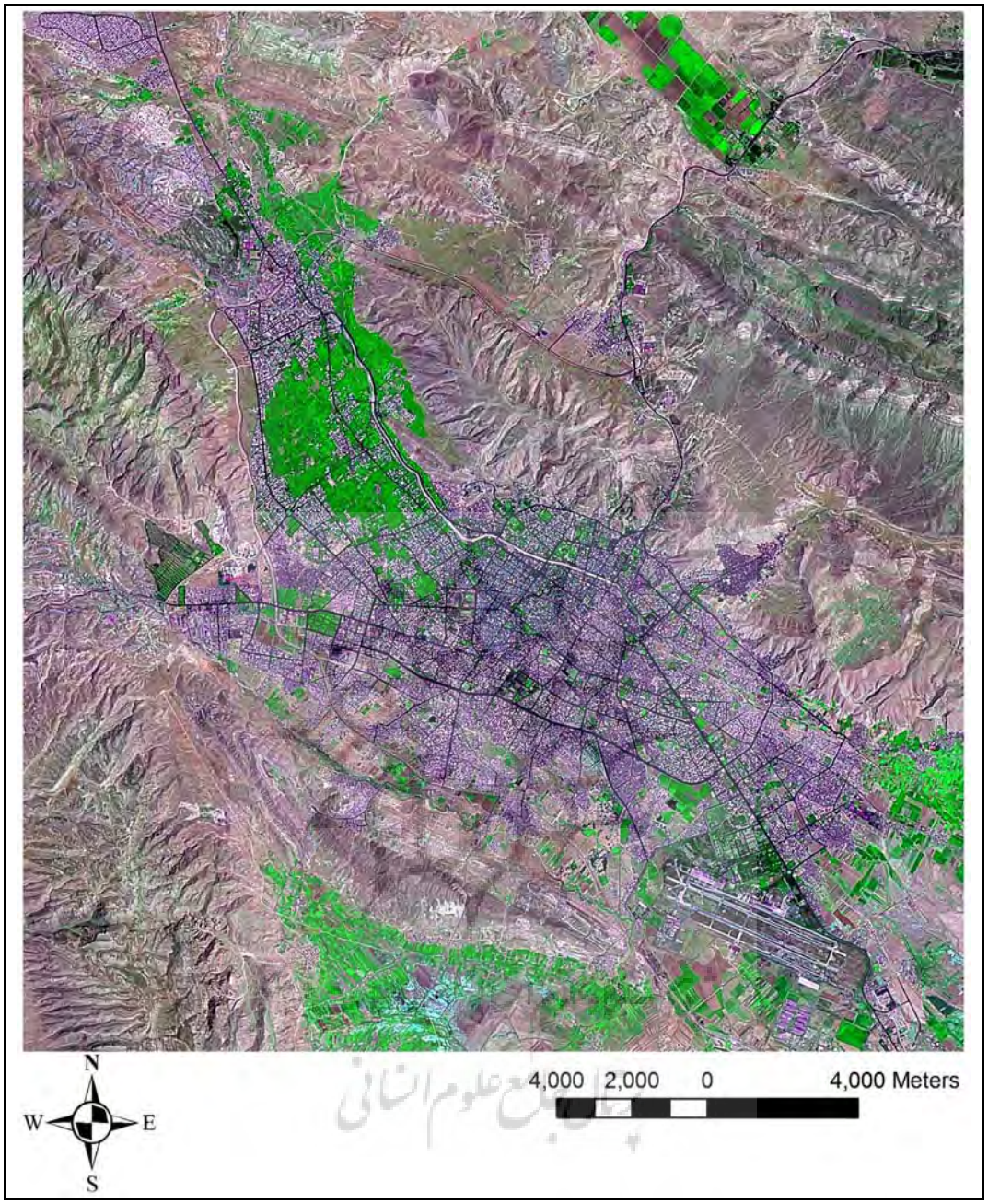
که در آن n تعداد کل پیکسلهای واقعی زمینی، n_{i+} مجموع عناصر سطرiام و n_{+i} مجموع عناصرستون iام می‌باشند.

مقدار صفر برای کاپا به این معنی است که طبقه بندی بدون هیچ ضابطه‌ای و کاملاً تصادفی انجام شده است. مقادیر بالای صفر تا یک سطحی از دقت را نشان می دهند. مقدار ۱ به معنی یک طبقه بندی کاملاً صحیح براساس نمونه‌های گرفته شده است. مقادیر منفی کاپا به معنی ضعف طبقه بندی و نتایج بسیار بد تفسیر می شود .ضریب کاپا این مزیت را نسبت به دقت کلی دارد که از مقادیر حاشیه ای (غیر قطری) ماتریس خطا نیز برای محاسبه دقت استفاده کرده و بنابراین به شاخص واقعیتری میرسد. معمولاً اینگونه عنوان می‌شود که دقت کلی یک برآورد خوشبینانه بوده و همیشه دقت بالاتر از مقدار واقعی را محاسبه می کند و ضریب کاپا برآورد بدبینانه بوده و دقت را کمتر از مقدار واقعی بیان می کند.

۱-۸- محدوده پژوهش

شیراز یکی از پنج شهر بزرگ ایران و مرکز استان فارس است که در جنوب غربی ایران و در مختصات ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و۳۲ دقیقه شرقی واقع شده است. بر پایه‌ی آخرین سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵ خورشیدی این شهر جمعیتی بالغ بر۱،۲۱٤،۸۰۸ نفر داشته که این تعداد در سال ۱۳۸۸ خورشیدی به ۱،٤٥٥،۰۷۳ افزایش پیدا کرده است.

از نظر مورفولوژیکی این شهر از سمت شمال به ارتفاعات بابا کوهی، سعدی و احمدی، از سمت جنوب به ارتفاعات سبزپوشان، از سمت غرب به ارتفاعات دراک و از سمت شرق به دریاچه مهارلو محدود شده است. بررسی تاریخچه معاصر گسترش شهر شیراز نشان می‌دهد که این شهر به علت افزایش نرخ زاد و ولد در سالهای ابتدایی پس از انقلاب اسلامی و نیز کوچ مهاجرین جنگ تحمیلی به ان افزایش جمعیت چشمگیری را طی دهه ٦۰ شمسی تجربه کرده است. افزایش نرخ مهاجرت از شهرها و روستاهای اطراف که هم اکنون نیز ادامه دارد، باعث افزایش هرچه بیشتر جمعیت در سالهای اخیر بوده است (ثابت سروستانی، ۱۳۸۸). در شکل شماره ٤ تصویر +ETM شهر شیراز در سال ۲۰۰۰ آمده است.



شکل ٤- تصویر+ETM شهر شیراز سال ۲۰۰۰

۲- مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

۲-۱- مدل اتوماسیون سلولی

مدل CA اولین بار در دهه‌ی ۱۹٤۰ توسط دو ریاضی دان بنام اولام و نیومن و به منظور شبیه سازی سیستم‌های پیچیده در فیزیک و زیست شناسی بکارگرفته شد. از آن پس اتوماسیون سلولی در سایر حوزه‌های مطالعاتی نظیر مدلسازی شهری که توسط توبلر با تعریفی که از جغرافیای سلولی ارائه داد مورد

استفاده قرار گرفت و در سال‌های اخیر از آن در موضوعات گوناگونی از پدیده‌های شهری مانند ترافیک، تغییرات کاربری زمین، تغییرات پوشش زمین و ... استفاده کرده‌اند (رضازاده، ۱۳۸۹). نیم قرن تجربه و توسعه در این زمینه به همراه پیشرفت‌ها و تغییرات زیادی در تئوری و متدولوژی و تکامل تکنولوژی‌های کامپیوتری منجر به موفقیت‌هایی شده‌اند اما برای ایجاد یک مدل قابل اطمینان و معتبرهنوز برخی مسائل بصورت حل نشده باقی مانده است.

CA یک فضای سلولی است که در ان هر سلول حالت خود را بر اساس حالت قبلی خود و سلول‌های همسایه مطابق با قوانین خاص تغییر می دهد. در واقع قوانین انتقال نه تنها بروی حالت قبلی سلول بلکه بروی حالت سلول‌های همسایه نیز اعمال می‌شود (Eastman, 2001). CA سیستم‌های دینامیکی گسسته ای هستند که رفتار انها کاملا براساس رفتار محلی استوار است و شامل ۵ المان میباشد: فضای سلولی، حالات، همسایگی، زمان و قوانین انتقال.

۲-۱-۱ فضای سلولی

فضای سلولی شبکه ای یک یا چند بعدی از سلول‌ها می باشد. در CA اولیه (کلاسیک) سلولها به صورت اشکال منظم، اغلب به شکل مربع یا دیگر اشکال منظم (از شش ضلعی و مثلث نیز برخی موارد استفاده شده است) تعریف می شوند. در مدلسازی شهری معمولاً به علت طبیعت داده‌های ورودی و سهولت محاسبه و برنامه‌نویسی، سلول‌های همگن مورد استفاده قرار می گیرند؛ اما تحت شرایطی خاص استفاده از سلولهای غیرهمگن به علت واقعیتر بودن شکل آنها (مانند قطعات زمین) ممکن است مناسبتر باشد (O'Sullivan, 2001).

۲-۱-۲- حالت سلول

وضعیت سلول، حالتی است که هر سلول در فرایند تکامل CA می‌تواند داشته باشد. سلول در مدل اولیه CAاغلب دارای وضعیت بولین(۱و۰) بود، (مانند مدل ماشین تورینگ؛) اما می‌توان 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 ساده تر خواهد بود. در مدلهای شهری با توجه به هدف مدلسازی و وضعیت سلولهای معمولاً طبقه بندی‌های کاربری زمین، ارزش زمین، پوشش زمین و غیره مورد استفاده قرار می گیرند. در برخی موارد نیز وضعیت سلولها به صورت دودویی (باینری)، توسعه یافته یا توسعه نیافته (شهری یا غیرشهری) تعریف می‌شوند (White, 2000).

۲-۱-۳- همسایگی

براساس تئوری CA رفتار کلان سیستم خودسازمانده، 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. بر اثر روابط متقابل بین سلول مورد آزمایش و همسایه آن و تحت تأثیر قوانین انتقال، سلول به وضعیتهای

مختلف تغییر پیدا می‌کند. اندازه همسایگی برای مدلهای مختلفCA فرق دارد.

۲-۱-٤- زمان

زمان در CA ناپیوسته است. مدت مراحل زمانی در CAهای مختلف متفاوت است. شکافهای زمانی بیشتر، ناپیوستگی بیشتر 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 خواهد کرد. زمان در مدل CA شهری نیز ناپیوسته است، ازT به T+1 سلولها به طورهمزمان تکامل می یابند: قوانین انتقال به صورت یکسان درهمه سلولها به کار می‌روند و سلولها به طور هم زمان به روز می‌شوند.

۲-۱-۵- قوانین انتقال

قوانین انتقال به عنوان موتور اصلی تغییرات در مدلCA رفتار سلولها را طی فرایند تکامل، در مراحل زمانی مختلف، مشخص و وضعیت آینده سلول را تعریف می‌کنند. این قوانین، طرز عمل سیستم واقعی را منعکس می‌کنند. همچنین سیستمها را به عناصر ساده‌ای تجزیه می‌کنند که پویایی سیستم در اثر همین عناصر است (Batty, 1997). شیوه‌های مختلفی در تعیین قوانین انتقال مدلهای CAشهری وجود دارد که باعث تمایز انواع مدلهایCA شهری شده است (White, 2000).

۲-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیکی توسط جان هلند و دانشجویانش در سال ۱۹۷۵ براساس تئوری تکاملی داروین طراحی شدند (Holland, 1975). این الگوریتم‌ها، یک روال تکراری هستند که از رشته‌های به طول ثابت به نام جمعیت افراد تشکیل شده‌اند، هر فرد با یک رشته ی محدود از سمبل‌ها به نام کروموزوم‌ها و کد کننده ی یک راه حل ممکن در فضای مساله داده شده، نمایش داده می شود. الگوریتم ژنتیکی استاندارد به این صورت توسعه می یابد: یک جمعیت اولیه از افراد به صورت تصادفی تولید می‌شوند، هر مرحله ی تکاملی، نسل نام دارد، افراد در جمعیت فعلی رمز گشایی می شوند و با توجه به ملاک کیفیتی که از قبل به صورت تابع برازندگی تعریف شده ارزیابی می شوند. برای تشکیل یک جمعیت جدید، افراد با توجه به شایستگی شان انتخاب می شوند. افراد با شایستگی بالا دارای شانس بیشتری برای تولید می‌باشند.

۲-۳- کالیبراسیون مدل CA

کالیبراسیون مدلCA به منظور یافتن بهترین مقادیر برای قوانین انتقال است. مدل CA شهری به قوانین انتقال و مقدار پارامترها حساس است و از این حیث است که کالیبراسیون یک مرحله حیاتی در معتبرسازی مدل طراحی شده می باشد.

در مدل‌های CA تلفیق شده با روش‌های جبری، پیکربندی پارامترهای مورد استفاده در قوانین انتقال لازم و ضروری بوده که تعیین مقادیر صحیح و کالیبره شده همواره به سادگی صورت نخواهد پذیرفت. بنابراین استفاده از روش‌های غیر جبری نظیر شبکه عصبی مصنوعی به منظور تولید و کالیبره نمودن مقادیر پارامترها به صورت اتوماتیک، مناسب به نظر می‌آید (Li, 2003).

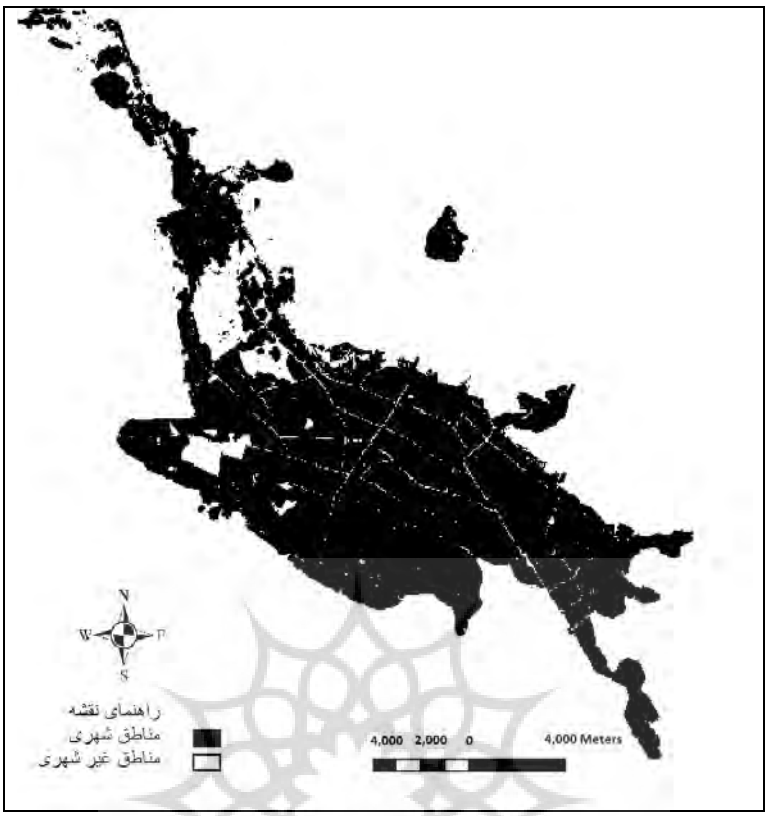
۳- تحلیل یافته‌ها

پس از اعمال الگوریتم ژنتیک بروی بخشی از منطقه، پارامترهای بهینه‌ی بدست آمده بدین صورت هستند: تعداد سلول‌های همسایگی بهینه‌ی بدست آمده ۸ سلول است که همسایگی Moor با شعاع یک است، شیب مناسب برای توسعه در این مدلسازی شیب کمتر ۹ درصد است و پیکسل‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها از شبکه‌ی راه‌های اصلی کمتر ۲۱۰۰ متر باشد می‌توانند در آینده به حالت شهری تغییر وضیت دهند. شایان ذکر است که تعداد بهینه‌ی تکرار الگوریتم ژنتیک دراین مرحله ۸ بار بدست آمده است. یکی دیگر از شرایط تغییر وضعیت پیکسل‌ها به حالت شهری، همسایگی با حداقل ۳ پیکسل با بافت شهری است.

پس از اعمال پارامترهای بهینه در مدلسازی و پیش‌بینی، برای ارزیابی این پیش‌بینی تصویر پیش‌بینی شده(شکل ۵) را با تصویر کلاس‌بندی شده‌ی سال ۲۰۰۰ (شکل ۳) مقایسه کرده و دقت کلی بدست امده ۰/۹۱۸۳۷ است که قابل قبول است و نشان دهنده ی این است که ۹۱/۸۳۷ درصد سلول‌ها درست شبیه سازی شده‌اند. و مقدار شاخص کاپای نهایی ۰/٦٨٤٠٦ بوده که برآوردی بدبینانه بوده و کمتر از مقدار واقعی است و نشان دهنده این است که نتایج شبیه سازی ٦٨/٤٠٦ در صد بهتر از زمانی است که شبیه سازی بطور تصادفی صورت پذیرد. یکی از علت‌های کم بودن مقدار شاخص کاپا بازه زمانی طولانی استفاده شده در این مدلسازی است. در مقایسه با مدلسازی مشابه که بروی شهر همدان صورت گرفته (ملکی، ۱۳۸۹) می‌توان به این نتیجه رسید توسعه‌ی فیزیکی شهر شیراز در مقایسه با شهر همدان به صورت نامنظم تراتفاق افتاده است.در واقع شهر همدان به دلیل بافت حلقوی خود به صورت منظم‌تر توسعه پیدا کرده است. البته شایان ذکر است که عوامل طبیعی و محیطی زیادی از قبیل تمایلات مردم، طرح‌های شهرک‌سازی، قیمت زمین، آب‌های سطحی و غیره می‌تواند در این مساله دخیل باشد. با توجه به تصاویر، گسترش فیزیکی نامنظم شیراز کاملا مشهوداست و با نظر به این مسئله مقدار شاخص کاپا می‌تواند قابل قبول باشد و نتایج بدست آمده توانسته تا حدودی توسعه شهر را مدل کند و با افزایش تعداد پارامترها این دقت نیز می‌تواند افزایش یابد.

جدول۱- نتیجه ی مدل CA با الگوریتم ژنتیک برای منطقه شمال غربی

پارامتر خروجی مدل
تعداد سلولهای همسایه ۸ سلول
قدرت تفکیک مکانی استفاده شده ۳۰ متر
حداقل تعداد سلول همسایه با بافت شهری ۳ سلول
شیب زمین کمتر از ۹ درصد
فاصله از راه اصلی کمتر از ۲۱۰۰ متر
تعداد تکرار مدل CA ۸بار
دقت کلی بدست آمده ۰/۹۱۷۹۹
شاخص کاپا بدست آمده ۰/٦٨١٢٦



شکل ۵- نتیجه بدست امده از مدل CA

٤- نتیجه‌گیری

ساختار شهرحاصل فرایندی تاریخی و پویا از استقرار جمعیت بر بستر طبیعی شهر و تاثیرات متقابل آنها است. هدف از انجام این تحقیق، یافتن مدلی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پدیده توسعه شهری با کمک روش اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک است. منطقه مورد مطالعه در تحقیق شهرشیراز بوده که در سال‌های اخیر توسعه فیزیکی بسیاری یافته است. بازه زمانی شبیه سازی شده بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ است و مدلسازی با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی نظیر فاصله از راه اصلی، شیب زمین، مناطق استثناء و تراکم سلولهای شهری در شعاع همسایگی صورت پذیرفته است.

در این تحقیق در مرحله‌ی اول هدف استخراج پارامترهای بهینه برای پیش‌بینی توسعه‌ی شهری بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ است. در این مرحله از یک چهارم تصویر استفاده شده است. مرحله‌ی بعد، استفاده از این پارامترها برای پیش‌بینی توسعه‌ی شهری در این بازه‌ی زمانی است. مرحله‌ی نهایی، مرحله‌ی ارزیابی است که در این قسمت تصویر پیش‌بینی شده در مرحله‌ی قبل با تصویر کلاس بندی شده‌ی واقعی سال ۲۰۰۰ مقایسه می‌شود. لازم به ذکر است که برای ارزیابی از شاخص کاپا و دقت کلی استفاده شده است. در مدلی که معرفی گردید قوانین انتقال بر مبنای مقادیری که در الگوریتم ژنتیک برآورد گردیده‌اند مفهوم می یابند. بنابراین عمل کالیبراسیون در روند اجرای الگوریتم به انجام می‌رسد.

محیط سلولی امکان مدلسازی توسعه شهری را آسانتر می‌کند. تلفیق اتوماسیون سلولی و ژنتیک، از تعیین روابط ریاضی پیچیده جهت مدلسازی توسعه

شهری بی‌نیاز می‌کند. در بیشتر مدلها از روابط ریاضی پیچیده ای جهت مدلسازی استفاده می‌شود. اما در این مدل با استفاده ار الگوریتم ژنتیک فضای جستجو محدود شده و نتیجتا در زمان کمتری به جواب بهینه خواهیم رسید.

استفاده از الگوریتم ژنتیک در کالیبراسیون قوانین انتقال و پارامترهای موثر در اتوماسیون سلولی کمک شایانی به فرایند زمانبر و غیر دقیق مدلسازی توسعه‌ی شهری می‌کند. البته استفاده از الگوریتم ژنتیک در کالیبراسیون مشکلاتی از قبیل گیر کردن در بهینه‌ی محلی و همگرا نشدن به جواب بهینه نیز دارد. لذا این شیوه نیازمند بهبود بیشتر جهت تبدیل شدن به یک تکنیک قوی در کالیبراسیون مدل اتوماسیون سلولی شهری است.

از طرف دیگر پیاده‌سازی اتوماسیون سلولی نسبت به روشهای دیگر مدلسازی توسعه شهری در رایانه از دشواری‌های کمتری برخوردار است. این مدل امکان اضافه نمودن عوامل موثر به مدل را با کمترین تغییر در ساختار مدل، فراهم می‌سازد.در مدلهای توسعه شهری اتوماسیون سلولی با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌توان تاثیر هر پارامتر را در مدلسازی بررسی کرد و به پارامترهای اصلی موثر در توسعه شهری اولویت داد.

هدف از این مدلسازی کمک به طراحان شهری و سایر پژوهشگران است تا بتوانند یک پیش‌بینی از وضعیت محدوده شهرها و دیگر تغییرات کاربری اراضی در آینده، داشته باشند. در مدل استفاده شده در این پژوهش، با تغییر اندک در ساختار مدل، با افزایش طول کروموزوم، به راحتی می‌توان یک متغیر جدید وارد مدل نمود.

۵- پیشنهاداها

با توجه به موقعیت جغرافیایی و مورفولوژی دشت شیراز، توسعه‌ی این شهر در جهت شمال غرب متمرکز است. چون این شهر از شمال به ارتفاعات بابا کوهی از جنوب به ارتفاعات کوه سبزپوشان و از شرق به دشت‌های متصل به دریاچه‌ی مهارلو که سطح آب زیرزمینی در آن بالا است محدود است. بنابراین مناسب‌ترین محل جهت ساخت و ساز و توسعه‌ی شهر، شمال غرب می باشد. به همین علت یکی از نکات مهمی که باید به آن توجه کرد این است که در شهرهای بزرگ بافت شهری به لحاظ فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی همگن نبوده و میزان تاثیر پارامترهای مختلف در همه مناطق شهری یکسان نخواهد بود. لذا جهت حل این مشکل می‌توان با تقسیم بندی شهر به مناطق کوچکتر دقت مدلسازی را افزایش داد.

با بررسی پدیده مدلسازی توسعه شهری در مقیاسهای مکانی مختلف می‌توان مشخص کرد که این مدل در چه مقیاس مکانی جهت مدلسازی توسعه شهری مناسب تر است.

عوامل موثر در شکل گیری و تغییرات شهرها در طول زمان تغییر می‌کنند و حتی از شهری به شهر دیگر و منطقه‌ای به منطقه‌ی دیگر متفاوت هستند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که بخش‌های مختلف شهر برای یافتن پارامترهای بهینه‌ی اتوماسیون سلولی در نظر گرفته شده و با هم مقایسه شوند.

در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای به دو گروه شهری و غیر شهری تقسیم شدند ولی برای ارتقاء توانایی‌های مدل می‌توان مناطق غیرشهری را به زیر مجموعه‌های دیگری نیز تقسیم نمود و در نتیجه تغییرات چندگانه در کاربری اراضی را بررسی کرد.

منابع

اصلانی مقدم.ایمان،(۱۳۸۸)، بررسی مدل برداری Cellular Automata به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی.، رجبی، محمد علی، دانشگاه تهران، گروه سیستم اطلاعات مکانی

ثابت سروستانی.مهدی، (۱۳۸۸)، بررسی روند رشد شهر شیراز و تاثیر ان بر فضای سبز طی سه دهه ی گذشته،مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک۸۸، سازمان نقشه برداری کشور، تهران

جوادی. یاشار، (۱۳۸۷)، مدلسازی تغییرات پوشش زمین با استفاده از Cellular Automata در محیط GIS، رجبی. محمد علی، دانشگاه تهران، گروه سیستم اطلاعات مکانی

رضازاده.راضیه، میراحمدی.م، (۱۳۸۸)، مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه سازی رشد شهری، نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش،دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، سال چهارم، جلد ٤، شماره ۱

طیبی. امین، (۱۳۸۸)، پیش بینی و ارزیابی تغییر کاربری اراضی شهری در محیط سیستم اطلاعات مکانی، دلاور. محمود رضا، یزدانپناه. محمد جواد، کریستوفر پیجانوسکی. برایان،دانشگاه تهران، گروه سیستم اطلاعات مکانی

ملکی.داود، ۱۳۸۹، مدلسازی توسعه شهری با استفاده از روش آتوماتای سلولی، آل شیخ.علی اصغر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،گروه سیستم اطلاعات مکانی

Acevedo, W., Foresman, T. W. and Buchanan, J. T., (1996). Origins and philosophy of building a temporal database to examine human transformation processes. Proceedings,ASPRS/ACSM Annual Convention and Exhibition, Baltimore, MD,Vol I, 148–161.

Almeida, C. M., Batty, M., Monteiro, A. M. V., Câmara, G., Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C., et al. (2003). Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: Empirical development and estimation. Computers, Environment and Urban Systems, 27, 481 –509.

Almeida, C. M., Gleriani, J. M., Castejon, E. F., & Soares-Filho, B. S. (2008). Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. International Journal of Geographical Information Science, 22(9), 943–963.

Batty. M, Couclelis H. and Eichen M.,(1997), Urban systems as cellular automata, Environment and Planning B, No. 24, pp. 159-164.

Batty. M (2009) Urban Modeling, in N. Thrift and R. Kitchin (Editors) International Encyclopedia of Human Geography,Vol 12, Elsevier, Oxford, UK, pp. 51-58.

Batty M. and P. Longley (1994) Fractal cities: geometry of form and function, academic press, San Diego.

Batty, M., Xie, Y., & Sun, Z. (1999). Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. Computers, Environment and Urban Systems, 23, 205–233.

Berjak, S. G., Hearne, J. W. (2002). An improved cellular automata model for simulating fire in a spatially heterogeneous Savanna system. Ecological Modelling, 148(2), 133– 151.

Couclies, H.(1985), Cellular worlds: a framework for modelling micro-macro dynamics, Environment and Planning A 17, 585-596.

Dietzel, C., & Clarke, K. C. (2006). The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting. Computers, Environment and Urban Systems, 30(1), 78 –101.

Eastman, R. J., (2001). Guide to GIS and Image processing, Vo.2. Clark university, USA. 144.

Favier, C., Chave, J., Fabing, A., Schwartz, D., & Dubois, M. A. (2004). Modelling forest savanna mosaic dynamics in man-influenced environments: Effects of fire,

Lisbon and Porto, Portugal" Computers, Environment and Urban Systems 26 525–552.

Sun, T., & Wang, J. (2007). A traffic cellular automata model based on road network grids and its spatial and temporal resolution s influences on simulation+. Simulation Modelling Practice and Theory, 15, 864– 878.

Thorrens P.M., O'Sullivan D.,(2001) Cellular automata and urban simulation: where do we go from here?, Environment and Planning B, No.28, pp. 163-168.

Wahle, J., Neubert, L., Esser, J., & Schreckenberg, M. (2001). A cellular automata traffic flow model for online simulation.

White, R. and Engelen, G.(1993), Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land use patterns, Environment and Planning A. 25:1175-1199.

White, R., Engelen, G., & Uljee, I. (2000). Modelling land-use change with linked cellular automata and socio-economic models: A tool for exploring the impact of climate change on the island of St. Lucia. In M. J. Hill & R. J. Aspinell (Eds.), Spatial information for land-use management (pp. 189 204). Amsterdan: Gordonand Breach.

White R. and Engelen G.,(2000) High-resolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional systems, Computers, Environment and Urban Systems, No. 24, pp. 383-400.

Wu, F. (2002). Calibration of stochastic cellular automata: The application to rural urban land conversions. International Journal of Geographical Information Science, 16(8), 795 –818.

Yassemi, S., Dragicevic, S., & Schmidt, M. (2008). Design and implementation of anintegrated GIS-based cellular automata model to characterize forest fire behaviour. Ecological Modelling, 210, 71– 84.

climate and soil heterogeneity. Ecological Modelling, 171, 85 –102.

He C., Okada N., Zhang Q., Shi P. and Li J.,Modeling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata, landscape and urban planning, No.86, 2008, pp. 79-91.

Inés Santé et al. "Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis" Landscape and Urban Planning 96 (2010) 108–122.

Han.j, Hayashi.Y, Cao.X, Imura.H. (2009) "Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: A case study of Shanghai, China" Landscape and Urban Planning 91, 133–141

Holland, J.H. (1975). Adaption in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Lefteris A. Mantelas, Thomas. H, and Poulicos, P 2010 "A Fuzzy Cellular Automata Modeling Approach – Accessing Urban Growth Dynamics in Linguistic Terms"ICCSA 2010, Part I, LNCS 6016, pp. 140–151, 2010.© Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Li, X., & Yeh, A. G. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. International Journal of Geographical Information Science, 16(4), 323–343.

Ménard, A., & Marceau, D. J. (2007). Simulating the impact of forest management scenarios in an agricultural landscape of southern Quebec, Canada, using a geographic cellular automata. Landscape and Urban Planning, 79(3 4), 253– 265.

O'Sullivan D.,(2001) Exploring spatial process dynamics using irregular cellular automaton models, Geographical Analysis, No. 33, pp. 1-18.

Silva. E.A., Clarke K.C. (2002) "Calibration of the SLEUTH urban growth model for