پیش‌بینی رشد آتی شهر با استفاده از مدل اتوماتای سلولی پیشرفته

مطالعه موردی: شهر چالوس[1]

محمد شیخی - استادیار دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه علامه طباطبائی، گروه برنامه‌ریزی توسعه منطقه ای و برنامه‌ریزی شهری
ساسان روشناس[2] - کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۳

چکیده

به نظر می‌رسد تمرکزبی‌برنامه جمعیت، بدون در نظر گرفتن تمهیدات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی، ریشه بسیاری از بحران‌ها و مشکلاتی است که بشر به تازگی با آنها برخورد کرده است. با اهمیت پیدا کردن محدودیت منابع، اندیشمندان و نظریه‌پردازان بسیاری رشد ناموزون شهرها را پدیده‌ای غیر قابل پذیرش معرفی کرده‌اند و در جستجوی راهی برای اصلاح روندهای موجود می‌باشند. در همین راستا اتوماتای سلولی، به عنوان مدلی که رشد آتی شهر را با استفاده از پنج عامل ویژگی سلول، اندازه سلول، همسایگی، قوانین گذار و زمان پیش‌بینی می‌کند، معرفی می‌شود. در این مقاله سعی شده است که رشد شهر به وسیله مدل اتوماتای سلولی و معیارهایی مانند کاربری اراضی، شبکه ارتباطی، قابلیت اراضی، منظر طبیعی، خطر زلزله و رانش، فاصله از مناطق حفاظت شده و ... پیش‌بینی شود. این پیش‌بینی به گونه‌ای است که رشد تلفیقی از جهت بهینه رشد شهر می‌باشد. برای نشان دادن چگونگی کاردکرد مدل، شهر چالوس با توجه به قرار گرفتن در جلگه ساحلی شمال کشور و ارزشمند بودن اراضی از لحاظ زیست محیطی و زراعی و همچنین وجود دو قطعه اراضی بزرگ زراعی در داخل محدوده شهر، به عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شده است. پس از اجرای مدل در ArcGis، با توجه به ملاحظات زیست محیطی و قوانین تدوین شده اتوماتای سلولی نشان داد که رشد آتی شهر در سال ۱۴۰۵، به سمت جنوب و در حاشیه کمربندی شهر چالوس، شکل خواهد گرفت.

واژگان کلیدی: اتوماتای سلولی، رشد شهری، محدودیت‌های زیست محیطی، شهر چالوس.

۱ این مقاله برگرفته از پایان‌نامه با عنوان "هدایت رشد شهری با استفاده از مدل اتوماتای سلولی و چیدمان فضا (نمونه موردی:شهرچالوس)" می‌باشد.

۲ نویسنده مسئول مقاله: Sasan_rooshenas@yahoo.com

۱. مقدمه

در دو قرن گذشته، به ویژه در دهه‌های اخیر، بشر شاهد تغییر قابل توجه جمعیت از شهری به روستایی بوده است. بر طبق گزارش بازبینی در چشم‌انداز شهرنشینی جهان، جمعیت شهری جهان از ۰,۷۵ میلیارد در ۱۹۵۰ به ۳,۶۳ میلیارد در سال ۲۰۱۱ افزایش یافته است. در این گزارش پیش‌بینی شده است که جمعیت شهری تا سال ۲۰۵۰ به ۶,۲۵ میلیارد نفر خواهد رسید. اهمیت عامل رشد جمعیت به عنوان یکی از نیروهای تغییر در هر سیستم شهری انکارناپذیر است. در واقع افزایش جمعیت سبب رشد عمودی و افقی شهرها می‌شود.

مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری ابزار سودمندی را فراهم می‌آورد که از طریق آن می‌توان با طراحی سناریوهای متنوع بهترین گزینه برای رشد شهری و اراضی مورد نیاز برای رشد را مشخص نمود. در سال‌های اخیر این مدل‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفتند اما بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی تک متغیری بوده یا تنها عوامل محدودی را به عنوان داده در نظر می‌گیرند؛ مانند مدل‌های اکولوژیکی رشد شهری که مورد اقبال بسیاری قرار گرفته‌اند (Alberti, Waddell, 2000:2; Weddell, 2002:298). با این حال پیچیدگی سیستم شهری موفقیت و صحت پیش‌بینی این مدل‌های ساده را زیر سئوال برده است. در واقع شهری پدیده‌ای فضایی است که به مدل‌سازی فضایی برای پیش‌بینی رفتار آن نیاز دارد.

اتوماتای سلولی یک روش مبتی بر سلول است که به راحتی قابل مدل‌سازی پدیده‌های فضایی است. به دلیل این خاصیت برجسته اتوماتای سلولی دیری نپایید که جغرافیدانان از آن به منظور شبیه‌سازی تغییرات کاربری، رشد شهری و سایر تغییرات در پدیده‌های جغرافیایی استفاده نمودند. نتایج قابل توجه اتوماتای سلولی در مدل‌سازی پویایی فضای شهری گواهی بر این مدعاست (Batty and Xie, 1999:212, White and Engelen, 1997:241).

از این رو در این مقاله با معرفی مدل اتوماتای سلولی و با تلفیق آن با قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) سعی می‌شود تا روشی برای پیش‌بینی رشد بهینه شهر معرفی گردد. برای دستیابی به این مهم، در بخش نخست متدولوژی مقاله به تفصیل شرح داده خواهد شد و سپس با توضیح قوانین گذار تعریف شده در این مقاله، برای روشن شدن چگونگی کاربرد روش اتوماتای سلولی، به پیش‌بینی رشد شهری در شهر چالوس می‌پردازیم.

۲. طرح مسأله:

شهرها به عنوان سیستم‌های پیچیده‌ای در نظر گرفته می‌شوند که تحت‌تأثیر عوامل متعددی قرار دارند. در واقع گسترش یک شهر برایندی از عوامل متنوع زیست محیطی، اقتصادی، سیاسی، زیرساختی و غیره می‌باشد. گسترش شهرها امری غیر قابل اجتناب است اما این رشد شهری زمانی مشکل آفرین می‌شود که فرایند گسترش بدون برنامه و به صورت خود به خوی صورت گیرد. در این صورت یک یا چند عامل مؤثر بر رشد شهر و حیات آن قربانی چنین رشدی می‌شوند.

تجربیات و مطالعات انجام شده در مناطق مختلف نشان داده است که یکی از عوامل مهمی که در جریان رشدهای بدون برنامه در نظر گرفته نمی‌شود، عامل زیست محیطی است. به عبارت دیگر این گونه رشدهایی که به صورت خود به خودی صورت می‌گیرد، به دنبال منافع اقتصادی و دستیابی به زمین‌های با ارزش بالای اقتصادی هستند. این زمین‌ها اغلب از نظر زیست محیطی نیز زمین‌های با ارزشی محسوب می‌شوند و رشد بدون مدیریت مناسب، تأسیسات زیرساختی و زیربنایی شهر، مازادی را بر آنها وارد می‌کند که نتایج آن غیر قابل بازگشت است.

بنا بر آنچه گفته شد و با توجه به افزایش روزافزون جمعیت شهری خصوصاً در کشورهای در حال توسعه، نیاز به مدل‌هایی در پیش‌بینی رشد شهر الزامی شده است. از آنجا که شهر پدیده است، فضای مدل‌سازی‌های آماری ساده قادر به در نظر گرفتن عوامل و تأثیر آنها بر روی هم نیست. در واقع پویایی شهر نیاز به کاربرد مدل‌هایی چون اتوماتای سلولی پیشرفته را به منظور تحلیل‌های پیچیده ضروری گردانده است. علاوه بر این کاربرد، تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تحلیل و پردازش اطلاعات مربوط به شهر غیر قابل انکار است. از طرفی با تلفیق اتوماتای سلولی و GIS می‌توان بر محدودیت‌های حاضر GIS (محدودیت در اجرای سریع محاسبات متوالی و تکراری) فایق آمد و از طرف دیگر از اطلاعات مفید تولید شده توسط GIS در تعیین قوانین گذار استفاده نمود. در این پژوهش سعی بر این است که با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و اتوماتای سلولی، معیارهای زیست محیطی را به عنوان عاملی تأثیرگذار بر رشد، وارد مدل اتوماتای سلولی کرد و مدل پیشرفته‌تری از اتوماتای سلولی را برای پیش‌بینی رشد شهری ارائه داد.

به منظور درستی آزمایی مدل تدوین شده، شهر چالوس به عنوان مطالعه موردی پژوهش انتخاب شده است. یکی از دلایل انتخاب شهر چالوس، ویژگی این شهر در رشد سریع و همچنین وجود اراضی با ارزش کشاورزی در بخش مرکزی شهر (که البته خارج از محدوده قانونی به شمار می‌رود) می‌باشد. رشد آتی شهر خواه نا خواه در مناطقی صورت می‌گیرد که دارای جذابیت‌هایی برای استفاده‌کنندگان و بازگشت سرمایه برای سرمایه‌گذاران باشد. بنابراین لزوم پیش‌بینی رشد شهر به گونه‌ای که هم برای سرمایه‌گذاران خصوصی واجد جذابیت باشد و هم به ارزش‌های زیست‌محیطی منطقه توجه کند، ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به موارد بیان شده، پرسش‌های اصلی که این مقاله در جستجوی پاسخ به آن است، عبارتند از: چگونه می‌توان رشد شهر را با استفاده از اتوماتای سلولی پیشرفته به نحوی پیش‌بینی نمود که ارزش‌های زیست محیطی منطقه حفظ گردد؟ و اطلاعات حاصل از GIS چگونه می‌تواند در تعریف قوانین گذار به کار آید؟

۳. متدولوژی تحقیق:

مطالعات اخیر در مورد سیستم‌های غیرخطی و باز منجر به درک شهر به عنوان سیستم‌های تکاملی و پیچیده شده است (Allen,1997:30). در واقع شهرها به عنوان سیستم خودسازمانده

دیده می‌شوند که به صورت قابل ملاحظه‌ای به عنوان موضوعی برای به کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی محاسباتی مناسب می‌باشند (Wolfram, 1984:61) (Clarke and Gaydos 1998:701). یک ماشین سلولی به صورت انتقال‌های فازی است که می‌تواند الگوهای پیچیده را از طریق قوانین انتقال ساده تولید نماید. به این ترتیب به نظر می‌رسد این روش برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده شهری بسیار ایده‌آل و مناسب است (Batty, 1995:389) (Clarke and Gaydos 1998:703).

با توجه به این که هدف پژوهش حاضر، کاربرد مدل اتوماتای سلولی در پیش‌بینی رشد شهر چالوس و همچنین توسعه مدل اتوماتای سلولی با دخیل کردن نقش عوامل زیست محیطی می‌باشد، نوع پژوهش از حیث هدف، کاربردی-توسعه‌ای است. برای درستی آزمایی روش به کار گرفته شده نیز از مطالعه موردی بهره گرفته شده است. روش گردآوردی داده‌ها نیز مشاهده و بررسی اسناد و مدارک می‌باشد. اسناد و مدارک لازم برای گردآوری داده‌ها عبارتند از: نقشه‌های رقومی ۱/۲۵۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری، مطالعات طرح جامع شهر چالوس، طرح آمایش استان مازندران، طرح آزادراه دریای خزر و تصاویر ماهواره‌ای. در این پژوهش، ابتدا توضیحات مختصری در ارتباط با مدل اتوماتای سلولی و پیش‌بینی رشد شهر با استفاده از این مدل داده می‌شود. سپس مدل اتوماتای سلولی پیشرفته با معرفی معیارهایی همچون شیب، فاصله از رخدادهای زمین لغزش، قابلیت اراضی، فاصله از شبکه ارتباطی، کاربری اراضی، نزدیکی به مناظر طبیعی معرفی گردیده و بر روی مورد مطالعاتی (شهر چالوس) پیاده می‌گردد.

داده‌های به دست آمده از منابع یاد شده، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(Arc Gis) روی هم گذاری شده و سلول‌های توسعه نیافته محدوده مورد مطالعه با توجه به معیارهای بیان شده به سه بخش مناسب برای توسعه، تقریباً مناسب برای توسعه و نامناسب برای توسعه تقسیم شدند. سپس با بهره‌گیری از قوانین تدوین شده اتوماتای سلولی پیشرفته، هر سلول در هشت سلول مجاور خود مورد تحلیل قرار گرفته تا وضعیت آن سلول در دوره آتی، محاسبه گردد.

۴. ادبیات و پیشینه تحقیق:

قدمت پژوهش در زمینه طراحی و کاربرد اتوماتای سلولی به آغاز محاسبات دیجیتالی باز می‌گردد. آلن تورینگ[1]، ریاضیدان انگلیسی، برای نخستین بار نشان داد که رایانه‌ها، از طریق نرم‌افزار خود، می‌توانند قوانینی را در برگیرند که با آن خودشان را "تکثیر" کنند(Batty 1997:131) . استانیسلاو[2]، ریاضیدان آمریکایی لهستانی تبار، در دهه ۱۹۴۰ با استفاده از شبکه توری منظم ساده به بررسی توسعه کریستال‌ها پرداخت. در همان زمان، جان فون نویمان[3]، همکار اولام در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس[4]، بر روی مشکل سیستم خود-همانندساز کار می‌کرد. وی در حال کار بر روی طراحی خود، متوجه مشکل بزرگ ساخت روبات خود تکثیر و هزینه‌های بالا در تولید ربات با "دریایی از قطعات " برای تولید همانند آن شد. اولام مدعی می‌شود که ماشین سلولی ساده می‌تواند در مجموعه‌ای از قوانین محلی یافت شود که الگوهای ریاضی را در فضای دو بعدی و سه بعدی که در آن نظم جهانی از اقدامات محلی تولید می‌شود، به وجود می‌آورد (Batty,1997:136) (Ulam, 1976:116) (Couclels, 1997:83). با الهام از اولام[5]، فون نویمان دستگاه پیچیده خود-تولید کننده را با فضای سلولی دو بعدی ساخته است. هر سلول ۲۹ وضعیت را در بر می‌گیرد که در داخل چهار سلول شرق / جنوب / غرب / شمال کوچک مجاور کار می‌کند. بنابراین این چهار سلول مجاور همسایگی فون نویمان نام گرفته است. فون نویمان ثابت کرده است که با دستگاه او، از نظر ریاضی، هر الگوی خاص و یا طرح اولیه‌ای، نسخه‌های بی‌پایانی از خود را در فضای سلولی می‌سازد (Von Neumann, 1966:4). کار فون نویمان در دهه ۱۹۵۰ نخستین جرقه را در شروع مطالعه علمی نظریه سلولی ماشینی، روشن نمود (Batty, 1997:137) . با این حال، با توجه به پیچیدگی آن، ماشین فون نویمان هیچ شبیه‌سازی "واقعی" را بر روی کامپیوتر دیجیتال مدرن اجرا نکرده است (Langton et al, 1984:51). استفاده از این مدل در برنامه‌ریزی کاربری زمین از سال ۱۹۹۸ در مطالعات و پژوهش‌ها رو به فزونی گذاشته است. اما پیچیدگی سیستم شهر منجر به تغییراتی در این مدل و نزدیک کردن آن به واقعیت شده است. از نخستین پژوهش‌ها می‌توان به مدل اتوماتای سلولی مبتنی بر ارزیابی چند معیاره[6] (MCE) اشاره کرد. محدوده مطالعاتی این پژوهش شهر گوانگژو[7] در کشور چین بوده است. این مدل مدعی است که به شبیه‌سازی سناریوهای ممکن مختلف در محدوده مورد مطالعه (که بزرگترین شهر در جنوب چین است) می‌پردازد. اساساً سناریوهای شبیه‌سازی شده از چهار سیاست رشد شهری مختلف به دست آمده‌اند. هر چهار سناریو، چهار پرسش، « What If, » مختلف در ارتباط با رشد شهری می‌سازند. به منظور حل این چهار پرسش، مدل CA شهری یاد شده به گونه‌ای ساخته شده است که قواعد تحول آن متناسب با سناریوها تغییر یابد. به منظور اعمال این چهار سیاست رشد شهری متفاوت در قوانین تحول، مدل‌ساز از روش MCE سود جسته و با استفاده از AHP نیز به وزن‌دهی عوامل مختلف می‌پردازد. یکی از مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه اتوماتای سلولی، رساله دکترای یان لیو[8] در دانشگاه کوئینزلند[9] استرالیاست. یان لیو رساله دکترای خویش را با عنوان "مدل‌سازی رشد شهر با استفاده از GIS و اتوماتای سلولی" ارائه داد. زمینه‌های اصلی رساله شامل بسط شبیه‌سازی مدل‌های رشد شهری با استفاده از اتوماتای سلولی و ترکیب تئوری

1 Alan Turing
2 Stanislaw
3 John von Neumann
4 Los Alamos

5 Ulam
6 Multiple Criteria Evaluation
7 Guangzhou
8 Yan liu
9 queensland

منطق فازی با فناوری اطلاعات فضایی و کمک به درک الگوها و کنترل رشد شهری هم از لحاظ فضایی و هم از لحاظ زمانی با استفاده از مطالعه موردی متروپلیتن سیدنی بوده است. سال ۲۰۰۲ نیز سان ژانلی [1] در ساله دکترای خود مدل اتوماتای سلولی رشد یافته‌ای به نام GeoCA را معرفی نمود. تمرکز فعالیت‌های رساله ژانلی بر مطالعه پیچیدگی سیستم زمین-فضایی مبتنی بر تحلیل‌های سیستماتیک و شناسایی جامع خواص پیچیدگی سیستم بوده است. در این راستا او دو مدل جریان ترافیک و انتشار آتش جنگل که مدل دینامیکی برای بررسی تغییرات و پویایی شهر می‌باشد را معرفی نمود. در سال ۲۰۰۵ مایکل بتی [2] در کتابی با عنوان شهرها و پیچیدگی [3]، از پیچیدگی شهرها و عدم توجه مدل‌های اتوماتای سلولی به اثرات بالا به پایین (یعنی اثراتی که از بیرون سیستم شهری بر شهر وارد می‌شوند) و فقدان توجه به نظر ساکنان صحبت به میان آورد و از "مدل عامل محور [4]" که پیش از این در دهه ۹۰ توسط اپشتین [5] و اکستل [6] برای شبیه‌سازی پدیده‌های اجتماعی مختلف مانند مهاجرت، خشونت، فقر و ... استفاده شده بود، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد شهری بهره گرفت.

۵. مبانی نظری اتوماتای سلولی:

اتوماتای سلولی به عنوان مدل اصلی به کار گرفته شده در این پژوهش، نخستین بار توسط آلن تورینگ ریاضیدان انگلیسی به کار گرفته شد. او نشان داد که رایانه‌ها می‌توانند قوانینی را در برگیرند که با آن خودشان را تکثیر کنند. در این بخش مبانی نظری و روش استفاده از مدل اتوماتای سلولی بیان خواهد شد.

۵،۱. مدل‌سازی اتوماتای سلولی

یک ماشین سلولی (CA) یک سیستم گسسته پویاست که در آن فضا به سلول‌های منظم فضایی تقسیم شده و زمان در مراحل گسسته پیش می‌رود. هر سلول در سیستم در برگیرنده تعداد متناهی از وضعیت‌هاست. وضعیت هر سلول بر اساس قوانین محلی به روز شده است که در آن وضعیت یک سلول در یک زمان معین بستگی به وضعیت خاص خود آن و سلول‌های مجاور در مرحله قبلی دارد (Wolfram ,1984:67).

نخستین کاربرد مهم ماشین سلولی در "بازی زندگی" جان کانوی بوده است (Gardner,1972:41). "زندگی" به صورت شبکه دو بعدی با دو حالت سلول و مجاورت‌های هشت سلولی ساخته شد. دو حالت ممکن برای یک سلول مرده یا زنده است. مجاورت هشت سلولی شامل سلول‌هایی در جهات شرق، جنوب، غرب، شمال، جنوب غرب، جنوب شرق، شمال شرق و شمال غرب است. این نوع مجاورت مور همسایگی نامیده می‌شود.

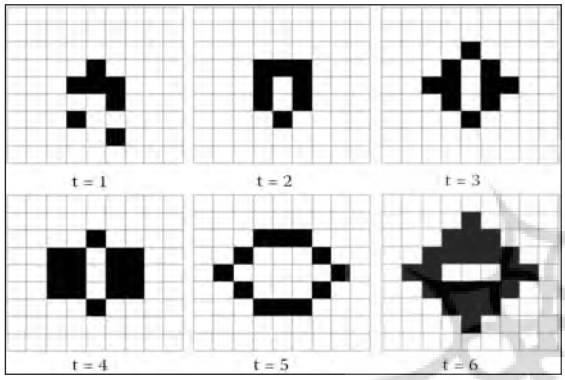
در "بازی زندگی"کانوی، یک سلول می‌تواند با توجه به قوانین زیر زنده بماند، بمیرد یا در نسل متوالی متولد شود:

بقا: یک سلول زنده با دو یا سه همسایه زنده تا نسل بعدی باقی می‌ماند.

مرگ: یک سلول‌های زنده با کمتر از دو یا بیش از سه همسایه زنده از انزوا و یا از ازدحام بیش از حد می‌میرد.

تولد: یک سلول مرده دقیقاً با سه همسایه زنده در نسل بعدی متولد می‌شود(Liu 2009:31).

با استفاده از این قواعد ساده، این مدل قادر به تولید ساختارهای بسیار پیچیده است که در آن سلول‌های مختلف می‌میرند، زنده می‌مانند و یا در نسل‌های پی‌درپی تولید می‌شوند. تصویر شماره ۱ یک نمونه از نتایج شبیه‌سازی تولید شده توسط این مدل را ارائه می‌دهد."بازی زندگی" بعد از چاپ مقاله گاردنر در مجله علمی آمریکا یک مدل اتوماتای سلولی بسیار معروف شده است.



تصویر۱: یک شبیه‌سازی ساده بر اساس "بازی زندگی" کانوی. (سلول‌های سیاه زنده و سلول‌های سفید مرده هستند؛ t مرحله زمان است) (Liu 2009:31).

۵،۲. عناصر اصلی اتوماتای سلولی

ماشین سلولی یک ماشین خودکار است که " اطلاعات را پردازش می‌کند، منطقی اقدام می‌کند و عمل بعدی خود را بعد از ورود داده‌ها از خارج در پرتو دستورالعمل‌های برنامه‌ریزی‌شده در درون خود بی‌وقفه انجام می‌دهد (Levy,1992:116). در یک سیستم اتوماتای سلولی، فضا به سلول‌های منظمی تقسیم شده است. حالت هر سلول توسط وضعیت خود سلول و حالت سلول‌های مجار آن در مرحله قبلی، زمانی از طریق مجموعه‌ای از قوانین انتقال معین محلی، تعیین می‌شود. حالت تمام سلول‌ها همزمان به‌روزرسانی می‌شوند. رفتار کلی سیستم توسط اثرات ترکیبی تمام قوانین انتقال محلی تعیین می‌شود. بنابراین حالت سیستم در مراحل زمانی گسسته پیشرفت می‌کند (Liu ,2009:39) . با توجه به تعریف فوق، یک ماشین سلولی شامل پنج عنصر پایه است:

۱،۱،۱. سلول

که واحد فضایی اساسی در فضای سلولی است. سلول‌ها در ماشین سلولی در موزاییک‌های فضایی مرتب شده‌اند. شبکه دو بعدی سلول‌ها رایج‌ترین شکل از ماشین سلولی است که در مدل‌سازی رشد شهری و تغییر کاربری زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، ترتیبات دیگری مانند ماشین سلولی یک بعدی، برای نشان دادن مسائل خطی از جمله مدل‌سازی ترافیک

1 Sun Zhanli
2 Michael Batty
3 Cities and complexity
4 Agent Based Model
5 Joshua M. Epstein
6 Robert Axtell

شهری استفاده می‌شوند (Nagel et al,1997:414) (DiGregorio et al,1996:214). فضای سلولی همچنین می‌تواند به صورت مشبک طراحی شود و مانند تنظیم لانه‌زنبوری یا حتی شکل سه بعد به خود گیرد؛ به عنوان مثال، بُعد سوم از یک ماشین سلولی شهری می‌تواند ارتفاع ساختمان‌ها در محیط شهری ساخته شده را نشان دهد. با این حال، به دلیل مشکل در طراحی و ساخت مدل، این ترتیبات سلولی کمتر رواج یافته‌اند یا در حال تکمیل برای کاربرد در مدل‌سازی شهری می‌باشند (Liu . 2009:46) .

۵،۲،۲. حالت (وضعیت)

یک حالت، به عنوان ویژگی‌های سیستم تعریف می‌شود. هر سلول تنها می‌تواند یک حالت را از مجموعه‌ای از حالات در هر زمان به خود اختصاص دهد. حالت می‌تواند یک شماره باشد که نشان دهنده یک ملک است. در مدل‌های شهری مبتنی بر اتوماتای سلولی، حالات سلول ممکن است انواع کاربری یا پوشش زمین، مانند شهری یا روستایی و یا هر نوع خاص از کاربری زمین را نشان دهد، یا برای نشان دادن ویژگی‌های دیگر محیط شهری از جمله موضوعات اجتماعی جمعیت استفاده شود (Portugali et al, 1995:963).

۵،۲،۳. همسایگی

همسایگی در بر دارنده خود سلول و تعدادی سلول دیگر در شعاع خاصی از سلول مورد آزمایش است. بر اثر روابط متقابل بین سلول مورد آزمایش و همسایه آن و تحت‌تأثیر قوانین انتقال، سلول تغییر وضعیت می‌یابد. اندازه همسایگی برای مدل‌های مختلف CA فرق دارد. درCA یک بعدی، هر سلول دارای سه سلول همسایه است. مشهورترین همسایگی در CA دو بعدی، همسایگی مور شامل نُه سلول به صورت ۳*۳ سلول، و همسایگی ون شامل پنج سلول است. در برخی مدل‌های CA، همسایگی به صورت ۵*۵ با ۷*۷ تعریف شده‌اند (Rezazadeh, et al., 2010:49).

۵،۲،۴. قانون گذار(تبدیل)

قانون گذار یا تبدیل، چگونگی تغییر حالت یک سلول در پاسخ به وضعیت فعلی خود و سلول‌های همسایه آن است. این عنصر مؤلفه کلیدی ماشین سلولی است، چرا که این قوانین نشان دهنده روند الگوبرداری سیستم است و در نتیجه برای موفقیت عمل مدل‌سازی ضروری است (White, 1998:32).

۵،۲،۵. زمان

یک ماشین سلولی در یک بعد زمانی وجود دارد. با توجه به تعریف اتوماتای سلولی، حالات همه سلول‌ها به طور همزمان در طول زمان به‌روزرسانی می‌شوند. با این حال، می‌توان با کاربرد مدل اتوماتای سلولی در سرعت زمانی مختلف برای سلول‌های مختلف بر این محدودیت فائق آمد؛ مثلاً مناطق کم ارتفاع به طور ماهانه و مناطق بلند به طور سالانه شبیه‌سازی شوند (White et al., 1994:241)

۶. استفاده از اتوماتای سلولی پیشرفته در مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از G.I.S و قوانین مرتبط با تحلیل مناسبت زمین

استفاده از اتوماتای سلولی به منظور شبیه‌سازی مؤثر پدیده‌های شهری، کاربردهای متعددی یافته است. مدل‌های اتوماتای سلولی در مقیاس منطقه، شهر، زیر نواحی اجتماعی-فضایی شهر و غیره برای ارزیابی فرآیند رشد شهری، تحلیل‌های مکانی و بررسی توسعه و پراکندگی شهرها به کار گرفته شده‌اند. از این جمله می‌توان به مدل‌های اتوماتای متعددی که برای مطالعه پویایی کاربری زمین به کار گرفته شده‌اند، اشاره نمود.

در پژوهش حاضر برای پیش‌بینی و هدایت رشد شهری از ترکیب مدل اتوماتای سلولی به همراه تحلیل مناسبت مکانی استفاده شده است. همان‌گونه که بیان شد، اتوماتای سلولی دارای پنج مشخصه، شامل سلول، وضعیت، همسایگی، قوانین گذار و زمان می‌باشد. نحوه استفاده از مدل اتوماتای سلولی تا حد زیادی به این پنج مشخصه ارتباط دارد.

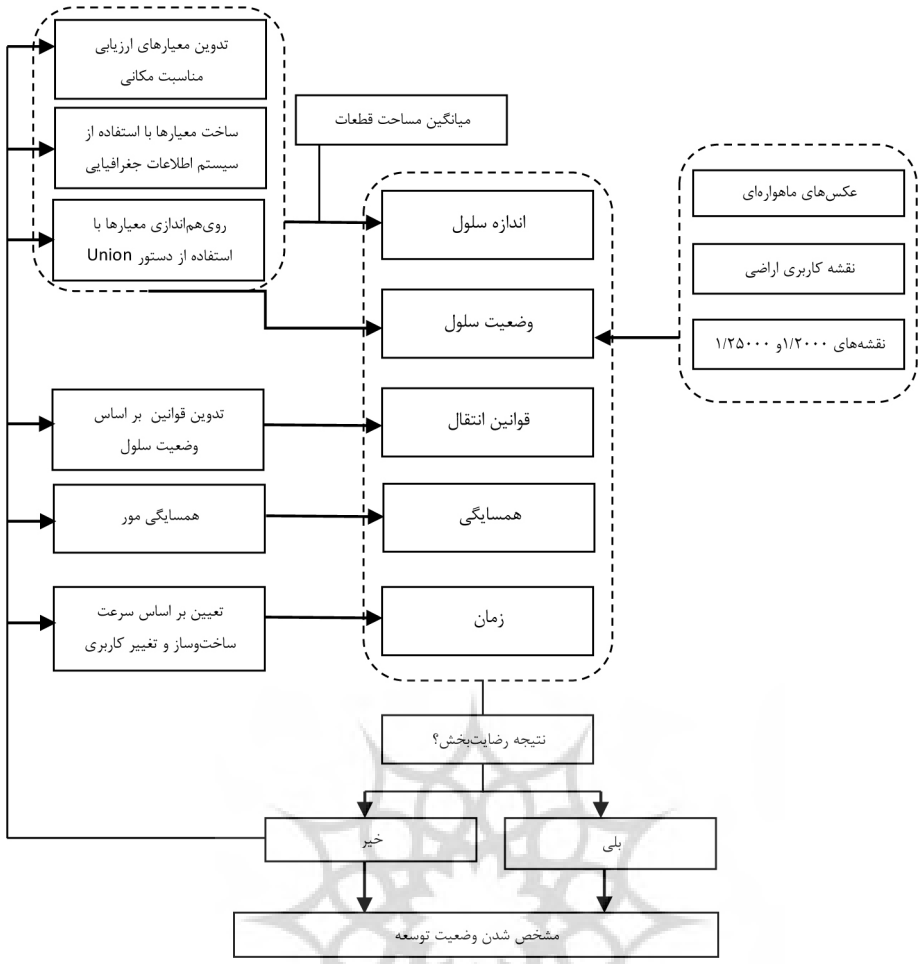
نمودار زیر نشان دهنده فرایند مدل‌سازی می‌باشد. وضعیت سلول، حاصل عکس‌های ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی، نقشه‌های ۱/۲۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و روی‌هم‌گذاری معیارهای ارزیابی مناسبت مکانی می‌باشد. سایر ویژگی‌های مدل اتوماتای نیز در نمودار۱ شرح داده شده است.

۷. کاربست مدل اتوماتای سلولی پیشرفته در شهر چالوس

محدوده مورد مطالعه، شهر چالوس به همراه حریم آن می‌باشد که در استان مازندران و در همسایگی شهرهای نوشهر، تنکابن و نور قرار گرفته است. مساحت محدوده مورد مطالعه شش هزار و ۴۴۳ هکتار می‌باشد. جمعیت شهر چالوس معادل ۵۵ هزار و ۶۰۹ نفر می‌باشد و جمعیت روستاهای واقع در حریم شهر ۱۵ هزار و ۸۳۸ نفر می‌باشد که مجموعاً جمعیت محدوده مورد مطالعه را به ۷۱ هزار و ۴۴۷ نفر می‌رساند. محدوده حریم شهر چالوس در حد فاصل دو بخش جلگه‌ای و کوهستانی قرار دارد و دریای مازندران در شمال محدوده قرار گرفته است. از جنوب به رشته‌کوه‌های البرز، از شرق به شهرستان نوشهر و از طرف غرب به شهرستان تنکابن محدود می‌باشد. این منطقه در حد فاصل ´۵۵، °۵۰ تا ´۵۱،۲۷ °۵۱ عرض شمالی قرار گرفته است.

یکی از دلایل انتخاب شهر چالوس، ویژگی این شهر در رشد سریع و همچنین وجود اراضی با ارزش کشاورزی در بخش مرکزی شهر (که البته خارج از محدوده قانونی به شمار می‌رود) می‌باشد. رشد آتی شهر خواه نا خواه در مناطقی صورت می‌گیرد که دارای جذابیت‌هایی برای استفاده‌کنندگان و بازگشت سرمایه برای سرمایه‌گذاران باشد. بنابراین پیش‌بینی مسیر رشد شهر چالوس با توجه به ارزش اقتصادی زمین و دارا بودن ویژگی‌هایی از

تصویر۲: انواع همسایگی (Rezazadeh, et al., 2010:49)



نمودار ۱: فرآیند پیش‌بینی رشد آتی شهر به وسیله مدل اتوماتای سلولی

قبیل نزدیکی به مرکز شهر و دسترسی‌های فراشهری و ... کار چندان دشواری به شمار نمی‌رود. از اهداف این پژوهش، یافتن رشدهایی است که علاوه بر ویژگی‌های مثبت برای مصرف‌کننده و سرمایه‌گذار، برای محیط‌زیست و طبیعت نیز دارای ویژگی‌های مثبت باشد (تصویر ۷).

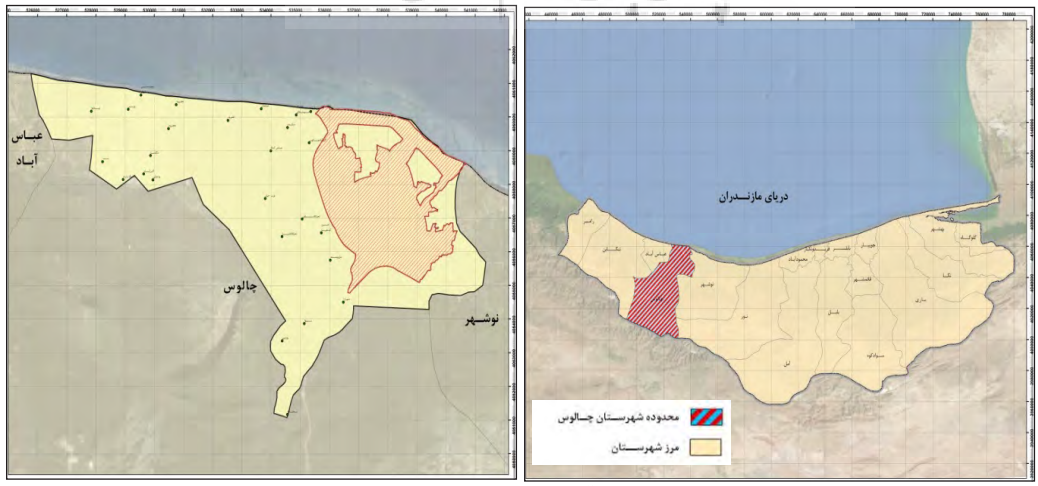
۸. تعیین ویژگی‌های سلول

۸,۱. وضعیت سلول

وضعیت سلول در واقع نشان‌دهنده ویژگی هر سلول در زمان T=0 است. وضعیت سلول در زمان T=1 با توجه به همسایگی‌ها و قوانین انتقال تغییر می‌کند. در این پژوهش هر سلول شش وضعیت مختلف را در سه حالت کلی در بر می‌گیرد:

الف - توسعه موجود

این وضعیت در واقع نشان‌دهنده رشدی است که در حال حاضر در منطقه مورد نظر صورت گرفته است. این رشد شامل ساخت‌وسازهایی است که در شهر و در روستاهای اطراف صورت گرفته است. توسعه شهری و توسعه روستایی به دلیل سرعت

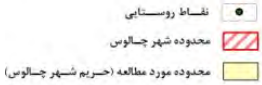


تصویر ۷: موقعیت محدوده مورد مطالعه

متفاوت در رشد، از یکدیگر متفاوتند.

ب- شبکه ارتباطی

در این پژوهش از شبکه ارتباطی پیشنهادی طرح جامع شهر چالوس به عنوان شبکه‌ای که تا انتهای دوره طرح تحقق می‌یابد به عنوان وضعیت سلول بهره گرفته شده است.



ج –میزان مناسبت برای توسعه و ساخت‌وساز

این سلول‌ها در واقع حاصل ترکیب معیارهای زیست‌محیطی، کالبدی و دید و منظر می‌باشند. بر اساس ترکیب این معیارها، سه حالت برای سلول‌ها به وجود می‌آید که شامل مناسب برای توسعه و ساخت‌وساز و تقریباً مناسب و نامناسب برای توسعه و ساخت‌وساز است.

بنابراین شش ویژگی بیان شده، عبارتند از:

۱. توسعه شهری، ۲. توسعه روستایی، ۳. شبکه ارتباطی، ۴. مناسب برای توسعه، ۵. تقریباً مناسب برای توسعه و ۶. نامناسب برای توسعه.

مدل در نظر گرفته شده برای پیش‌بینی رشد شهری، با توجه به دید منطقه‌ای و فرا شهری از پرداختن به نوع رشد شهری اعم از مسکونی، خدمات، کارگاهی و... پرهیز می‌کند. منظور از توسعه موجود، سکونت و فعالیت‌های وابسته به آن است که شهروندان برای زندگی به آن نیاز دارند. علاوه بر رشد، مقوله مناسبت برای توسعه نیز حائز اهمیت است. در واقع صرفاً توسعه یافتگی یا توسعه نیافتگی یا مجاورت با شبکه ارتباطی برای ارزیابی رشد آتی کافی نیست و با استفاده از معیارهای زیست‌محیطی، کالبدی، دید و منظر و... به هر سلول امتیازی داده می‌شود که نشان دهنده قابلیت آن برای رشد است.

۸,۲. اندازه سلول

اندازه سلول همان طور که در فصل سوم بیان شد، با استفاده از دو معیار روی هم‌اندازی ویژگی‌های محیطی محدوده و متوسط مساحت قطعات مالکیتی شهر چالوس به دست می‌آید. معیارهای محیطی مورد استفاده عبارتند از: شیب اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رخدادهای زمین لغزش، توپوگرافی و مناطق حفاظت شده زیست‌محیطی. با روی هم‌اندازی این لایه‌ها بر روی یکدیگر، با استفاده از دستور Union، واحدهایی تشکیل می‌شوند که هر کدام از منظر معیارهای به کار گرفته شده دارای ویژگی‌های یکسان و متفاوت از همسایه خود هستند.

از سوی دیگر متوسط مساحت قطعات مالکیتی شهر چالوس نیز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی Arc G.I.S محاسبه می‌شود. میانگین مساحت قطعات مالکیتی ۷۵۰ مترمربع و کوچک‌ترین واحد به دست آمده از روی هم‌اندازی معیارها نیز دارای مساحت ۲۰۰ مترمربع می‌باشد. بنابراین مساحت سلول مورد استفاده در مدل باید حدود ۴۵۰ متر باشد که به دلیل افزایش دقت در امر اجرای مدل، ابعاد هر سلول ۲۰×۲۰ متر در نظر گرفته شده است.

۸,۳. مدت زمان (دوره) محاسباتی

مدت زمان (دوره) محاسباتی منتج از سابقه ساخت‌وساز در محدوده می‌باشد؛ به این معنی که فرآیند تغییر کاربری و ساخت‌وساز جدید به طور متوسط در چه مدت زمانی صورت می‌گیرد. با استفاده از نقطه نظرات کارشناسان و بررسی پروانه‌های ساختمانی و گواهی‌های پایان کار مشخص شده است که مدت زمان فرآیند تغییر کاربری و ساخت‌وساز جدید در شهر، دو سال می‌باشد که این زمان در روستا تا چهار سال افزایش می‌یابد.

۸,۴. دوره پژوهش

دوره پژوهش نیز با توجه به ماهیت برنامه‌ریزی برای رشد آتی شهر و بعد کلان و منطقه‌ای آن، ۱۰ دوره و یا به عبارتی بیست سال در نظر گرفته شد.

۸,۵. معرفی قوانین گذار

قوانین گذار مهم‌ترین بخش مدل اتوماتای سلولی را تشکیل می‌دهند. در این بخش همان‌گونه که توضیح داده شد، با استفاده از جدولی که سطرهای آن را مناسبت مکانی توسعه و ستون‌های آن را شش وضعیت سلول تشکیل می‌دهند، وضع شده‌اند. قوانین گذار به صورت این گذاره تعریف شده‌اند که اگر موارد مندرج در جدول یاد شده قوانین رخ دهد، آنگاه سلول در زمان بعدی توسعه یافته خواهد شد؛ در غیر این صورت به حالت خود باقی خواهد ماند. همچنین سلول‌های توسعه یافته شهری، روستایی و شبکه ارتباطی در تمامی دوره‌ها تغییر نخواهند کرد و به همان وضعیت اولیه باقی خواهند ماند. در مجموع بیش از ۳۰۰ قانون برای این مدل وضع شده است. در جدول زیر نمونه قوانین آورده شده است. سه وضعیت برای سلول و شش وضعیت برای همسایگی در نظر گرفته شده است. ردیف یک، حالتی را نشان می‌دهد که وضعیت سلول نامناسب برای توسعه است اما توسط یک سلول شبکه ارتباطی، چهار سلول مناسب برای توسعه و سه سلول تقریباً مناسب برای توسعه احاطه شده است. بنابراین وضعیت سلول در دوره بعد از توسعه نیافته به توسعه یافته تغییر می‌کند و یا در ردیف هفت، وضعیت سلول توسعه نیافته، مناسب برای توسعه می‌باشد که توسط یک سلول توسعه یافته شهری، چهار سلول شبکه ارتباطی، یک سلول مناسب برای توسعه، یک سلول تقریباً مناسب برای توسعه و یک سلول نامناسب برای توسعه احاطه شده است. بدین‌ترتیب وضعیت این سلول نیز در دوره بعد، توسعه یافته خواهد بود. بیش از ۳۰۰ قانون در ارتباط با وضعیت سلول‌های توسعه نیافته وضع شده است (جدول ۱).

۹. معرفی معیارهای مؤثر بر توان رشد شهری

همان‌گونه که در بخش‌های نخست اشاره شد، عوامل مختلفی در محدوده مورد مطالعه دخیل بوده‌اند که در دو دسته طبیعی و مصنوعی جای داده شدند. بدیهی است که عوامل طبیعی مانند شیب، پوشش زمین، قابلیت اراضی، فاصله از گسل و غیره تأثیر بسزایی در امر رشد شهر دارند. به عنوان مثال سکونت در شیب‌های تند مناسب نمی‌باشد یا برای سکونت باید فاصله از منابع آسیب‌زا رعایت گردد. بنابراین در این بخش به تدوین و ارزیابی معیارهای مؤثر بر رشد شهری پرداخته شد.

معیارهای مورد استفاده را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود

جدول ۱: نمونه قوانین تدوین شده مدل اتوماتای سلولی

ردیف	وضعیت همسایگی / وضعیت سلول	توسعه موجود (روستایی)	توسعه موجود (شهری)	شبکه ارتباطی	مناسب برای توسعه	تقریباً مناسب برای توسعه	نامناسب برای توسعه
۱	نامناسب برای توسعه	۰	۰	۱	۴	۳	۰
۲	نامناسب برای توسعه	۰	۱	۶	۱	۰	۰
۳	نامناسب برای توسعه	۳	۰	۱	۲	۲	۰
۴	تقریباً مناسب برای توسعه	۰	۰	۱	۴	۲	۱
۵	تقریباً مناسب برای توسعه	۰	۱	۳	۲	۱	۱
۶	تقریباً مناسب برای توسعه	۴	۰	۱	۲	۱	۰

که عبارتند از: معیارهای زیست‌محیطی، معیارهای دید و منظر و معیارهای کالبدی.

معیارهای زیست‌محیطی عبارتند از: شیب، فاصله از رخدادهای زمین لغزش و قابلیت اراضی.

معیارهای کالبدی عبارتند از: فاصله از شبکه ارتباطی و کاربری اراضی.

معیارهای دید و منظر نیز شامل نزدیکی به مناظر طبیعی می‌باشند.

هر کدام از این معیارها در دسته‌های متفاوت طبقه‌بندی شده‌اند که در جدول ۲ بیان شده است:

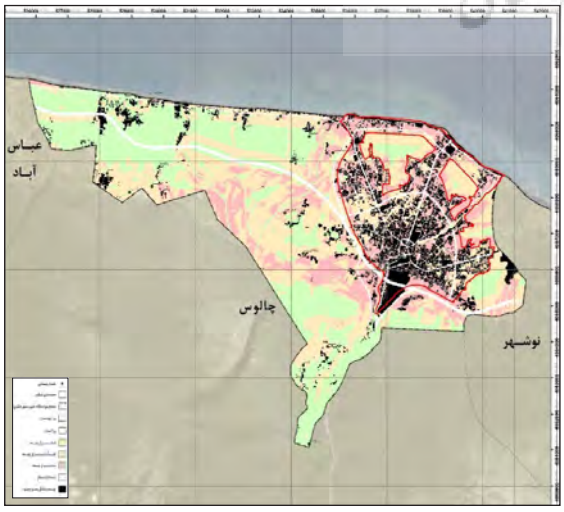
پس از کلاس‌بندی معیارهای مورد نظر با استفاده از (Raster Calculator) معیارها با یکدیگر ترکیب می‌شوند.. اگر مجموع کلاس‌های واقع در یک سلول بیش از عدد ۱۸ باشد، آن سلول نامناسب برای توسعه، اگر مجموع کلاس‌های واقع در یک سلول بیش از عدد ۱۲ و کمتر از عدد ۱۸ باشد، تقریباً مناسب برای توسعه است و اگر مجموع کلاس‌های واقع در یک سلول کمتر از عدد ۱۲ باشد، مناسب برای توسعه می‌باشد.

جدول ۲: کلاس‌بندی معیارهای مؤثر در توان رشدشهری

عنوان	کلاس۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵
شیب اراضی	۰،۵ تا ۶ درصد	بین ۶ تا ۹ درصد	بین ۹ تا ۱۵ درصد	بیشتراز ۱۵ یا زیر۰۵ درصد	
فاصله از رخدادهای زمین لغزش	بالاتراز۱۰۰۰ متر	بین صفرتا۱۰۰۰ متر			
قابلیت اراضی	اراضی با قابلیت نفوذ آهسته و با کمی پستی و بلندی و آب زیرزمینی کمی بالا.	اراضی با کمی پستی و بلندی یا شیب کم و یا فرسایش آبی کم،	اراضی با آب زیرزمینی کم تا نسبتاً بالا	اراضی با پستی و بلندی و فرسایش نسبتاً زیاد	ارتفاعات
فاصله از شبکه ارتباطی (محورهای محله‌ای و ناحیه‌ای)	کمتراز۱۰۰ متر	بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر	به بیشتراز۲۰۰ متر		
فاصله از شبکه ارتباطی (محورهای شهری)	کمتراز۲۰۰ متر	بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر	بیشتراز۵۰۰ متر		
فاصله از شبکه ارتباطی (محورهای فراشهری)	کمتراز۱۵۰ متر	بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر	بیشتراز۳۰۰ متر		
فاصله از شبکه ارتباطی (محور روستایی)	کمتراز۵۰ متر	بین ۵۰ تا ۱۵۰ متر	بیشتراز۱۵۰ متر		
کاربری اراضی	توسعه شهری	توسعه روستایی	شنزار	اراضی زراعی و باغات	اراضی جنگلی
نزدیکی به مناظر طبیعی	کمتراز۲۰۰ متر	بیشتراز۲۰ متر			

۱۰. سنجش رشد شهری و توان توسعه کالبدی در محدوده و حریم شهر چالوس در سال۱۳۸۵

پس از تدوین معیارهای مؤثر بر توان توسعه کالبدی، با روی‌هم‌گذاری آنها توان رشد شهری در محدوده مطالعه به دست می‌آید. توان رشد به سه دسته مناسب برای توسعه، تقریباً مناسب برای توسعه و نامناسب برای توسعه تقسیم می‌شود. در نقشه زیر سلول‌هایی که با رنگ سیاه نمایش داده شده‌اند، توسعه کالبدی موجود محدوده اعم از روستایی و شهری می‌باشند. سلول‌های سفید، شبکه ارتباطی پیشنهادی طرح جامع شهر چالوس، سلول‌های سبز نامناسب برای توسعه کالبدی، زرد تقریباً مناسب برای توسعه کالبدی و صورتی مناسب برای توسعه کالبدی می‌باشد. بدین‌ترتیب شش ویژگی سلول برای محدوده مورد مطالعه با توجه به معیارهای گفته شده، تدوین شده است.



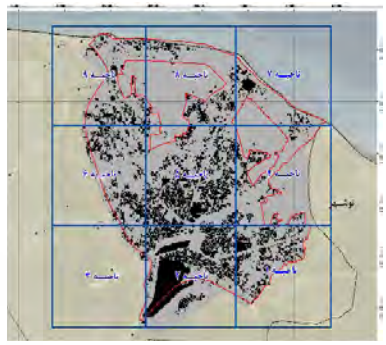
تصویر۹: وضعیت رشدیافتگی محدوده و حریم شهر چالوس در سال۱۳۸۵

۱۱. ارزیابی دقت مدل:

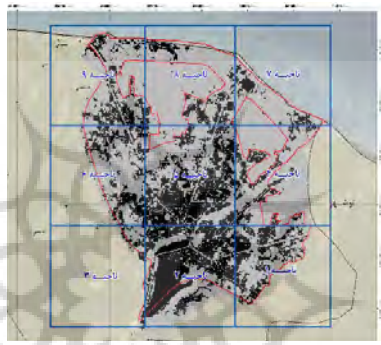
یکی از مراحل مهم در تدوین مدل، ارزیابی میزان دقت مدل می‌باشد. بدین منظور با استفاده از داده‌های سال ۱۳۷۵ محدوده مورد مطالعه، اعم از کاربری اراضی و وضعیت شبکه ارتباطی و رشد یافتگی محدوده ترسیم می‌شود، سپس با اجرای مدل در پنج دوره زمانی دو ساله، وضعیت رشد یافتگی در سال ۱۳۸۵ پیش‌بینی شده و با داده‌های سال ۱۳۸۵ مورد مقایسه قرار می‌گیرد. برای مقایسه نیز محدوده شهر چالوس به نُه قسمت تقسیم شده و تعداد سلول‌های رشد یافته سال ۱۳۸۵ در دو حالت مدل‌سازی شده و وضع موجود در کنار هم ارزیابی می‌گردد. جدول۳ پنج مشخصه سلول برای اجرای مدل نشان داده شده است.

جدول۳ : پنج مشخصه سلول‌های مورد استفاده در مدل اتوماتای سلولی رشد شهر چالوس

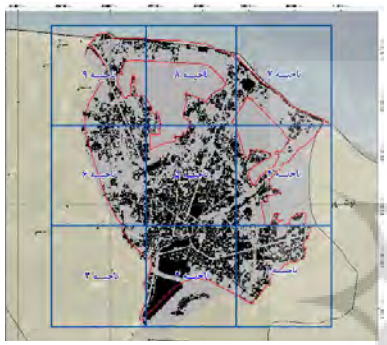
مشخصه	وضعیت
اندازه سلول	۲۰ متر×۲۰ متر
وضعیت سلول	شش حالت توسعه شهری، توسعه روستایی، شبکه ارتباطی، مناسب برای توسعه، تقریباً مناسب برای توسعه و نامناسب برای توسعه
همسایگی	همسایگی هشت سلولی مور
دوره	دو سال برای مناطق شهری و چهار سال برای مناطق روستایی
قوانین گذار	تدوین بیش از ۳۰۰ قانون



رشد شهری در سال ۱۳۷۵



رشد شهری در سال ۱۳۸۵



رشد شهری در سال ۱۳۸۵ پس از اجرای مدل اتوماتای سلولی

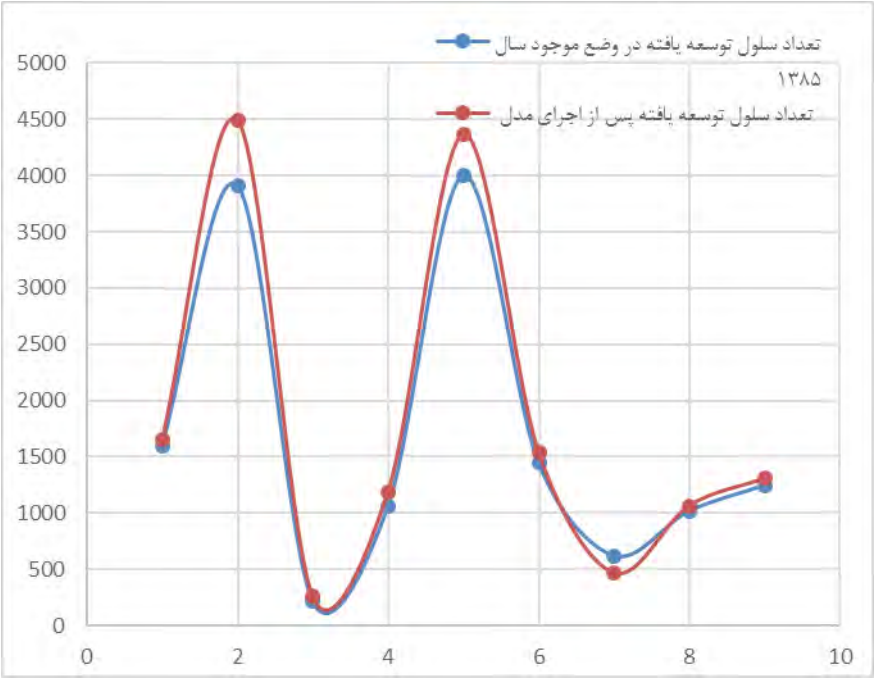
تصویر۱۰: رشد شهری در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۵

جدول ۴: مقایسه تعداد سلول رشد یافته وضع موجود سال ۱۳۸۵ و پس از اجرای مدل در هر ناحیه

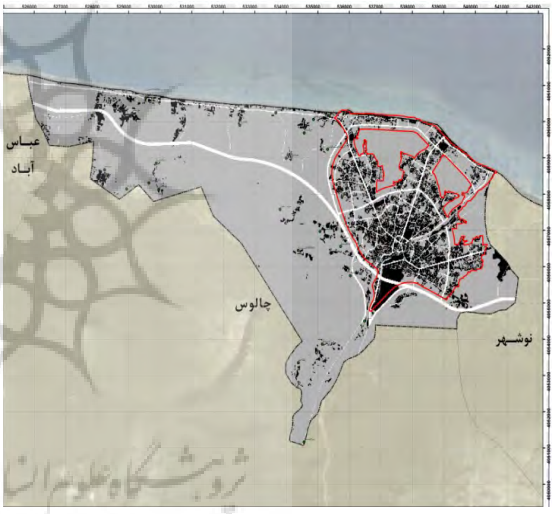
میزان دقت	تعداد سلول توسعه یافته پس از اجرای مدل در سال ۱۳۸۵	تعداد سلول توسعه یافته در سال ۱۳۸۵	ناحیه
٪۱/۹۷	۱۶۴۹	۱۶۰۱	۱
٪۰/۸۷	۴۴۹۴	۳۹۱۱	۲
٪۴/۸۲	۲۶۱	۲۱۵	۳
٪۱/۸۹	۱۱۸۹	۱۰۵۹	۴
٪۶/۹۱	۴۳۶۵	۳۹۹۹	۵
٪۶/۹۳	۱۵۴۳	۱۴۴۴	۶
٪۶/۷۵	۴۶۹	۶۲۰	۷
٪۴/۹۵	۱۰۶۶	۱۰۱۷	۸
٪۱/۹۵	۱۳۱۰	۱۲۴۶	۹
89/7٪	میانگین		

۱۲. سنجش توسعه کالبدی محدوده و حریم شهر چالوس در دوره طرح

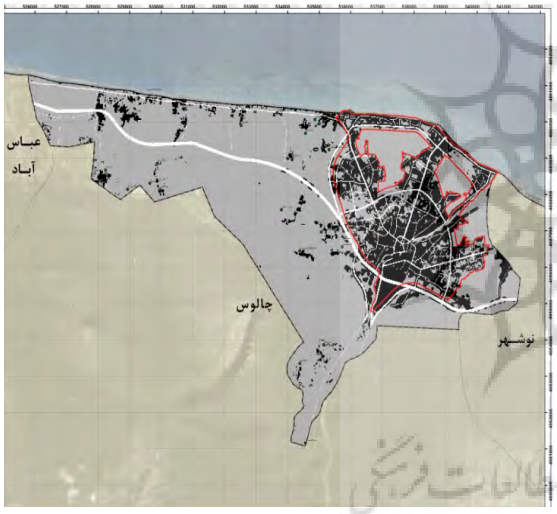
در این بخش مدل اتوماتای سلولی با ویژگی‌های مشخص شده بر روی محدوده مورد مطالعه در ۱۰ دوره زمانی دو ساله بر روی داده‌های سال ۱۳۸۵ اجرا شده و مسیر رشد آتی شهر چالوس و حریم آن تا سال ۱۴۰۵ پیش‌بینی می‌گردد (تصاویر۱۱و۱۲و۱۳).



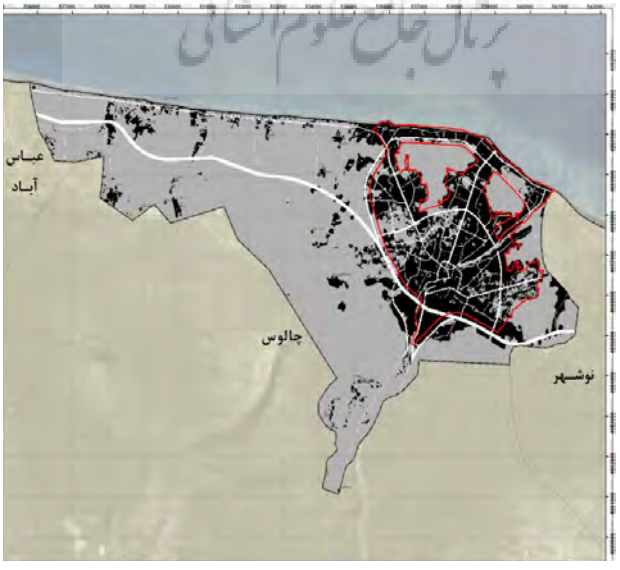
نمودار۱: مقایسه تعداد سلولهای رشد یافته وضع موجود ۱۳۸۵ و پس از اجرای مدل در هر ناحیه



تصویر۱۱: رشد شهر درابتدای دوره(۱۳۸۵)



تصویر۱۲: رشد شهر در میانه دوره (۱۳۹۵)

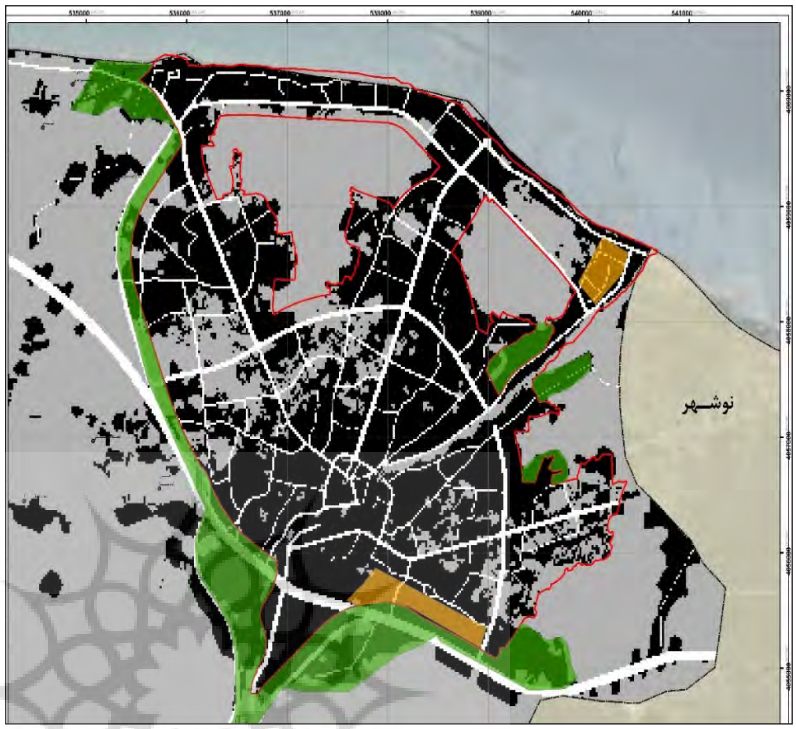


تصویر۱۳: رشد شهر در پایان دوره (۱۴۰۵)

۱۳. پیش‌بینی مسیر رشد آتی شهر چالوس

پس از سنجش توسعه کالبدی شهر چالوس در دوره ۲۰ ساله پژوهش، در این بخش به پیش‌بینی مسیر رشد آتی پرداخته خواهد شد.

همان‌گونه که در تصویر ۱۳ مشاهده می‌شود، رشدهای آتی شهر به دو صورت توسعه درونی و بیرونی رخ داده است. توسعه درونی به میزان اندکی در بخش شمالی محور کمربندی شهر و همین طور در کنار محور منتهی به دریا رخ داده است.. اما بخش مهم رشد آتی شهر که در تصویر با رنگ سبز نشان داده شده، به صورت توسعه خارج از محدوده و در جنوب محور کمربندی رخ داده است.



تصویر ۱۴: مسیر رشد آتی شهر چالوس

۱۴. نتیجه‌گیری

عوامل بسیار زیادی در شکل‌گیری سیستم شهر و هدایت و جهت‌دهی آن مؤثر هستند. این عوامل گاه درونی و از سیستم‌های موجود در شهر می‌باشند، مانند شرایط زیست محیطی یا تصمیمات مدیران شهری و گاه خارج از سیستم شهر بر آن تأثیر می‌گذارند، مانند اقتصاد زمین و تصمیمات سیاسی. برنامه‌ریزی تعادل بخشی به عوامل مؤثر بر شهر می‌باشد؛ به نوعی که غلبه یک عامل بر دیگری می‌تواند پیامدهایی از قبیل رشد ناموزون را در پی داشته باشد. عدم تعادل میان اقتصاد زمین و تصمیمات مدیران شهری و یا عوامل زیست محیطی، رشد شهر را به سمتی می‌برد که تخریب محیط زیست را به همراه دارد؛ و یا رشد ناشی از تصمیمات سیاسی که با اقتصاد زمین همخوانی ندارد. در این مقاله سعی شده است تا حدودی بخشی از عوامل دخیل در رشد شهری، برای پیش‌بینی رشد آتی شهر به نوعی که توازن بین عوامل مؤثر بر شهر بر هم نخورد، دیده شود. شیب اراضی، فاصله از مناظر طبیعی، فاصله از رخدادهای زمین لغزش، پوشش اراضی، قابلیت اراضی و شبکه ارتباطی عواملی بودند که در پیش‌بینی رشد شهری با استفاده از مدل اتوماتای سلولی به کار گرفته شدند. پس از کلاس‌بندی معیارها و روی‌هم‌گذاری آنها، محدوده مورد مطالعه به سه بخش مناسب برای توسعه، تقریباً مناسب برای توسعه و نامناسب برای توسعه تقسیم شد. بنابراین وضعیت سلول در سه حالت کلی شبکه ارتباطی، اراضی توسعه یافته و اراضی توسعه نیافته تعریف شده که اراضی توسعه نیافته نیز خود به سه حالت مناسب برای توسعه، تقریباً مناسب برای توسعه و نامناسب برای توسعه و اراضی توسعه یافته نیز به سه حالت توسعه شهری و توسعه روستایی تقسیم شدند. با تدوین بیش از ۱۹۰ قانون ارتباط هر سلول با هشت سلول همسایه خود، تعریف شد. با اعمال این قوانین بر روی هر سلول، با توجه به ویژگی‌های سلول‌های همسایه، وضعیت سلول در انتهای دوره زمانی مشخص می‌گردد. با تقسیم شهر به نه قسمت و مقایسه سلول‌های توسعه یافته در سال ۱۳۸۵ پس از اجرای مدل و سلول‌های توسعه یافته سال ۱۳۸۵ در هر قسمت، دقت مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان صحت مدل در حدود ۹۰ درصد می‌باشد. یعنی نتایج حاصل از اجرای مدل ۹۰ درصد از واقعیت رشد شهری را نشان می‌دهد. بنابراین مدل بر روی شهر چالوس در یک دوره ۲۰ ساله از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۵ اجرا شد تا نتایج آن، رشد آتی شهر را با توجه به معیارهای زیست محیطی نشان دهد.

از دلایل انتخاب شهر چالوس، ویژگی‌های ارزشمند زیست محیطی این شهر و رشد روزافزون آن در دهه‌های اخیر بوده است. به همین دلیل دو پهنه اراضی زراعی در مرکز شهر (که خارج از محدوده شهر

به حساب می‌آیند) هدف مناسبی برای سوداگران زمین برای رشد آتی شهر می‌باشند. حال این سئوال مطرح می‌شود که برنامه‌ریزی شهری چه اقدامی می‌تواند انجام دهد تا جهت رشد آتی شهر را به سمت دیگری هدایت کند یا به عبارت دیگر، اگر بخشی از شهر به دلیل ارزش بالای زیست محیطی باید خارج از مسیر رشد قرارگیرد، پس مسیر رشد آتی شهر به کدام سمت باشد که علاوه بر تخریب حداقلی محیط زیست، از لحاظ موقعیت استراتژیک نیز مکان مناسبی برای سرمایه‌گذاری بخش خصوصی باشد؟ هدف این مقاله از به کاربردن عوامل مختلف کالبدی، زیست محیطی و منظر، پاسخگویی به این نیاز بوده است که رشد آتی شهر به سمتی پیش‌بینی شود که هم از منظر کالبدی توجیه داشته باشد و هم از منظر زیست محیطی.

پس از اجرای مدل بر روی محدوده و حریم شهر چالوس، مناطقی در جنوب شهر و در جنوب محور کمربندی شهر چالوس به عنوان توسعه بیرونی و مناطقی در قسمت شمالی شهر به عنوان توسعه درونی مناسب در نظر گرفته شدند.

Reference:

- Alberti M., and P. Waddell,2000. An integrated urban development and ecological simulation model:2
- Allen, P.M, 1997. "Cities and regions as evolutionary, complex systems. Geographical Systems,4 : 30
- Batty, M, 1997. "Cellular automata and urban form: a primer." Journal of the American Planning: 131-137.
- Batty, M, 1995. "New ways of looking at cities." Nature: 389.
- Batty, M., Yichun Xie, and Zhanli Sun,1999. "Modeling urban dynamics through GIS-based." (Computer,Environment and Urban Systems) 23: 212
- Clarke, K C, and L J Gaydos ,1998. "Loose-coupling a cellular automaton model and GIS:long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/ Baltimore." International Journal of Geographical Information Sciences, no. 12: 701-703.
- Couclelis, H ,1997. "From cellular automata to urban models: new principles for model development." Environment and Planning: 83.
- DiGregorio, S, et al ,1996. Cellular automata for freeway traffic simulation. In Artificial worlds and urban. Venice: DAEST : 214.
- Gardner, M ,1972. "The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game 'Life'." Scientific American, no. 233: 41.
- Langton, C G, D Farmer, T Toffoli, and S Wolfram ,1984. Self-reproduction in cellular automata. In Cellular Automata. Amesterdam: North-Holland: 51.
- Levy, S,1992. Artificial Life. New York: Vintage Books:116.
- Liu, Yan,2009. Modelling Urban Development With Geographical Information Systems and Cellular Automata. New York: Taylor & Francis:25-51.
- Nagel, K, S Rasmussen, and C Barrett,1997. Network traffic as a self-organized critical phenomenon. In Self-organization of complex structures: from individual to collective dynamics. New York: CRC Press :414.
- Portugali, J, and I Benenson,1995. "Artificial planning experience by means of a heuristic cell-space model: simulating international migration in the urban process." Environment and Planning, no. 27: 963.
- Ulam, S,1976. Adventures of a Mathematician. NewYork: Charles Scribner's Sons:116.
- Von Neumann, J,1966. The Theory of Self-reproducing Automata. Illinois: University of Illinois Press:4.
- Waddell, P, 2002. "Urbansim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning." Journal of the American Planning Association 68,3 :298
- White, R, and G Engelen,1994. "Cellular dynamics and GIS: modelling spatial complexity." Geographical Systems,1: 53-273.
- White, R, G Engelen, and I Uljee,1997. "The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics." Environment and Planning: 241.
- White, R,1998. "Cities and cellular automata." Discrete Dynamics in Nature and Society,2 : 32.
- White, R., and Engelen, G, 1997. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. Environment and Planning B: Planning and Design, 24:241
- Wolfram, S,1984. "Cellular automata as models of complexity." Nature, 311: 61-67.
- Wolfram, S,1983. "Statistical mechanics of cellular automata." Reviews of Modern Physics, no. 55 : 44-601.
- Rezazadeh razieh (PhD) and mirahmadi m, 2010. "Cellular automation model, a new method to simulate urban development" Fannavari-e-Amoozesh, 4th time, No 4: 48-55. [In Persian].