

مدل سازی تغییرات فضایی کاربری زمین و توسعه شهری با استفاده از مفهوم ماشین های سلولی^۱

محمد حسین شریف زادگان^۲

دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی

احمد رضا ابراهیمی^۳

کلیدواژگان: مدل کاربری زمین، ماشین های سلولی، مدل رگرسیون لجستیک.

چکیده

شناخت مکانیزم های رشد و توسعه شهرهای معاصر به سبب ماهیت غیر خطی و پیچیده شان از حیطة درک و تحلیل روش های سنتی مدل سازی خارج است. چرا که روش های سنتی عموماً ایستا، خطی، و مبتنی بر تئوری سیستم های ساده (بالا به پائین، کل به جزء یا قیاسی) اند. از این رو برای مدل سازی سیستم های پیچیده شهری، کشف روش های جدید مدل سازی که پویا، غیر خطی، گسسته، و پایین به بالا یا جزء به کل (استقرایی) باشند، ضروری می نماید.

پژوهش پیش رو سعی دارد به معرفی، تشریح، و به کار گرفتن یکی از تکنیک های متأخر، مطرح، و روزآمد این حوزه، یعنی مدل های مبتنی بر مفهوم نوین «ماشین های سلولی» بپردازد. این مدل که در اینجا برای درک قواعد فضایی دینامیک های رشد شهری به کار برده شده، از طریق تلفیق با ظرفیت های سیستم اطلاعات جغرافیایی و نزدیکی ذاتی با تصاویر ماهواره ای RS به عنوان رهیافتی جدید در مدل سازی فضایی مطرح است. مدل مذکور توسعه زمین و گسترش تاریخی شهر را بر پایه نزدیکی به بزرگراه ها، دسترسی به امکانات حمل و نقل

عمومی و خدمات، وضعیت کاربری های همجوار و... و بر اساس یک ساختار سلولی و شبکه ای^۴ منظم دست کم از طریق داده های دو مقطع زمانی و با استفاده از روش های مدل سازی احتمالات و فرآیندهای تصادفی، شبیه سازی می کند. قواعد ساده فضایی در این مدل به رفتارهای پیچیده تعمیم می یابد تا از طریق بازتولید تجریدی این قواعد، جستجوی تأثیرات ترکیبی سیاست ها و اقدامات برنامه ریزانه، فعالیت های جامعه، رفتارهای فردی و دیگر محرک های توسعه شهری را برای برنامه ریزان فراهم آورد. با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک می توان متغیرهای مؤثر در تغییرات فرآیند توسعه را تعیین کرده و بدین ترتیب برآوردی از مکانیزم تغییرات مورد اشاره به دست آورد.

در این پژوهش شهر سیرجان آزموده شده است؛ با این مدل روند توسعه شهر در دوره های مختلف از سال ۱۳۲۰ تا ۱۳۸۳ از نظر کارایی مکانیسم های مؤثر بر رشد شهر و تغییرات کاربری زمین و اهمیت نقش عوامل تأثیرگذار بر آن بررسی شده است.

۱. مقدمه

ساختار فضایی سیستم شهر برآیند تقابل زیرسیستم های فعالیتی مختلف آن است و تغییرات در ساختار فضایی آن ترجمان عینی

۱. این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم است با عنوان شبیه سازی رشد شهر با استفاده از مدل ماشین سلولی که به راهنمایی دکتر محمد حسین شریف زادگان، شهریورماه ۱۳۸۵ در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه بهشتی ارائه و دفاع شده است.
2. m_sharifzadegan@sbu.ac.ir
۳. کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری و منطقه ای، دانشگاه شهید بهشتی، نویسنده مسئول؛
areza.ebrahimi@gmail.com

پرسش‌های تحقیق پرسش‌های اصلی

۱. چه عوامل و قوانینی در توسعه شهر به‌ویژه شهرهای ایران مؤثر اند و آیا می‌توان توسعه شهر را به صورت معقول و مستدل با استفاده از روش‌های مختلف علمی تفسیر و پیش‌بینی کرد؟
۲. از انواع مدل‌سازی‌ها که با روش‌های مختلف در این زمینه یا حتی زمینه و تخصص‌های دیگر به کار گرفته شده، چگونه می‌توان بهره جست؟

پرسش‌های جزئی

۳. آیا می‌توان از تکنیک مدل‌سازی ماشین‌های سلولی (CA) برای شبیه‌سازی رشد و توسعه شهرها بهره جست؟
۴. اجزاء چنین ماشین‌هایی برای شهرهای ایران چگونه خواهد بود؟ چه عواملی را می‌باید به عنوان عوامل مؤثر بر رشد شهرها در قوانین تحول ماشین‌های سلولی به کار گرفت؟
۵. مزایای روش‌های مختلف ریاضی موجود برای تولید توابع این مدل به چه ترتیبی است؟
۶. چگونه و از چه راه‌هایی می‌توان این تکنیک مدل‌سازی را برای تولید یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS)^۵ در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار داد؟ اجزای سیستم به‌دست آمده، چه خواهد بود؟

تغییرات اجتماعی - اقتصادی است؛ به گونه‌ای که تمامی تغییرات پدیدآمده در فرآیندهای اجتماعی - اقتصادی نظیر خود را در ساختارهای فضایی (مانند تغییر کاربری زمین، جدایی‌گزینی فضایی و ترافیک) می‌بایند. درک و شناخت بهترین تفسیر از علل و چگونگی توزیع فضایی فعالیت‌های شهری و شناخت تحلیلی از چگونگی تأثیرات متقابل فعالیت‌ها، موضوعی حیاتی در پیش روی برنامه‌ریزان حمل‌ونقل و مدیریت شهری است.

شناخت مکانیزم‌های رشد و توسعه شهرها نیازمند درک صحیح فرآیندها و عوامل مرتبط با زیرسیستم‌های شهر، ساختار مدیریتی و برنامه‌ریزی آن و نیز شرایط محیط بیرونی حاکم بر سیستم شهر است. به منظور مدل‌سازی چنین سیستم‌های پیچیده شهری، مدل‌های مختلفی ارائه شده اند که انواع ماشین‌های سلولی^۶ را می‌توان از این دسته مدل‌ها به شمار آورد. با توجه به پرسش‌های تحقیق اهداف کلان مترتب بر پژوهش را می‌توان چنین بیان کرد:

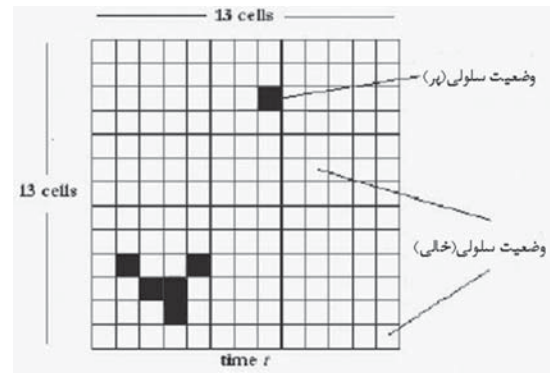
- شناخت و ارائه گونه‌ای از ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری که به ارزیابی اثرات فعالیت‌های جامعه، سیاست‌گذاری‌ها، تغییرات کاربرد زمین، و دیگر محرک‌های مطرح بر توسعه و رشد فضایی شهر از طریق مدل‌سازی می‌پردازند.
- و بر این اساس اهداف خرد ذیل را نیز می‌توان در ادامه هدف کلان یادشده در بالا ارائه کرد:
- مقایسه و معرفی روش‌های مطرح مدل‌سازی مورد استفاده در ادبیات روز برنامه‌ریزی و ارائه روش دینامیک ماشین‌های سلولی.
- شناخت عوامل بومی مؤثر بر رشد فضایی شهرهای ایران از طریق به‌کارگیری روش ماشین‌های سلولی.
- تعمیم قابلیت روش مدل‌سازی ماشین‌های سلولی از طریق تلفیق آن با قابلیت تحلیل فضایی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۷ و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای RS^۸.

۲. ماشین‌های سلولی

مفهوم ماشین‌های سلولی (CA) اولین بار توسط ون نیومن^۹ و استانیسلاو یولام^{۱۰} در اواخر دهه ۱۹۴۰ میلادی ارائه شد.^{۱۱} این مفهوم تکنیک (یا مدل) به

4. Grid
5. Decision Support System
6. Cellular Automata
7. Geographic Information System
۸. Remote Sensing مخفف به معنی سنجش از دور ماهواره‌ای است.
۹. مبدع نظریه game و از پیشگامان تئوری مکانیک کوانتوم.
۱۰. او انجام شبیه‌سازی بمب هیدروژنی به روش مونت کارلو را توسط یکی از اولین کامپیوترها به اتفاق ادوارد تلر به اجرا رساند.
11. Jiao, Junfeng, Transition Rule Elicitation for Urban Cellular Automata (Case Study: Wuhan China), p. 23.

مانند شبکه مربع یا دیگر ترکیبات اشکال منظم (هشت ضلعی، مثلث) تعیین می‌شوند.^{۱۹} وضعیت سلولی: مدل ماشین‌های سلولی پایه، اغلب فقط وضعیت‌های دو حالتی مانند ۰ و ۱ دارند، ولی می‌توان بسته به نیاز، وضعیت‌های بیشتری نیز تعریف کرد. به عنوان مثال، فن نیومن^{۲۰} در ماشین سلولی خود، ۲۹ وضعیت سلولی را ارائه کرده است.^{۲۱}



همسایگی: از تعامل هر سلول با همسایگی‌اش در غالب قوانین تحول، آن سلول می‌تواند تغییر وضعیت یابد. مدل‌های ماشین‌های سلولی مختلف، اندازه همسایگی و ترکیب و شکل مختلفی به خود می‌گیرند. مشهورترین همسایگی در ماشین‌های سلولی دوبعدی به کارهای مور^{۲۲} و کانوی^{۲۳} و نیومن برمی‌گردد. زمان: زمان در ماشین‌های سلولی ناپیوسته است. طول بازه و مقاطع زمانی ماشین‌های سلولی مختلف، متفاوت است. بنابراین، در بازه زمانی t تا $t+1$ ، ماشین سلولی تحول می‌یابد. قوانین تحول: این قوانین عموماً مبتنی بر روند (If, Then, Else) فرموله شده‌اند و به استناد الگوی همسایگی‌ها به تعیین ارزش سلول‌ها می‌پردازند. به عنوان مثال اگر اتفاقی در همسایگی یک سلول به وقوع بپیوندد، آنگاه تغییراتی نیز در سلول مورد نظر رخ خواهد داد.

لحاظ سهولت نسبی و انعطاف‌پذیری به سرعت در علوم مختلف به کار گرفته شده است. عمده‌ترین حوزه کاربرد این روش، شبیه‌سازی است. در مطالعات محیطی و شهری نیز این روش کاربردهای مختلفی پیدا کرده است. بیشتر مطالعات جهانی در این زمینه از نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ میلادی به بعد و نیز اوایل قرن حاضر، به دنبال کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور ماهواره‌های تحقیقاتی و پیشرفت نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای کامپیوتری و با کارهای مایکل بتی^۲، ولفرام وایت^{۱۳} و انگلن^{۱۴} انجام پذیرفته است که در وجه غالب به مدل‌سازی رشد و تغییرات کاربرد زمین و ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف، معطوف بوده است.

کاربرد مستقیم آنها در مدل‌سازی کاربری زمین از دهه ۱۹۹۰ توسط بتی^{۱۵} (۱۹۹۴)، کچینی^{۱۶} (۱۹۹۶)، کلارک^{۱۷} (۱۹۹۷)، وایت و انگلن (۱۹۹۷) و دیگران شروع شد. البته کاربردهای زیادی نیز در مدل‌سازی ترافیک شهری، و شبیه‌سازی آلودگی‌های هوا و آب نیز داشته است.

مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری، یکی از کاربردهای اصلی ماشین‌های سلولی دوبعدی هستند. برای مثال می‌توان وضعیت سلول‌ها را منطبق با حالت ممکن کاربری اراضی در سیستم شهر (مانند مسکونی، تجاری و صنعتی) یا در یک وضعیت (دودویی) مثل فضای مصنوع (شهری) و غیر مصنوع (غیر شهری)، تعیین کرد. همچنین می‌توان اندازه سلول و شکل و اندازه همسایگی‌ها را متناسب با دقت شبیه‌سازی و داده‌های موجود تعریف کرد.^{۱۸}

مفهوم و ایده ماشین‌های سلولی مبتنی بر پنج جزء اصلی است:

شبکه: در ماشین‌های سلولی اولیه، شبکه فضایی یک‌بعدی بود لیکن ماشین‌های طراحی‌شده برای مقاصد جغرافیایی مانند ماشین‌های سلولی مدل‌سازی شهری، عموماً در فضای دوبعدی تعریف می‌شوند. غالباً ماشین‌های سلولی در شبکه‌های منظم

12. Michael Batty
13. R. White
14. G. Engelen
15. M. Batty
16. Cechini
17. K.C. Clarke
18. T. Arai and T. Akiyama, Empirical analysis for estimating land use transition potential functions- case in the Tokyo metropolitan region, pp. 65.
19. P.M. Torrens, How Cellular Models Of Urban Systems Work (1-Theory), 2000, p.18 .
20. Van Newmann
21. D. P. Ward, A. T. Murray, et al., A stochastically constrained cellular model of urban growth computers, Environment and Urban Systems, p. 539.
22. Moore
23. Coneway

ت ۱. اجزای یک ماشین سلولی.

به طور کلی در مدل‌های ماشین‌های سلولی وضعیت آتی هر سلول تابعی است از وضعیت کنونی سلول (St) و ترکیب همسایگی آن (NB). بدین ترتیب فرمول تابع قانون تحول را می‌توان به صورت کلی زیر بیان کرد:

$$Tpt+1 = f(St, NB)$$

۱.۲. کاربردهای ماشین سلولی

در سال‌های اخیر کاربردهای فراوان ماشین‌های سلولی در علوم فنی، علوم زمین، اکولوژی، علوم انسانی و اقتصادی، علوم کشاورزی، هنر و به‌ویژه برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی، آن را به روشی شناخته‌شده بدل کرده است. به طور کلی ماشین‌های سلولی ساختارهای انتزاعی‌ای هستند که امکان مطالعه و بررسی جهان و سیستم‌های پیچیده‌اش را به صورت کاملاً مجازی فراهم می‌کنند.

با استفاده از ماشین‌های سلولی می‌توان رفتار عمومی سیستم‌های فیزیکی و بیولوژیکی را در جهان ساده‌شده‌ای تحلیل و بررسی کرد که کاربرد موارد زیر از آن جمله‌اند:

- شبیه‌سازی رفتار گازها؛ چرا که گازها از مجموعه‌ای مولکول تشکیل یافته‌اند که رفتار آنها بستگی به رفتار مولکول‌های مجاور دارد.
- شبیه‌سازی فرآیند تصفیه.
- شبیه‌سازی انتشار آتش در جنگل.

- مطالعه مغناطیس مطابق با مدل Ising؛ این مدل مواد را به صورت شبکه‌ای از گره‌ها در نظر می‌گیرد که در آن به هر گره یک وضعیت مغناطیسی داده شده است.

- شبیه‌سازی فرآیند کریستال شدن (تبلور).

- ماشین‌های سلولی در موارد مختلف می‌توانند به عنوان یک آلترناتیو در معادلات دیفرانسیل به کار گرفته شوند.
- ماشین‌های سلولی را می‌توان در زمره ساده‌ترین طرز نمایش سیستم‌های پویا دانست، به علاوه اینکه این

روش ذاتاً فضایی نیز هست. این دو ویژگی آنها را به عنوان یک ابزار مدل‌سازی مطلوب برای پویایی و دینامیک کاربری زمین مطرح ساخته است.

- کاربرد مستقیم و مخصوص ماشین‌های سلولی در مدل‌سازی تفصیلی کاربری زمین از دهه ۱۹۹۰ توسط مایکل بتی (۱۹۹۴)، کچینی (۱۹۹۶)، کلارک (۱۹۹۷)، وایت و انگلن (۱۹۹۷) و دیگران به کار گرفته شد.^{۲۴}

- چوبارد بی. و همکارانش (۱۹۹۶) کاربرد ماشین‌های سلولی را در بررسی مسائل ترافیکی به طور عینی نشان داده‌اند و با پیشرفت‌های علمی و کاربردی سال‌های اخیر، کاربرد آن در حل مسائل ترافیک عمومیت یافته است.^{۲۵}

۲.۲. مدل ماشین‌های سلولی شهری: کاربرد

ماشین‌های سلولی دو بعدی در سیستم شهری

مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری یکی از کاربردهای اصلی ماشین‌های سلولی دو بعدی‌اند. در واقع زمانی که ما به عناصر اصلی ماشین‌های سلولی، نظیرهای مشخص و تعریف‌شده سیستم شهر را بدهیم، مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری را تشکیل داده ایم. برای مثال می‌توان گستره شبکه^{۲۶} را مطابق گستره شهر شبیه‌سازی شده تعریف کرد. یا می‌توان وضعیت سلول‌ها را منطبق با حالت ممکن کاربری اراضی در سیستم شهر (مانند مسکونی، تجاری، صنعتی) و حتی ساده‌تر در یک وضعیت (دودویی) مثل فضای ساخته‌شده و ساخته‌نشده، تعیین کرد. همچنین می‌توان اندازه سلول و شکل و اندازه همسایگی‌ها را متناسب با دقت شبیه‌سازی و داده‌های موجود تعریف کرد. در انتها نیز قوانین تحول مطابق با سیستم شهر تعیین می‌شوند. در حقیقت فرآیند مدل‌سازی مورد اشاره، تغییر شکل از یک سیستم شهری به یک ماشین سلولی است.

مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری متناسب با اهداف

24. M. Batty, H. Couclelis, Eichen M, Special issue: Urban systems as cellular automata. Environment and Planning, p. 161 .

25. G. Engelen, R. White, et al. Constrained Cellular Automata models. Decision Support Systems in Urban Planning, p. 134.

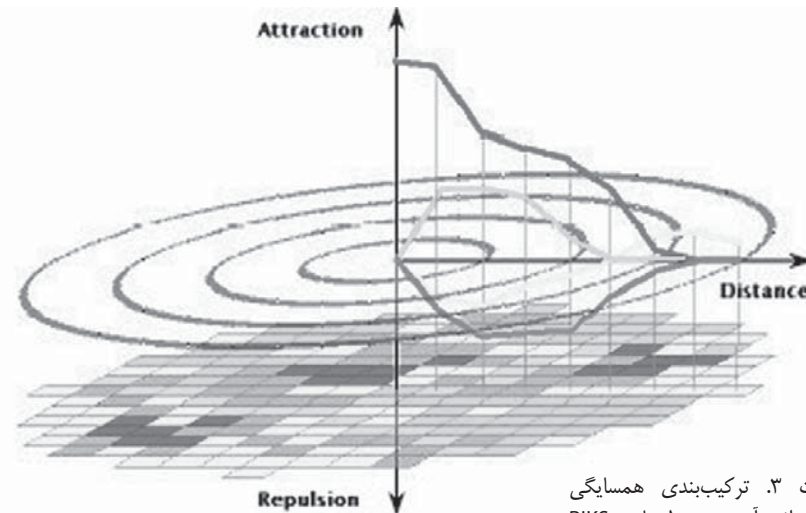
26. Lattice

33. R. White and G. Engelen, Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land use patterns, p. 1183.

۱.۲.۲ فرمول همسایگی در مدل RIKS (White, Engelen, 2000)^{۳۳}

$$N_j = \sum_x \sum_d w_{kxd} I_{xd}$$

در این فرمول پارامتر وزن داده شده به کاربری K در موقعیت x و به فاصله d از سلول مرکزی است. ضمن اینکه Ixd تابع دلتای Dirac است: 1=Ixd اگر سلول مرکزی دارای کاربری k باشد و در غیر این صورت 0=Ixd خواهد بود.



ت ۳. ترکیب بندی همسایگی و اثر آن در مدل های RIKS (Engelen, Uljee et. al, 1998).

۲.۳. استخراج (استنباط) قوانین تحول در مدل های ماشینی های سلولی شهری
۲.۳.۱. قوانین تحول (تغییر):

از آنجا که مدل های ماشینی های سلولی شهری، الگوهای مختلفی را برای توسعه شهری شبیه سازی می کنند، برخی از عوامل تأثیرگذار بر توسعه شهری را باید در قواعد پتانسیل تغییر در نظر گرفت. با مرور مدل های ماشینی های سلولی موجود می توان دید که عوامل مؤثر بر توسعه شهری را، که تاکنون شناسایی و ارزیابی شده اند، می توان در پنج گروه قاعده فرعی بدین شکل تقسیم بندی کرد: اثر همسایگی، اثر دسترسی پذیری، اثر مناسبت، اثر برنامه ریزی، و اثر اجتماعی - اقتصادی.^{۳۴}

به عنوان مثال اولین گروه از قواعد فرعی، اثر همسایگی^{۳۵} (NB) نام گذاری شده است که در آن ویژگی های همسایگی در مقیاس محلی در قوانین تحول یا تغییر ماشینی های سلولی شهری نمود می یابند. عموماً منظور از اثر همسایگی بر هم کنش میان سلول های همسایه است. از منظر شهری این اثرات همسایگی، مبین تأثیرات مختلف انواع کاربری های زمین بر یکدیگر است. این اثر را می توان با دو روش اندازه گیری کرد: تابع کاهش فاصله و دانسیته (تراکم) سلول های توسعه یافته.

اثر دسترسی^{۳۶} (AC) به آثار و تبعات میزان دسترسی سلول های شهری به سیستم ها و خطوط حمل و نقلی اشاره دارد؛ در حالی که در مقیاس وسیع تر، این اثر می تواند شامل دسترسی به برخی موقعیت های خاص شهری چون مرکز شهر، مراکز خدماتی، و زیرساخت ها نیز باشد. اثر آن می تواند با توجه به متغیر مسافت تا مرکز شهر یا توابعی از این دست فرمول بندی شود.

اثر مناسبت^{۳۷} (SU) نیز به اثر برخی از عوامل طبیعی نظیر شیب، ویژگی خاک، نواحی خطرهای طبیعی و غیره اطلاق می شود. مناسبت، در مقیاس وسیع تر، برخی از عناصر ساخته شده توسط انسان نظیر زیرساخت (خطوط ارتباط راه دور یا خط برق) را نیز در بر می گیرد.

		Functions			Features	
		■	■	□	■	■
F u n c t i o n s	Rule set ■					
	Rule set ■					
	Rule set □					

۲.۳.۲. استخراج قوانین تحول (تغییر):

می‌توان گفت قوانین تحول (تغییر) نوعی دانش درباره سیستم مورد بررسی است و استخراج قوانین تحول، نوعی کسب یا استخراج دانش محسوب می‌شود و به طور کلی این مرحله را می‌توان مرحله آموزش سازوکارهای سیستم شهر به مدل دانست. در این مرحله مقادیر و پارامترهایی نظیر ضرایب مدل به دست می‌آیند.^{۳۸} تاکنون برخی روش‌های مورد استفاده در استخراج قوانین تحول (تغییر) مشخص شده اند و مدل‌سازان ماشین‌های سلولی به استفاده از برخی روش‌های مدل‌سازی نظیر تحلیل رگرسیون، شبکه‌های عصبی ANN، MCE، منطق فازی و الگوریتم‌های ژنتیک روی می‌آورند که بر اساس این روش‌های به کارگرفته شده می‌توان مدل‌های ماشین‌های سلولی موجود را بسته به سطح عدم قطعیت و علیت به کارگرفته شده در آنها به مدل‌های با علیت سطح پایین و مدل‌های با علیت سطح بالا تقسیم‌بندی کرد.

۲.۳.۲.۱. مدل‌های ماشین‌های سلولی با علیت پذیری سطح پایین: در این مدل‌ها سطح علیت (درک فرآیند توسعه شهری) پایین است و اکثر آنها به جای کشف نتایج توسعه شهری، بر تکرار پیکربندی موجود در توسعه شهری متمرکز شده اند، لذا تعداد اندکی از آنها می‌توانند به عنوان ابزارهای پشتیبانی برنامه‌ریزی به کار روند.

— رگرسیون

— ANN مقادیر مربوط به قواعد پتانسیل تغییر را با مرحله

یادگیری شبکه عصبی

— منطق فازی

۲.۳.۲.۲. مدل ماشین‌های سلولی با علیت بالا: علیت در مقایسه با مدل‌های قبلی افزایش یافته است و فرآیند توسعه شهری به‌خصوص فرآیند تصمیم‌گیری مورد توجه بیشتری قرار گرفته است.

— روش سعی و خطا، تابع منحنی فاصله، مدل‌های RIKS

— روش MCE یادگیری شبکه عصبی

لذا به طور کلی فرمول قواعد تغییر در مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$TP_{DS(t+1)} = f(S_t, NB, AC, SU, PL, SE_{co})$$

St+1: وضعیت سلول در زمان افق (زمان t+1)

St: وضعیت کنونی سلول (زمان t)

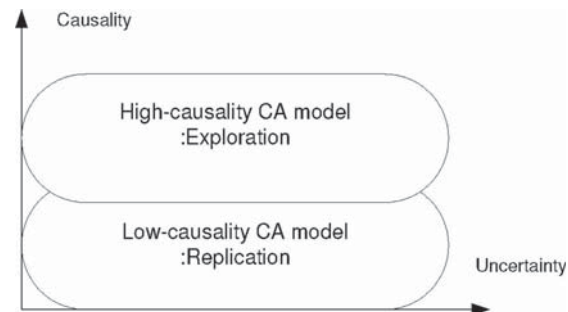
NB: اثر وضعیت همسایگی سلول

AC: اثر وضعیت دسترسی سلول

SU: اثر وضعیت مناسبت سلول برای هدف خاص مدل

PL: اثر مقررات و تبعات برنامه‌ریزی

SE: اثر شاخص‌های اجتماعی - اقتصادی



روش‌های استخراج قوانین	روش‌های کمی	روش‌های ارائه قوانین
روش رگرسیون	۱. روش رگرسیون (Sui, Wu, Zeng, 2001)	روابط آماری
روش ANN	۲. شبکه عصبی ANN (Li, Yeh 2002)	شبکه عصبی
AHP (فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی)	۳. Wu and MCE (Webster, 1998): مقایسه دو به دو - وزن‌دهی	قوانین تحول (معیارها) درخت سلسله‌مراتب
آزمون و خطا	۴. کالیبراسیون چشمی RIKS	تابع منحنی فاصله

34. Couclelis, H, cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation, p. 165.

35. Neighbourhood Effect

36. Accessibility Effect

۳۷. Suitabliy یا «مناسبت» واژه‌ای

مصطلح در ادبیات موضوعی مکان‌یابی و مدل‌سازی شهری است.

38. X. Li and A.G.O. Yeh,

Calibration of cellular automata by using neural networks for the simulation of complex urban systems, p. 1457.

ت ۴. مدل ماشین‌های سلولی

بر مبنای علیت و عدم قطعیت طبقه‌بندی می‌شوند:

(Jiao Junfeng, 2003).

ت ۵. ارتباط میان قوانین

تحول و ارائه آنها (روش‌های

استخراجی قوانین استفاده‌شده)

(JiaoJunfeng, 2003).

۳.۳.۲. تحلیل و مقایسه روش‌های استخراج قوانین تحول (تغییر) در مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری

– هر سه روش اول، روش‌های مبتنی بر داده هستند.

– میزان دقت و نتایج شبیه‌سازی روش ANN ارجحیت دارد.

– به لحاظ توانایی تفسیر نیز روش رگرسیون نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد.

– روش آزمون و خطا (RIKS) در مقایسه با روش‌های رگرسیون و ANN از قابلیت درک و تفسیر بالاتری برخوردار است. این روش کاستی‌هایی دارد: نخست اینکه قوانین به صورت موضوعی و ذهنی در نظر گرفته می‌شوند و دیگر آنکه زمان‌بر است.

– هیچ‌کدام از چهار روش فوق توجه زیادی به نظرات تصمیم‌گیرندگان و مردم ندارند.

۳. به کارگیری و کالیبراسیون مدل در نمونه موردی

در قسمت‌های پیشین، مبانی و پشتوانه نظری مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری به تفصیل بیان شد. بدین صورت که پس از بررسی جایگاه این مدل‌ها در فرآیند برنامه‌ریزی شهری، اجزاء این مدل‌ها و روش‌های مختلف یادگیری آنها یا همان استخراج قوانین تحول در آنها نیز ارائه شد. اکنون آنچه در اینجا بررسی می‌شود نحوه به کارگیری این مدل و فرآیند یادگیری و استخراج قوانین تحول (کالیبراسیون) آن در شبیه‌سازی رشد فضایی نمونه موردی (سیرجان) است.

۳.۱. معرفی نمونه موردی (شهر سیرجان)

شهر سیرجان در فاصله ۱۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان در پهنه دشت سیرجان جای دارد. پیشینه این شهر به دوره اشکانی می‌رسد و در زمره اولین شهرهای ایران است که

در سال ۱۳۰۶ دارای شهرداری بوده است. جمعیت ساکن شهر سیرجان در سال ۱۳۴۵ بالغ بر ۱۹۵۶۸ نفر بود، که به ۳۶۷۸۸ نفر در سال ۱۳۵۵ رسید و سپس با شتابی زیاد به ۹۰۰۷۲ نفر در سال ۱۳۶۵ افزایش یافت. به این ترتیب، جمعیت شهر در طول دوره ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۵ بیش از ۶/۹ برابر شده است. جمعیت شهر در سال ۱۳۸۳ معادل ۱۸۱ یا ۱۸۴ هزار نفر و در سال ۱۳۸۸، برابر ۲۲۶ یا ۲۲۲ هزار نفر برآورد شده است.^{۳۹}

وجود زمین‌های حاصلخیز و احداث قنوات بسیار، وجود قلعه‌های مستحکم پیرامون شهر در گذشته و باغ‌های پسته نسبتاً زیاد پیرامون شهر، سیاست‌های واگذاری زمین شهری، تبدیل سیرجان به شهر اقماری کرمان، و ساخت‌وسازهای عمدتاً دولتی از طریق تعاونی‌های ادارات و سازمان‌ها از دیگر عوامل مؤثر بر توسعه شهر در سال‌های گذشته بوده اند.

قدیمی‌ترین نقشه موجود شهر سیرجان مربوط به سال ۱۳۲۰ش، نخستین عکس هوایی آن (مربوط به سال ۱۳۳۵)، عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۵ و ۱۳۶۳ (تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری ایران) همراه با دو نقشه کاربری اراضی مقاطع زمانی ۱۳۷۴ و ۱۳۸۳، منابع اطلاعات پایه و اصلی مدل در شبیه‌سازی رشد شهر در طی دوران تکوین‌اش را تشکیل می‌دهند. شکل‌های «ت ۷» وضعیت این شهر را از منظر توسعه شهر در دو مقطع زمانی ۱۳۷۴ و ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. محدوده تغییرات عمده در این بازه زمانی در این نمودار مشخص شده است.

۳.۲. انتخاب چهارچوب مدل

از آنجا که هدف اصلی در وهله اول به کارگیری روش مدل‌سازی ماشین‌های سلولی و آزمون کارایی آنها در شبیه‌سازی رشد و توسعه شهرهای کشور است، لذا تأکید عمده این پژوهش بر اجرایی کردن این مدل و رفع مشکلات تکنیکی اولیه آن است. از سوی دیگر – همان‌گونه که در ابتدای این بند نیز بدان اشاره شد – علی‌رغم برتری مدل‌های با علیت بالای نوع دوم (نظیر ماشین‌های سلولی MCE)

۳۹. طرح تفصیلی شهر سیرجان، مهندسان مشاور شارمند، ۱۳۸۳.

۴۰. کرلینجر، پدهازر، رگرسیون چند متغیری در پژوهش رفتاری، ترجمه حسن سربابی، مرکز نشر دانشگاهی، ص.

ت ۶ عکس ماهواره‌ای شهر سیرجان در سال ۱۳۸۲.

در سال ۱۳۷۴ به صورت مجزا بررسی شد و مشخص شد که ۶,۷٪ سلول‌ها معادل ۲۷۱۹۱ سلول در زمرة معابر و راه‌های اصلی شهر و نیز ۱۴,۶٪ آنها در زمرة سلول‌های دارای وضعیت باغ و فضای سبز تشخیص داده شده اند.

از آنجا که تعریف سلول‌های بزرگ به کاهش دقت و علیت مدل و نیز درک نادرست مدل از سازوکارهای تغییر کاربری زمین شهری می‌انجامد، لذا سعی شد که اندازه سلول‌ها تا حد ممکن کوچک باشد. اما ذکر این نکته نیز ضروری است که انتخاب ابعاد کوچک‌تر می‌تواند سرعت کار مدل را کاهش دهد. با در نظر گرفتن جمیع این شرایط و نیز ارزیابی دیگر مدل‌های ماشین‌های

بر مدل‌های نوع اول (با علیت پایین) در تشخیص سازوکارهای مورد اشاره، از آنجا که نیازهای اطلاعاتی آن مدل‌های نوع دوم بسیار وسیع‌تر از اطلاعات در دسترس است و بالتبع تأمین نیازهای اطلاعاتی آن از جمله شناخت ذی‌نفعان توسعه، مستلزم استخراج داده‌ها و تهیه پرسشنامه‌های فراوان است، لذا در این مقطع که شبیه‌سازی گسترش فضایی شهر و نه تغییر کاربری‌های مختلف به یکدیگر، مد نظر است (یعنی وضعیت‌های سلولی در این حالت به دو وضعیت ۱ یعنی ساخته شده یا شهری شده و وضعیت ۰ یعنی ساخته نشده و غیر شهری تقلیل می‌یابد)، مدل‌های نوع اول نیز کفایت می‌کنند. و البته به منظور بالا بردن سطح علی و کاهش عدم قطعیت در این مدل‌ها، سعی شده با رویکردی تلفیقی عوامل برنامه‌ریزی و اثرات اجتماعی - اقتصادی را نیز در ساختار مدل لحاظ شود و مدلی متناسب با ساختار اطلاعاتی موجود کشور ارائه شود. هرچند موفقیت آتی مدل‌های ماشین‌های سلولی در گروه توسعه هرچه بیشتر مدل‌های نوع دوم است. بدین منظور روش رگرسیون یا مدل خطی تعمیم یافته - رگرسیون لوجستیک^{۴۰} به عنوان روش استخراج قوانین تحول در مدل این تحقیق انتخاب شده و ساختار آن را شکل می‌دهد.

محدوده کنونی شهر به عنوان حد تفکیک سلول‌هایی که در محاسبات مدل شرکت می‌کنند با سایر سلول‌های عکس - نقشه‌ها تعریف شد و ۴۰۶۱۷۷ سلول درون محدوده به عنوان سلول‌های آزمایشی انتخاب شدند. از این تعداد سلول مورد آزمون در سال ۱۳۷۴، تعداد ۲۷۹۴۳۵ سلول معادل ۶۸,۸٪ سلول‌ها در زمرة فضاهای ساخته‌نشده، باغ‌ها و معابر قرار داشته اند و دیگر سلول‌های واقع در محدوده در زمرة سلول‌های ساخته‌شده با ارزش عدد ۱ قرار می‌گیرند. از مقایسه این نتایج با نتایج عکس مقطع ۱۳۸۳ مشاهده می‌شود که در سال‌های پس از ۱۳۷۴، حدود ۱۰/۲٪ سلول‌های واقع در محدوده تغییر داشته و از حالت غیر شهری تبدیل به سلول‌های شهری شده اند. تعداد سلول‌های راه، باغ‌ها و فضای سبز، و سایر عوامل نیز



سلولی شهری بررسی شده در پژوهش، فضای شبکه‌ای مدل پیشرو، متشکل از سلول‌هایی در نظر گرفته شده است که عرض هر پیکسل آن ۱۰ متر از نظیر واقعی‌اش در شهر را در بر می‌گیرد. بدین ترتیب مدل مورد اشاره شبکه ۱۲۴۱×۸۷۷ پیکسلی را تشکیل می‌دهد. در این پژوهش با توجه به هدف و چهارچوب ارائه شده مدل، وضعیت‌های سلولی به صورت ۰ و ۱ یا سلول‌های توسعه یافته و توسعه نیافته، در نظر گرفته شده اند.

۳.۳. مدل رگرسیون لجستیک به عنوان قانون تحول

همان‌گونه که گفته شد به طور کلی فرمول قواعد تغییر در مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود:

$$TP_{DS(t+1)} = f(S_t, NB, AC, SU, PL, SE_{co})$$

St+1: وضعیت سلول در زمان افق (زمان t+1)

St: وضعیت کنونی سلول (زمان t)

NB: اثر وضعیت همسایگی سلول

AC: اثر وضعیت دسترسی سلول

SU: اثر وضعیت مناسبیت سلول برای برای هدف خاص مدل

PL: اثر مقررات و تبعات برنامه‌ریزی

SE: اثر شاخص‌های اجتماعی - اقتصادی

قوانین تحول در مدل‌های ماشین‌های سلولی عبارت‌اند از تعدادی الگوریتم خاص که یک سلول را از زمان t تا t+1 ارزیابی و متحول می‌کنند. مدلی که در این پژوهش ساخته می‌شود از عوامل مشابهی با عوامل مدل‌های موجود به عنوان عوامل مؤثر بر توسعه بهره می‌گیرد که این عوامل عبارت‌اند از همسایگی (تعداد همسایگی‌های واقع در همسایگی ۹×۹ مور تعمیم یافته سلول آزمون)، دسترسی (فاصله تا نزدیک‌ترین مسیر اصلی و فاصله تا مرکز خدمات شهری)، اثر برنامه‌ریزی (به صورت ۰ و ۱ به حذف و محدود ساختن توسعه در

برخی نواحی شهری می‌انجامد) و اثر اجتماعی - اقتصادی که به دو صورت در نظر گرفته شده است؛ از یکسو با محاسبه میزان مصرف زمین در هر سال و با فرض ثابت بودن یا نبودن این شرایط (سناریوهای مختلف) این اثرات به عنوان آستانه تغییر تعداد سلول‌ها در نظر گرفته شده‌اند. ضمناً از آنجا که بررسی روند ساخت‌وسازهای اخیر در شهر نشان‌گر تمایل به ساخت‌وساز در پیرامون یا محل زمین‌های با مالکیت دولتی و باغ‌های اطراف شهر است، وجود این عوامل در پیرامون سلول‌ها به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تغییر وضعیت سلول‌ها در نظر گرفته شده است.

مدل رگرسیون لجستیک^{۴۱} نمونه خاصی از مدل‌های خطی تعمیم یافته است که دارای تابعی S شکل و حدود مرزی (مثلاً ۰ و ۱) هستند.

در واقع تابع رگرسیون لجستیک مدل نوعی تابع تشخیص تغییر (۱) یا عدم تغییر (۰) سلول‌هایی که در مقطع اول غیر شهری (دارای ارزش عددی ۰) بوده‌اند. با شرکت تعدادی متغیر مستقل (عوامل مؤثر بر توسعه) است. پارامترهای مدل به صورت زیر تخمین زده شده‌اند:

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_6x_6 + \varepsilon$$

x_1 تا x_6 اثر اندازه‌گیری شده عوامل مؤثر بر توسعه و تغییر

سلول است و ضرایب تخمین شده (b_1 تا b_6) نیز سهم، نقش و اهمیت عوامل مؤثر بر تغییر وضعیت آتی سلول‌ها را بیان می‌کند. لذا از مقایسه این ضرایب می‌توان به اهمیت نسبی آنها دست یافت.

۴. به کارگیری مدل در نمونه موردی

همان‌گونه که گفته شد، روشی تلفیقی از تکنیک تحلیل‌های رگرسیون (مدل خطی تعمیم یافته رگرسیون لجستیک) با روش‌های با علیت بالا به عنوان روش منتخب برای به کارگیری در استخراج قوانین تحول مدل ماشین‌های سلولی رشد شهر سیرجان در این پژوهش برگزیده شد. لذا به منظور به کارگیری

ثبت هماهنگ نقشه‌ها در یک مقیاس، جهت و رنگ یکسان کاربردها) یکی از مراحل بسیار مهم در طی فرآیند آماده‌سازی اطلاعات محسوب می‌شود. چرا که جابه‌جایی، چرخش، یا عدم هماهنگی حتی ناچیز نقشه‌های مقاطع مختلف، باعث ایجاد خطاهای زیادی در محاسبات آتی خواهد شد. لذا توجه به دقت در این مرحله، حساسیت مضاعفی را می‌طلبد.

پس از این مرحله نقشه‌های مورد اشاره با یک مقیاس مشترک، تبدیل به عکس‌های مختصات‌داری شد که عرض هر پیکسل^{۴۵} آن ۱۰ متر از نظیر واقعی‌اش در شهر را در برمی‌گرفت.^{۴۶} در اینجا بود که تصویر کاربردهای مورد اشاره به منظور استفاده به عنوان ماتریس (آرایه)‌هایی که هر المان آن نشانگر نظیر فضایی آن در دنیای واقعی است، تهیه شد. بدین ترتیب تصاویر مورد اشاره شبکه‌ای^{۴۷} ۱۲۴۱×۸۷۷ پیکسلی به صورت تک‌رنگ سیاه‌وسفید (سفید، خاکستری‌ها، و مشکی)^{۴۸} را تشکیل می‌دهند. سپس این تصاویر به عنوان ورودی‌های اولیه مدل در نرم‌افزار مطلب، تبدیل به ماتریس‌های با المان‌های ۰ و ۱ (فضای ساخته‌نشده و ساخته‌شده) شد.

به صورت مشابه فرآیند فوق‌الذکر، برای تبدیل نقشه‌های عوامل مؤثر بر توسعه (گروه قواعد فرعی قوانین تحول) به ماتریس‌های ۰ و ۱ انجام گرفت. به عنوان مثال نقشهٔ عامل دسترسی تبدیل به ماتریسی شد که در آن دسترسی‌ها عدد ۱ و سایر سلول‌ها عدد ۰ به خود می‌گیرند و عوامل باغ‌ها و فضای سبز تبدیل به ماتریسی شد که باغ‌ها در آن دارای عدد ۱ و سایر سلول‌ها دارای عدد ۰ هستند.

۴.۱.۲. محاسبهٔ متغیرهای مدل برای استخراج قوانین تحول

در مدل خطی تعمیم‌یافته (رگرسیون لجستیک)، که به عنوان روش استخراج قوانین تحول در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد، ما با دو دسته متغیرها مواجه هستیم. ابتدا متغیرهای مستقل یا

مدل رگرسیون مذکور، ابتدا فرآیند کار مدل‌های ماشین‌های سلولی تلفیقی با رگرسیون که به عنوان گام‌های به‌کارگیری مدل در این پژوهش نیز به شمار می‌رود، ارائه می‌شود.

نخست تعدادی گروه قواعد فرعی (نظیر همسایگی یا دسترسی) انتخاب می‌شود. سپس بر اساس اهداف شبیه‌سازی و شناخت محلی ساختار شهر تعدادی عامل برای انعکاس اثرات این گروه‌های قواعد فرعی برگزیده می‌شود مانند اثر فاصله برای عامل دسترسی (این موارد در بند اجزای مدل ارائه شده است). پس از تعریف و تعیین این موارد که به صورت متغیرهای مستقل تابع رگرسیون بیان می‌شوند نقشهٔ کاربرد مقاطع مختلف با یکدیگر هم‌پوشانی می‌شوند تا سلول‌های تغییر یافته تعیین شوند. سلول‌های تغییر یافته عدد ۱ و سلول‌های تغییر نیافته عدد ۰ را به خود می‌گیرند. این عدم تغییر یا تغییر آن‌ها متغیر وابستهٔ تابع رگرسیون را می‌سازند. در پایان داده‌های متناظر با عوامل تعیین شده تأثیرگذار بر توسعه که قبلاً تعریف شده اند، ضرائب متغیرهای تابع رگرسیون را تعریف می‌کنند.

بر این اساس یک رابطهٔ آماری ساخته می‌شود و بدین ترتیب پتانسیل تحول هر سلول می‌تواند محاسبه شود. علاوه بر این با استفاده از تحلیل رگرسیون تقاضای زمین در هر سال را می‌توان محاسبه کرد. این تقاضا به عنوان آستانه تعداد تغییر در قواعد پتانسیل تحول به کار گرفته خواهد شد. قواعد پتانسیل تحول نهایی شده به صورت روابط آماری ارائه می‌شود. همهٔ مراحل فوق‌الذکر از ساخت پایگاه داده‌ها تا اجرای مدل در نرم‌افزار MATLAB به صورت گام‌های زیر اجرایی شده است.

۴.۱.۱. ساخت پایگاه داده^{۴۲} و تحلیل اولیهٔ داده‌ها

۴.۱.۱.۱. تبدیل نقشه‌های مقاطع مختلف به ماتریس

ابتدا پس از تهیهٔ دو نقشهٔ کاربرد وضع موجود از دو مقطع زمانی (۱۳۷۴ و ۱۳۸۳)، این دو کاملاً از جهت مقیاس، جهت، و رنگ کاربردهای مختلف هماهنگ^{۴۳} شد.^{۴۴} این مرحله از کار (یعنی

42. Data Base

43. Co-Register

۴۴. این کار در نرم‌افزارهای Arc GIS و Photoshop قابل اجراست.

45. Pixel

46. Grid

47

48. Grayscale

پس بدین ترتیب می‌توان با تعریف ماتریس 7×7 کرنل (h) زیرتعداد همسایگی‌های سلول را شمارش کرد. این همسایگی در ارتباط با سلول‌های شهری یا سلول‌های فضای سبز و حتی سلول‌های دارای مالکیت دولتی تعریف می‌شود.

$$h = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

۴.۱.۴. محاسبه عامل دسترسی

عامل دسترسی که در این مدل در قالب یکی از عوامل مؤثر بر توسعه در رابطه قوانین تحول گنجانده شده است (نگاه کنید به بند ۲: اجزای مدل) توسط شاخص فاصله، اندازه‌گیری شده و به هر سلول آزمون نسبت داده می‌شود.

این شاخص فاصله برای عواملی که اثر دسترسی به آنها مد نظر است (نظیر معابر اصلی و مرکز خدماتی شهر) و چگونگی تولید ماتریس ۰ و ۱ آنها در قسمت ساخت پایگاه داده‌ها توضیح داده شد، بدین صورت محاسبه می‌شود که فاصله اقلیدسی هر سلول دارای ارزش ۰ از نزدیک‌ترین سلول دارای ارزش ۱ اندازه‌گیری شده و به سلول آزمون نسبت داده می‌شود. سلول‌های دارای ارزش عددی ۱ را در ماتریس راه‌ها، معابر اصلی تشکیل می‌دهند و این سلول‌ها در ماتریس مراکز خدماتی، محدوده‌های مشخص شده به این نام را شامل می‌شوند.

۵. نتایج مدل و تفسیر آن

همان‌گونه که گفته شد، روشی تلفیقی از تکنیک رگرسیون لجستیک به عنوان روش منتخب برای به‌کارگیری در استخراج قوانین تحول مدل ماشین سلولی رشد شهر سیرجان در این پژوهش برگزیده شد.

پیشگو که همان اندازه اثرات قواعد فرعی (عوامل مؤثر بر توسعه) برای هر سلول آزمون است و دیگری متغیرهای وابسته که همان تغییر یا عدم تغییر وضعیت سلول آزمون در مقطع زمانی دوم است که به صورت بردار ۰ و ۱ ارائه می‌شود. با این مقدمه در ادامه به روش محاسبه این متغیرها به صورت جداگانه پرداخت شده است.

۴.۱.۳. محاسبه عامل همسایگی

همان‌گونه که در معرفی اجزای مدل نیز ارائه شد، همسایگی تعریف شده در این مدل به صورت همسایگی 7×7 مور^{۴۹} تعمیم یافته است. لذا مسئله در اینجا محاسبه تعداد سلول‌های شهری واقع در این همسایگی است. حل این مسئله توسط اعمال فیلتر کرنل^{۵۰} به سلول آزمون صورت می‌پذیرد.

آرایه‌های این فیلتر که به صورت یک ماتریس مربعی تعریف می‌شود در آرایه‌های نظیرش در همسایگی سلول ضرب شده و حاصل جمع آن به سلول آزمون نسبت داده می‌شود. به عنوان مثال:

سلول آزمون و همسایگی آن

A_{11}	A_{12}	A_{13}
A_{21}		A_{23}
A_{31}	A_{32}	A_{33}

ماتریس کرنل 3×3

K_{11}	K_{22}	K_{13}
K_{21}	K_{22}	K_{23}
K_{31}	K_{32}	K_{33}

پس از اعمال فیلتر 3×3 ی فوق بر همسایگی سلول آزمون عدد A به صورت زیر محاسبه شده و به سلول آزمون نسبت داده می‌شود.

$$A = \sum_{i,j=1}^3 a_{ij} k_{ij}$$

ت ۷. نقشه‌های ۰ و ۱ سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۳.

ت ۸. تعداد سلول‌های دارای وضعیت‌های مختلف در سال ۱۳۷۴.

ت ۹. نتایج اجرای مدل در نرم‌افزار SPSS.

وضعیت سلول	ارزش عددی سلول‌ها	شهری و غیر شهری	سلول‌های راه اصلی		باغ‌ها و فضای سبز	
			تعداد	درصد	تعداد	درصد
سلول‌های ۱			۱۲۶۷۴۲	۳۱/۲	۲۷۱۹۱	۵۹۲۸۳
			۳۱/۲	۶/۷	۱۴/۶	
سلول‌های ۰			۲۷۹۴۳۵	-	-	-
			۶۸/۸	-	-	-

Descriptives
Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. DEVIATION
REC	201382	1	1	1.00	0.000
Y	201382	0	1	.10	.305
N_UR	201382	0	79	3.04	8.639
N_PR	201382	0	80	19.83	33.353
D_GR	201382	.00	223.08	48.2098	50.87516
D_SER	201382	56.80	568.60	272.4824	102.93231
D_STR	201382	1.00	199.25	41.3514	34.91189
Valid N (Listwise)	201382				

Logistic Regression
Case Processing Summary

Unweighted Cases ^a		N	Percent
Selected Cases	Included in Analysis	201382	100.0
	Missing Cases	0	0
	Total	201382	100.0
Unselected Cases		0	0
Total		201382	100.0

a.If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Ecoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

سلول‌های تغییر یافته عدد ۱ و سلول‌های تغییر نیافته عدد ۰ را به خود می‌گیرند این عدم تغییر یا تغییر آنها، متغیر وابسته تابع رگرسیون را می‌سازند. در پایان داده‌های متناظر با عوامل تأثیرگذار بر توسعه ضرائب متغیرهای تابع رگرسیون را تعریف می‌کنند.



(+) سلول‌هایی است که در مقطع اول غیر شهری (دارای ارزش عددی ۰) بوده اند که این تشخیص تغییر را با مشارکت دادن تعدادی متغیر مستقل (یعنی همان عوامل مؤثر بر توسعه) به انجام می‌رساند.
 پارامترهای مدل به صورت زیر تخمین زده شده اند:

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_6x_6 + \varepsilon$$

X_1 تا X_6 اثر اندازه‌گیری شده عوامل مؤثر بر توسعه و تغییر سلول هستند و به ترتیب عبارت اند از اثر همسایگی با سلول‌های شهری شده، اثر همسایگی با سلول‌های دارای کاربرد فضای سبز، اثر همسایگی با سلول‌های دارای مالکیت دولتی، اثر فاصله تا مراکز خدماتی شهر، اثر فاصله تا راه‌های اصلی شهر و اثر فاصله تا راه‌های برون‌شهری.

ضرایب تخمین شده (b_1 تا b_6) نیز سهم، نقش، و اهمیت عوامل مؤثر بر تغییر وضعیت آتی سلول‌ها را بیان می‌کند، لذا از مقایسه این ضرایب می‌توان به اهمیت نسبی آن دست یافت به عنوان مثال می‌توان مشاهده کرد که:

عامل وجود سلول‌های شهری در همسایگی مور 9×9 تعمیم‌یافته هر سلول دلیل موجهی برای تغییر وضعیت آتی آن سلول به شمار می‌رود. اهمیت این عامل در مدل‌های ماشین‌های سلولی تقریباً بدیهی است، چرا که غالباً تمایل به ساخت‌وسازهای شهری در مجاورت ساخت‌وسازهای پیشین، بیشتر از تمایل به ساخت منفصل است.

ضریب مثبت عامل وجود زمین‌های دارای مالکیت دولتی در همسایگی سلول نیز مؤید اهمیت وجود اثرات این عامل در تغییر وضعیت‌های سلول است. نگاهی به روند ساخت‌وسازهای اخیر شهر نیز دلیلی بر این مدعاست، چرا که سیاست‌های زمین شهری و واگذاری زمین به تعاونی ادارات و ساخت‌وسازهای عمدتاً دولتی وجه غالب ساخت‌وسازهای شهر را تشکیل می‌دهد.

Classification Table^a

Observed	Predicted		Percentage Correct
	Y		
	0	1	
Step1 Y 0	180187	298	99.8
1	20721	176	.8
Overall Percentage			89.6

a. The cut value is 0.500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	N_UR	.038	.001	3341.953	1	.000	1.039
	N_PR	.014	.000	4166.672	1	.000	1.014
	D_GR	.002	.000	163.403	1	.000	1.002
	D_SER	.002	.000	612.121	1	.000	.998
	D_STR	.007	.000	852.812	1	.000	.993
Constant		-1.930	.023	6969.165	1	.000	.145

a. Variable(s) entered on step1: N_UR, N_PR, D_GR, D_SER, D_STR.

اکنون با انجام درجه‌بندی (کالیبراسیون) در گام قبل پارامترهای (ضرایب) تابع رگرسیون لجستیک مدل (بردار b) تعیین شد. حال با در دست داشتن این پارامترها به دو صورت می‌توان از تفسیر مدل استفاده کرد. این دو صورت توصیفی بودن یا پیشگو بودن مدل را تعیین می‌کند.

۵.۱. مدل توصیفی

در روش به کار گرفته شده برای کالیبراسیون مدل، ارتباط بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و نیز اتفاق افتادن یا نیفتادن تغییر در سلول‌های شرکت‌کننده (متغیرهای وابسته) در مدل از طریق متغیرهای مشاهده‌شده تعیین می‌شود. و در واقع تابع رگرسیون لجستیک مدل، نوعی تابع تشخیص^{۵۱} تغییر (۱) یا عدم تغییر

ساخت‌وساز در محدوده این کاربری خاص دانست و اگرچه ساخت‌وسازهایی در سال‌های اخیر در محل باغ‌های پیشین با خشکاندن این باغ‌ها صورت گرفته است، لیکن این ساخت‌وسازها عمده و غالب نیستند. لذا بر این اساس وجود باغ‌ها در غرب و جنوب غربی شهر مانند دیوارهای بر سر راه گسترش شهر به این قسمت‌ها عمل کرده اند.

۵.۲. مدل پیش‌بینی

هرچند استفاده از این مدل برای پیش‌بینی به دلیل نامعلومی‌های زیاد سیستم در آینده و لزوم فرض‌های متعدد جهت انطباق شرایط گذشته بر آینده سیستم در نگاه اول کارا به نظر نمی‌رسد، لیکن از طریق پردازش سناریوهای مختلف می‌توان تا حدودی بر این ضعف مدل نیز فائق آمد؛ بدین معنی که با شناخت عوامل اجتماعی و اقتصادی حاکم بر سیستم شهر می‌توان ارتباط معنی‌داری بین شاخص‌های مبین این عوامل و رشد سلول‌های تغییر یافته جستجو کرد و در گام بعد با فرض ثابت بودن روند گذشته در شرایط آتی سیستم یا ثابت نبودن و بالتبع تعریف سناریوهای دیگر به تعداد سلول‌های متغیر به عنوان آستانه تغییرات سیستم دست یافت.

به عنوان مثال روند ساخت‌وسازها و تغییر وضعیت سلول‌ها (از شهری به غیر شهری) در نمونه موردی در مقاطع ۱۳۲۰، ۱۳۳۵، ۱۳۶۲، ۱۳۷۴ در جدول «ت ۱۰» ارائه شده است و سعی شده با مقایسه رشد جمعیت متناظر این مقاطع، ارتباط منطقی این دو شاخص رشد (جمعیت و تغییرات تعداد سلول‌های شهری) تعیین شود.

ت ۱۰. سلول‌های شهری شده و جمعیت شهر در مقاطع مختلف.

سال	۱۳۲۰	۱۳۳۵	۱۳۴۵	۱۳۶۲	۱۳۷۴
تعداد سلول‌های شهری	۱۰۵۹۸	۱۸۴۷۳	۳۱۶۶۸	۱۰۲۶۴۳	۲۰۱۴۸۰
جمعیت در محدوده سرشماری	-	-	۱۹۵۶۸	۶۸۸۲۰	۱۳۵۰۲۴
(سلول شهری / جمعیت)	-	-	۰/۶۱	۰/۶۷	۰/۶۷

لذا اثر تجمع سلول‌های دارای مالیکت دولتی (در نمونه موردی مشتمل بر زمین شهری، شهرداری، و معدن گل گهر و سپاه) در همسایگی سلول می‌تواند یکی از عوامل اولیه پتانسیل تحول آن به شمار رود.

از عوامل دیگری که پویایی تغییر کاربری زمین از غیر شهری به شهری را در خلال فرآیند شبیه‌سازی شده تحت تأثیر قرار می‌دهد، عامل دسترسی به راه‌ها و مراکز خدماتی شهر است که توسط نزدیک‌ترین فاصله به سلول‌های دارای این کاربری‌ها (راه و مرکز خدماتی) اندازه‌گیری شده است. ضریب منفی این عامل نشان‌دهنده جاذبه این عوامل برای تغییر وضعیت سلول‌هاست بدین معنی که با کوتاه‌تر شدن فاصله سلول‌ها تا شبکه‌های حمل و نقل و مراکز خدماتی احتمال تحول (تغییر وضعیت) آن‌ها افزایش می‌یابد. قیاس بین ضریب دو عامل دسترسی به راه‌های اصلی درون‌شهری و راه‌های برون‌شهری - که ارتباط شهر را بیرون آن تأمین می‌کنند - نشان‌دهنده این مطلب است که علی‌رغم اینکه اثر دسترسی به راه‌های درون‌شهری در افزایش پتانسیل تحول سلول‌ها نقش بااهمیتی دارد، راه‌های برون‌شهری دارای اثر معکوس (دافعه) بر پتانسیل تحول سلول‌ها دارد.

در اکثر مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری، عامل وجود و دسترسی به زیرساخت‌ها یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر پتانسیل تحول سلول‌ها در نظر گرفته شده است ولی در شهر سیرجان این مسئله مصداق چندانی ندارد. شاید علت این باشد که ساخت‌وسازها در این شهر در بسیاری از موارد بدون در نظر گرفتن وجود یا عدم وجود زیر ساخت‌ها و مطالعات امکان‌سنجی صورت می‌گیرد.

ضریب منفی عامل وجود باغ‌ها و فضای سبز در همسایگی سلول نیز نشان‌گر اثر دافعه یا اثر کاهش‌دهنده پتانسیل تحول این کاربری بر تغییر وضعیت سلول‌هاست. شاید این عامل را بتوان ناشی از وجود اثر برنامه‌ریزی یا وجود قوانین محدودکننده

۵۲. توسط مشاور تهیه‌کننده طرح جامع شهر.

ت ۱۱. نقشه پیش‌بینی احتمال تحول سلول‌ها.



اکنون با مشخص بودن ارتباط منطقی دو شاخص مورد اشاره، می‌توان به عنوان مثال از طریق برآورد یکی از شاخص‌ها مثل شاخص جمعیتی (که از مدل ماکروبی نظیر مدل پیش‌بینی جمعیت به دست می‌آید) به شاخص دوم (تعداد تغییرات سلول‌های شهری) در افق مدل دست یافت. البته واضح است که امکان در نظر گرفتن فرض‌های متعدد، سناریوهای متعددی را نیز تولید خواهد کرد. به

عنوان مثال تصمیم‌گیری در ارتباط با تغییر تراکم در برخی نواحی شهر، تعداد تغییرات سلول‌های شهری در این نواحی را عوض می‌کند. لذا می‌تواند به عنوان یک یا چند سناریو مطرح باشد. بدین ترتیب با محاسبه تعداد تغییرات محتمل سلول‌های شهری و نیز شناسایی نواحی مستعد برای توسعه محتمل، می‌توان به تخمین نیاز فضاهای مختلف شهری پرداخت.

در اینجا به منظور تسهیل محاسبات و نبود اطلاعات لازم فرض گردیده که نسبت جمعیت به سلول‌های شهری ثابت بوده و در ادامه همان روند گذشته (نظیر عدد $0/67$ فوق) باقی بماند. لذا بر این اساس می‌توان تعداد سلول‌هایی را که تغییر خواهند یافت از طریق جمعیت تخمین زده شده ده سال آینده شهر^{۵۲} (به عنوان ورودی از مدل ماکرو به مدل ماشین‌های سلولی) معادل ۹۸۴۶۹ تغییر، برآورد کرد.

از سوی دیگر پس از اجرا و آزمون کارایی مدل و فرمول پتانسیل تحول ساخته شده در گام قبل، می‌توان با اعمال فرمول پتانسیل تحول مورد اشاره به سلول‌های وضع موجود (سال ۱۳۸۳)، عدد پتانسیل تحول را برای هر سلول محاسبه کرد. این عدد پتانسیل تحول در واقع مقداری بین ۰ و ۱ را به خود می‌گیرد و از طریق آن می‌توان تغییر یا عدم تغییر سلول را در افق مدل برآورد کرد.

به روش‌های مختلفی می‌توان با عدد پتانسیل به دست آمده برای هر سلول در افق مدل برخورد کرد. به عنوان مثال و به طور ساده می‌توان محتمل‌ترین سلول‌های متغیر را ۹۸۴۶۹ سلول (تعداد سلول‌های متغیر محاسبه شده بر اساس شاخص جمعیت) دارای پتانسیل تحول بالاتر دانست و می‌توان حتی با طبقه‌بندی اعداد پتانسیل به دست آمده مثل طبقات محتمل، کمتر محتمل، و نامحتمل وضعیت آتی توسعه شهر را با فرض ثابت بودن برخی شرایط مورد اشاره، مورد ارزیابی، و فراقکنی (برون‌یابی) قرار داد. در نقشه‌های پیش‌بینی زیر به هر دو وجه مورد اشاره در فوق، یعنی تعیین محتمل‌ترین سلول‌های دارای پتانسیل تغییر و نیز طبقه‌بندی احتمال تغییرات توجه شده است:

شهر و حتی تغییر کاربری‌های شهری آن را ارزیابی کرده و در برنامه‌ریزی آتی آن لحاظ کرد. و بر این اساس جزء معدود مدل‌هایی است که می‌تواند به صورت میکرو، تغییرات در سطح یک سلول را از طریق ارتباط با مدل‌های ماکرو نظیر مدل‌های جمعیتی یا اقتصادی تفسیر و تعیین کند. لذا از تلفیق صحیح آن با مدل‌های ماکرو می‌توان به جامعیت مناسبی در طرح‌های جامع دست یافت؛ که این یعنی رسیدن به ارزیابی دقیق‌تری در زمینه وضعیت آینده یک شهر یا منطقه در طرح جامع آن شهر یا منطقه، به واسطه دربرگیری جوانب مختلف موضوع در مدل‌سازی با ماشین‌های سلولی.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با استفاده از مدل‌سازی ارائه‌شده می‌توان تحلیل‌های مناسب و کارآیی از مکانیزم‌های مؤثر بر رشد شهر و تغییرات کاربری زمین ارائه کرد و به درک بهتر و اهمیت و نقش عوامل اثرگذار بر توسعه کمک کرد. ضمن اینکه می‌توان با تغییر عوامل اثرگذار فرضی، نقش یا عدم نقش آنها را در فرآیند توسعه و تغییر ارزیابی کرد.

بر اساس یافته‌های پژوهش، ویژگی عمومی مدل‌های ماشین‌های سلولی ارائه‌شده را به صورت زیر می‌توان برشمرد:

- حجم پایین داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز نسبت به سایر مدل‌ها؛

- پویایی و دینامیک بودن آن؛

- ملحوظ نمودن و در نظر داشتن بسیاری از نظریه‌ها، مدل‌ها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی شهری به عنوان پشتوانه علمی و عملی؛

- مبنای ریاضی ساده (پایه ریاضی ساده و ماتریسی) که در عین حال کارآیی لازم را دارند؛

- ساده بودن و در عین سادگی توانا بودن بر انجام و حل مسائل پیچیده شهری؛

بر این اساس می‌توان ملاحظه کرد که سلول‌های دارای پتانسیل بالاتر تغییر عمدتاً در نواحی شمال غربی و جنوب شرقی آن واقع شده‌اند و گسترش شهر را به سمت توسعه خطی پیش می‌برند. بررسی امکانات و محدودیت‌های توسعه شهر نیز صحت این فرضیه را محتمل می‌سازد. چرا که در شمال شهر و در مجاورت محدوده قانونی موجود شهر تأسیسات نیروی دریایی قرار گرفته و در غرب این تأسیسات ایستگاه راه‌آهن سیرجان و منطقه آزاد تجاری سیرجان واقع شده است. این تأسیسات عملاً گسترش نواحی شهری را در این جهت غیر ممکن ساخته است. در جهت شمال شرقی و شرق نیز محدوده سقره تأمین آب آشامیدنی شهر گسترش را با محدودیت روبه‌رو ساخته است. این در حالی‌ست که طرح در دست اجرای آزادراه بندرعباس - سیرجان گسترش را با محدودیت روبه‌رو ساخته است. در بخش جنوب و جنوب غربی نیز اراضی کشاورزی و باغ‌ها، عناصر محدودکننده‌ای هستند که در صورت رعایت ضوابط مانند دیوارهای از گسترش شهر به این مناطق جلوگیری خواهند کرد. لذا نواحی شمال غربی و جنوب شرقی تنها نواحی ممکن باقی‌مانده خواهند بود که توسعه خطی را ایجاب خواهند کرد. و این در حالی‌ست که با توجه به روند تحولات اجتماعی و اقتصادی شهر در سال‌های اخیر و چشم‌انداز ادامه آن در سال‌های آتی - همان‌گونه که در پیش‌بینی و برآورد جمعیت نیز لحاظ شده - انتظار می‌رود موقعیت ممتاز شهر در منطقه، کانون جذب مهاجرت بودن آن را تقویت کرده و بالتبع نیاز به گسترش شهر تداوم خواهد داشت. لذا یگانه راه موجود افزایش تراکم جمعیتی و حداکثر استفاده از فضاهای باز و ناخالص درون نواحی شهری خواهد بود.

بدین ترتیب با ذکر نمونه فوق می‌توان ملاحظه کرد که علاوه بر استفاده توصیفی از مدل ساخته‌شده، می‌توان با ارائه سناریوهای مختلف (فرض شاخص‌های مختلف اجتماعی - اقتصادی، نظیر ادامه روند گذشته در آینده) وضعیت آتی توسعه

- جامعیت و توجه به تمام ابعاد برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری (فیزیکی، اقتصادی، و اجتماعی)؛
- توانایی خودکارسازی کامل در مدل (تمام مراحل از ورودی تا خروجی)؛
- انعطاف‌پذیری و هوشمندی (خبره^{۵۳}، و فازی^{۵۴})؛
- نسبت به جمع‌آوری داده‌های زمینی (استاتیک) در بلندمدت بسیار ارزان‌تر هستند.
- لذا امکان تبدیل شدن مدل‌های ماشین‌های سلولی شهری، به ابزار کمکی در اختیار تصمیم‌گیرندگان برنامه‌ریزی شهری برای مکان‌یابی، پیش‌بینی، ارزیابی سناریو، برنامه‌ریزی ترافیک، تعیین تراکم و شدت کاربری^{۵۵}های شهری در نواحی مختلف، انتقال نقش یا تغییر بهینه کاربری‌های زمین شهری، اجرای صحیح برنامه‌های کاربری زمین شهری، و همکاری بین سازمانی در جهت رسیدن به شهر پایدار را - که همگی از اهداف متنوع اقدامات برنامه‌ریزی شهری است - می‌توان کاربردهای عام این مدل‌ها در شهر دانست. ضمن اینکه برخی از دیگر کاربردهای متنوع و تفصیلی‌تر آن را نیز می‌توان در ادامه پیشنهاد کرد:
- ابزار کمکی در جهت تغییر بهینه و مطلوب کاربری‌های مختلف (برای مثال کاربری مسکونی به تجاری) با توجه به قوانین، شاخص‌ها، و معیارهای و استانداردهای شرایط محلی برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری؛
- امکان خرید و فروش زمین با کسب اجازه از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS)، ساخته شده توسط مدل مذکور مطابق با برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری؛
- امکان به‌کارگیری در استخراج ویژگی‌های روند رشد و توسعه شهرها از بعد شکل تاریخی و باستانی شهرها؛
- امکان تحلیل مکانی - فضایی سه‌بعدی و درک سازوکارهای تغییرات با در نظر گرفتن بعد ارتفاعی شهر به عنوان یک کد وضعیتی سلول‌ها؛
- امکان تأمین داده‌های خام مورد نیاز دانشگاه‌ها، مراکز

- علمی، سازمان‌ها، محققان، و حتی دیگر افراد جامعه؛
- مطابق نظریه‌های برنامه‌ریزی شهری در دنیای امروزی به سیستم‌های پشتیبانی برنامه‌ریزی پویا نیاز است که مطابق یافته‌های تحقیق می‌توان ماشین‌های سلولی را در رفع این نیاز اساسی به کار گرفت.
- امکان تولید نقشه کاربری زمین شهری به صورت آنی^{۵۶} و بی‌درنگ^{۵۷}، و رفع نیاز برنامه‌ریزان شهری و کاربران عام و خاص با توجه به قابلیت‌های زیاد آن؛
- مدل‌های ماشین‌های سلولی در سیستم برنامه‌ریزی زمین شهری می‌توانند به صورت پویا عمل کنند و ساده‌ترین حالت توسعه شهرها که به صورت پیوسته است را با قابلیت و کارایی مطلوب انجام دهند؛
- مدل‌های ماشین‌های سلولی با ارائه سناریوهای مختلف کاربری زمین شهری با توجه به استانداردها و ابعاد علمی برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری می‌توانند به حل مسائل و سیستم‌های پشتیبانی برنامه‌ریزی کاربری زمین کمک کنند. قابلیت‌های مذکور با استفاده از روش‌های فازی، شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های ژنتیک، فراکتال، و آشوب می‌تواند افزایش یابد.
- با این توضیح مدل‌های ماشین‌های سلولی با توجه به فرضیات ارائه شده می‌توانند قابلیت‌های بسیار متنوعی در جهت پیشبرد اهداف برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری در ابعاد مختلف ارائه کنند. و در این میان قسمت هسته اصلی آن (تعریف قوانین تحول و فرآیند ساخت بانک اطلاعاتی آن به‌ویژه در بعد مسائل کلیدی شهر با توجه به ایده‌های مطرح شده) جای کار فراوان دارد. لذا پیشنهادهای زیر می‌تواند جهت‌گیری‌های آتی پژوهش‌های مرتبط را تعیین کند:
- استفاده از ماشین‌های سلولی در مکان‌گزینی انواع کاربری‌ها و خدمات شهری (تأسیسات، پارک‌ها، دفن زباله با توجه به شاخص‌ها، و معیارها و استانداردهای

۵۳. سیستم‌های خبره برنامه‌هایی هستند که رفتار یک انسان متخصص در یک زمینه خاص را تقلید می‌کنند. این سیستم‌ها برای استدلال، از الگوهای منطقی خاصی استفاده می‌کنند که مشابه همان کاری است که انسان در زمان حل یک مسئله عمل می‌کند.

۵۴. Fuzzy System: سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد «گر-آنگاه» فازی تشکیل شده است.

۵۵. منظور از «شدت کاربری» میزان و تکرار مراجعه و استفاده از آن کاربری است.

شهرهای کوچک‌تر، و ترافیک) در سایر ابعاد شهری؛
 - آزمون نظریه‌ها و مدل‌های مختلف برنامه‌ریزی شهری (باغ‌شهرها، چنددهسته‌ای، کریستالر، جاذبه) و به‌ویژه برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری به وسیله ماشین‌های سلولی؛
 - ترکیب سایر سیستم‌ها و نرم‌افزارهای شهری با ماشین‌های سلولی؛ به عبارتی تلفیق ماشین‌های سلولی با دیگر نرم‌افزارها (مانند بسته‌های نرم‌افزاری What-If و UrbanSim)
 - تطبیق ماشین‌های سلولی با دیگر نرم‌افزارهای مرتبط با برنامه‌ریزی شهری یعنی یکسان سازی فرمت آن برای به‌کارگیری در نرم‌افزارهای دیگر (مثل Pajik)؛
 - ترکیب ماشین‌های سلولی با نظریه‌های مختلف آشوب و فرکتال متناسب با کاربردهای برنامه‌ریزی شهری و کاربری زمین شهری؛
 - به‌کارگیری ماشین‌های سلولی در تمام ابعاد برنامه‌ریزی شهری در جهت برنامه‌ریزی یکپارچه و جامع شهر.

G. Engelen, R. White, et al. (1997). Constrained Cellular Automata models. Decision Support Systems in Urban Planning, H. P. J. Timmermans. E & FN Spon, London,. This is the chapter 8 of the book: 125-155.
 X. Li, and A.G.O. Yeh, "Calibration of cellular automata by using neural networks for the simulation of complex urban systems" Environment and Planning A 33: 1445-1462, 2001.
 O, Sullivan David, Graph-based Irregular Cellular Automaton Models of Urban Spatial Processes, Examined by Professor Peter M. Allen, Canfield University and Professor David Unwind, Birkbeck College, University of London, Ph. D. supervisor Professor Michael Batty,

برنامه‌ریزی شهری)؛
 - تلفیق بعد ارتفاع در وضعیت‌های سلولی به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در قوانین تحول؛
 - استفاده از ماشین‌های سلولی برای ارزیابی سناریوهای مختلف شهری؛
 - استخراج قوانین تحول ماشین‌های سلولی متناسب با الگوی حقوق حاکم بر برنامه‌ریزی زمین شهری ایران و رفع موانع آن؛
 - ورود داده‌های RS راداری به سیستم مطرح‌شده برای بهنگام‌سازی خودکار سیستم ارائه‌شده در فواصل زمانی معین؛
 - تغییر ابعاد و اضلاع سلول‌ها برای اهداف خاص (شش‌ضلعی، چندضلعی، دایره‌ای) و یافتن اندازه و شکل همسایگی بهینه در ارتباط با کاربردهای مختلف شهری؛
 - مطالعه موردی در سایر ابعاد اقتصادی و اجتماعی؛
 - استخراج قوانین انتقال، پتانسیل انتقال و رفع تراجم به صورت جزئی‌تر و موردی (مثل: کاربری‌های خاص،

منابع و مأخذ

کرلینجر، پدهازر. رگرسیون چند متغیری در پژوهش رفتاری. ترجمه حسن سرایی. تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۴.
 T. Arai and T. Akiyama, "Empirical analysis for estimating land use transition potential functions- case in the Tokyo metropolitan region," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 28, pp. 65-84, 2004.
 M. Batty, H. Couclelis, Eichen M, Special issue: Urban systems as cellular automata. Environment and Planning B, 24, 159-164, 1997.
 Couclelis, H, "From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation". Environment and Planning B 24 (2): 165-174, 1997.

of urban land use patterns" Environment and Planning A
25: 1175-1199, 1993.

Jiao. Junfeng , Transition Rule Elicitation for Urban
Cellular Automata models (case study: Wuhan, China),
Thesis submitted to the International Institute for Geo-
information Science and Earth Observation in partial
fulfillment of the requirements for the degree of Master of
Science in Geo-Information Science and Earth Observation
with specialization in Urban Planning and Management,
China, Sep 2003.

University College London. (Centre for Advanced Spatial
Analysis (CASA)), 2000.

P.M. Torrens, How Cellular Models Of Urban Systems Work
(1-Theory), Centre For Advanced Spatial Working Paper
Series 28, 2000.

D.P.Ward, A.T. Murray, et al. , A stochastically constrained
cellular model of urban growth computers, Environment
and Urban Systems 24 (6): 539-558, 2000.

R. White, and G. Engelen. "Cellular automata and fractal
urban form: a cellular modeling approach to the evolution