Comparative Study of the Efficiency of the Urban Development Agent Based Model and Markov Chain Cellular Automata Model for Urban Development Simulation in the Neyshabur

Hasan Mahmoudzadeh[1*], Afsane Naghdbishi[2]

1- Associate Professor of Geography and Urban Planning, University of Tabriz

2-M.Sc of Geographic Information System and Remote Sensing, University of Tabriz

Mahmoudzadeh, H & Naghdbishi, A (2021). [Comparative study of the efficiency of the urban development Agent based model and Markov chain Cellular Automata model for urban development simulation in the Neyshabur]. *Geography and Development*, 19 (64), 291-314.

doi: http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6352

Received:30/10/2020
Accepted :01/05/2021

Keywords:
Urban Development, Agent Based Model, CA-Markov model, Neyshabour.

ABSTRACT

In recent decades due to the rapid and unplanned growth of cities, urban management has been faced with several issues, including models and patterns of urban development and the selection of optimal options for location. Neyshabour is known as the second most populous city in Khorasan Razavi province. Due to reduced rainfall and drought, agriculture has lost its prosperity and most of the rural population has migrated to the city.

Urban development research has been done by the ABM model using the factors affecting Neyshabour urban development. These factors include: the dominant position of desirable socio-Access-quality road access to green space and privacy watercourse Services and usage is taken into account. The ABM model is a set of independent factors with goals and capabilities that interact with each other. To validate the model, the Markov-cellular method based on Landsat 7 and 8 satellite images has been used for 17 years. Based on the results of urban development simulation using the ABM, the area of the urban area has increased from 2018 to 2035 with a growth rate of 19.8%, and in the Markov-cellular model, the area of the urban area from 2018 to 2035 with a growth rate of / Will increase by 23%. Accordingly, these results do not differ much from each other. The results show that in the implementation of these two models, The ABM model suggests that social influence is dominant class and carefully detailed model compared with Markov-cellular automation is acceptable

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1- Introduction

In recent centuries, an increase in the development of cities and the growth of urbanization, which has led to the rapid growth of the urban population, has greatly expanded and complicated issues related to cities (Acevedo etal,1996: 149). Cities are a complex combination of social, economic, and spatial elements. These elements have different impacts on the process of urban development and the interaction of these elements is very complex (JunFeng, 2003: 30). The complexity of urban systems makes it difficult to use older models for modeling, since they are static, linear, cumulative, interconnected and are based on the theory of simple top-down systems (Sadeghi etal.:2011:2).To gain a better understanding of urban systems, researchers use modeling and simulation methods, but due to the complexities of urban systems, the previous methods are not effective (Batty, 2005: 1996). Agent-based modeling creates the complex behaviors by putting simple components or factors together. Thus, these systems are known as a bottom-up method (Macal, North,

***Corresponding Author:**
Hasan Mahmoudzadeh
Address: Department of Geography and Urban Planning, University of Tabriz
Tel: +98 (04133392298)
E-mail: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

2008: 104). Land use change models are often measured by their degree of conformity with existing land use patterns, not by the degree of rationality of the processes forming these patterns. In general, an integrated multifactorial model describes GIS technology and remote sensing data and the interaction between factors. The evaluation process uses remote sensing data and ArcGIS software as the simulation operating system. Simulation of urban planning space and decision-making for urban development has been created through this model. The results of these evaluations can identify the problems arising from the management of non-structural urban planning and urban trend and logic and spatial decision planning can be improved (Zhang et al, 2013: 751).

2-Methodology

Development of any city requires providing appropriate facilities and infrastructure for its development and Neyshabour city is no exception in this regard. Thus, knowledge for the development of the city and its growth speed makes it possible to predict the needed infrastructure and facilities well. The present research was an attempt to examine urban development of Neyshabour city based on agent-based model and by using factors affecting urban development such as dominant social status factors, access route, desirable elements, quality of access to services, green space, and type of land use for 17 years. To validate this method, the Markov chains and cellular automata model based on Landsat 7, 8 satellite images are used, and the differences between the results of these two models are examined.

3-Discussion and Results:

The present study tried to use the agent as a powerful tool in modeling and simulating urban development to study the changes in urban land use at the city level and to use it as a powerful tool in urban development planning. Accordingly, a research was conducted in which agent-based and Markov chains and cellular automata models were used. Based on the results of comparing the two models, the Markov chains and cellular automata model is weaker than the agent-based model in reflecting system feedback, displaying spatial information and the effects of economic and social factors, the rules of displacing to neighboring cells. Also, the Markov chains and cellular automata model has a poor performance in modeling individual behaviors. In addition, the agent-based model has high dependency on input data, which increases the error rate in the model. In addition to the difficulty of entering data and displaying the output of the model or justifying the relationships between factors, the difficulty of programming to run the model for beginners are considered as weaknesses of the agent-based model. According to these results, the weaknesses of the agent-based model are less than the Markov chains and cellular automata model, but in general, the weakness and strength of these two models are determined by the goal of user of these models. Furthermore, due to structural constraints, cellular automata models require to be used in a cellular network, the cells should be square, while in agent-based model, the definition of any structure is permissible and can be implemented. Agents, unlike automata cells, can have a kind of understanding of the future and can move to achieve predetermined goals. It can be stated that in automata cells, there is a set of cells that all have fixed rules, but in the agent-based method, there is a wide range of factors and it cannot be assumed that all existing factors have the same rules and behaviors. However, this model here tries only to show urban development and has nothing to do with how much development depends on urban development rules and per capita of land uses. Since agent-based models describe the behaviors and interactions between them with a top-down system, they can also model the phenomena that have the characteristic of emergence (phenomena that are associated with unexpected behaviors and occur due to nonlinear relationships between components in some phenomena) and modeling is consistent with human understanding and perception of real phenomena (Komijani 2015: 101).

4-Conclusion

Since every modeling is a summary and simplification of the real world, models are used as a powerful learning tool. With the help of modeling, we can recognize many phenomena that may occur in the real world. In general, there is a good link between the GIS and the agent-based model in NetLogo software. Thus, we easily prepared the input data for modeling in a Raster-based GIS environment and entered them to simulation environment. The results of this model help planners and researchers to predict the future needs of the city and manage the urban issues.

Keywords: Urban Development, Agent Based Model, CA-Markov model, Neyshabour.

5-Refrence

- S. R Ahmadi Zadeh, Z. Karimzadeh Motlagh,“ Simulation of Urban Growth Using Automated Cell and Markov Chain (Case Study: Birjand City)”, 13th National Conference on Environmental Impact Assessment, Tehran, Iran Environmental Assessment Society ,(2015). (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F536367%2F&type=0&id=20543898
- Z. Alijani, F. Sarmadian,“ Introduction to validation methods of baseline models”, Fifteenth Iranian soil science congress, (2017) (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F729562%2F&type=0&id=20762787
- M. Bijandi, M. Karimi, “Modeling of land use change and development using factor: opportunities and challenges”, mapping engineering and spatial information,(1394) .(Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1602282&type=0&id=1486621
- M. A. Firouzi, A. Shojaeen, T. Ghanavati,“Agent analyzer; Modeling the underlying factor in GIS”, Narin Media,(2017) (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fdb.ketab.ir%2Fbookview.aspx%3Fbookid%3D2168365&type=0&id=31361693
- M. R Ghanei, “Develop a baseline model for assigning urban uses”, Master's Thesis, Khaje Nasir-e-Din Tusi University of Technology, Department of Surveying, 2010). (Persian). https://ganj.irandoc.ac.ir//#/articles/48f2d85f632537b99d75ef47aad44072/search/98283ece2f40e2cd6945e6e970811747
- R. Ghorabani, M. R. PourMohammadi, H. Mahmoud Zadeh,“ Environmental Approach in Modeling Land Use Change in Tabriz Metropolitan Area Using Multi-Temporal Satellite Images, Multi-Valuation Evaluation and Markov Markets Automatic Cells (1373-1417)”,Urban Studies Quarterly,2(8), PP:13-30, (2013) (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1321914&type=0&id=822452
- Z. Heydarizadi, A. R. Mohammadi,“Prognosis of Land Use Change in Mehran Plain Using the Model of Autonomous Cells-Markov ”, Scientific Journal of the Ecosystem of the Wilderness of the Year, Vol. 5, PP. 57-68 (2016) (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1557646&type=0&id=1510411
- F.Hosseinali, A. A. Al-Sheikh, F. Nooriyan (2012). Development of a Basis-Based Model for Simulation of Urban Land Use Development (Case Study: Qazvin)”. Regional Studies and Research Autumn Volume 4, Issue 14, (2012), (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1066536&type=0&id=923820
- N. Hooshangi, A. A. Al-Sheikh,“ Development of an operating system-based simulation system in rescue and rescue operations”, Geographical Information (Sepehr), PP.59-70, (1396) https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1772447&type=0&id=1754235
- M. Kamijani, R. Shad, “Simulation of Urban Development Process Using Basis Based Modeling Case Study of Mashhad”, Second National Conference on Geography and Geology, Tehran, Narcish Information Institute. (2015). (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F423552%2F&type=0&id=20425034
- M. Kamijani,“Simulation of optimal urban development and development using baseline modeling”, Master's thesis, Government - Ministry of Science Research Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Engineering (2011). (Persian). https://ganj.irandoc.ac.ir//#/articles/9af47bf8ae9032a61f1eb42bac742774/search/50455f088cf90b0166e03de07863ef4d
- H. Mahmoodzadeh, Kh. Davagan, S. A. Sadigzadeh Sadat,“.Using remote sensing and geographic information systems in order to simulate urban development. Case study: Mahabad city”, Geography and Urban Space Development, (2016) (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1691721&type=0&id=1681925
- M. R. PourMohammadi, “Urban land use planning”. Organization for the Study and Compilation of Humanities Books of Universitie(samt)(2015) (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=http%3A%2F%2Fsamta.samt.ac.ir%2Fcontent%2F13364%2F%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87%E2%80%8C%D8%B1%DB%8C%D8%B2%DB%8C-%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%DB%8C-%D8%A7%D8%B1%D8%A7%D8%B6%DB%8C-%D8%B4%D9%87%D8%B1%DB%8C&type =0&id=30796928
- F. Sarmadian, “An Introduction to Application of Baseline Models in Land Use ” 15th Iranian Soil Science Congress. (2017). (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F730368%2F&type=0&id=20762788
- S.T. Safavi, T. Abdollahi, E. Keramati, “A Place Assessment for Urban Development Using the SAW and GIS Method (Case Study of Meshkinshahr City)”, Fourth International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, University of Tehran Environmental Faculty .(2017). (Persian). https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F589957%2F&type=0&id=20606437
- Alqurashi, Abdullah F Lalit Kumar and Priyakant SinhaUrban Land Cover Change Modelling Using Time-Series Satellite Images: A Case Study of Urban Growth in Five Cities of Saudi Arabia. Remote Sens.(2016) 8(10), 838. https://doi.org/10.3390/rs8100838

- Acevedo, W., Foresman, T. W. and Buchanan, J. T. Origins &philosophy of building a temporal database to examine human transformation processes. roceedings, ASPRS/ACSM Annual Convention and Exhibition, Baltimore, MD, April 22-24, .(1996), Vol. I, PP.148-161. https://pubs.er.usgs.gov/publication/70202451
- Achmad,Ashfa, Sirojuzilam Hasyim, Badaruddin Dahlan, Dwira N. Aulia. Modeling of urban growth in tsunami-prone city using logistic regression: Analysis of Banda Aceh, Indonesia. Applied Geography 62 (2015) 237e246. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.001
- Batty, M (2005). Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics. Environment and Planning A,37: 1373-1394. https://doi.org/10.1068%2Fa3784
- Gilbert, N., Bankes, S (2002). Platforms & methods for agent-based modeling Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(suppl 3), 7197-7198. https://doi.org/10.1073/pnas.072079499
- Junfeng, J (2003). Transition Rule Elicitation for Urban Cellular Automata models. Case Study: Wuhan-China, MSc. Thesis, International institute for geo-information science and earth observation (ITC).The Netherlands https://www.academia.edu/download/50547525/Transition_Rule_Elicitation_Methods_for_20161125-6587-13grhp8.pdf
- Liu Xiaoping, Li Xia, Ai Bin et al (2006). Multi-agent systems for simulating and planning land use development. Acta Geographica Sinica, 61(10): 1101- 1112. (in Chinese). https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-DLXB200610011.htm
- Macal C. M, North M. J.(2004). Agent-based modeling and simulation: ABMS examples. In Proceedings of the 40thConference on Winter Simulation (PP. 808-884) . https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736060
- Malik. Ammar, Andrew Crooks, Hilton Root and Melanie Swartz. Exploring Creativity and Urban Development with Agent-Based Modeling Journal of Artificial Societies and Social Simulation 18 (2015), (2) 12 https://ideas.repec.org/a/jas/jasssj/2014-38-3.html
- Parker, D. C, T.Berger, and S. M. Manson. (2002). Agent-based models of land-use and land-cover change. LUCC Focus1 office, Indiana university https://www.academia.edu/download/40637428/Agent-Based_Models_of_Land-Use_and_Land-20151204-31035-1rocmiq.pdf
- Torrens, P. M. (2003). Cellular automata and multi-agent systems as planning support tools. In Planning support systems in practice (PP. 205-222). Springer, Berlin, Heidelberg. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24795-1_12#:~:text=DOI%3A-,10.1007/978-3-540-24795-1_12,-Instant%20PDF%20download
- Wolfram,S (2002). A new kind of science (Vol.5,P.130). Champaign, IL: Wolfram media. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.252.4404
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. MIT Press.
- Xia Li, Xiaoping Liu (2007). Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation, Journal of Environmental Management85(2007)1063-1075. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.006
- Zhang Jing, Wang Ke, Song Gengxin, Zhang Zhongchu, Chen Xinming, YU Zhoulu. (2013) Application of Multi-agent Models to Urban Expansion in Medium and Small Cities: A Case Study in Fuyang City, Zhejiang Province, China, Geogra. Sci. 2013 Vol. 23 No. 6. PP.754-764. https://doi.org/10.1007/s11769-013-0636-3

مطالعهٔ تطبیقی کارایی مدل توسعهٔ شهری عامل مبنا و سلول‌های خودکار زنجیرهٔ مارکوف در شبیه‌سازی توسعهٔ شهری نیشابور

دکتر حسن محمودزاده[1*]، افسانه نقدبیشی[2]

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۶۴، پاییز ۱۴۰۰
تاریخ دریافت : ۱۳۹۹/۰۸/۰۹
تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۲/۱۱
صفحات : ۳۱۴-۲۹۱

واژه‌های کلیدی:
توسعهٔ شهری، مدل‌سازی عامل مبنا، مدل مارکوف- سلولی خودکار، نیشابور.

چکیده

در دهه‌های اخیر، براثر رشد سریع و بدون برنامهٔ شهرها، مدیریت شهری با مسائل متعددی، ازجمله مدل‌ها و الگوهای گسترش شهری و انتخاب گزینه‌های بهینه در مکان‌یابی روبه‌رو شده‌است. شهر نیشابور به‌عنوان دومین شهر پرجمعیت استان خراسان رضوی شناخته می‌شود. با توجه به کاهش باران و رخ‌دادن خشکسالی، کشاورزی رونق خود را ازدست داده و اکثر جمعیت روستاها به شهر مهاجرت کرده‌اند. این عوامل باعث رشد سریع شهر در چند سال اخیر شده‌است. ازآنجایی‌که توسعهٔ هر شهر نیازمند امکانات و زیرساخت‌های مناسب برای پیشرفت آن است؛ بنابراین شناخت درجهت توسعهٔ شهر و سرعت رشد آن باعث پیش‌بینی بهتر زیرساخت‌ها و امکانات موردنیاز است.

پژوهش توسعهٔ شهری توسط مدل عامل مبنا با استفاده از عوامل تأثیرگذار بر توسعهٔ شهری نیشابور صورت پذیرفته است. این عوامل شامل: موقعیت غالب اجتماعی، مسیر دسترسی، عناصر مطلوب، کیفیت دسترسی به خدمات، حریم سبز و حریم مسیل و نوع کاربری در نظر گرفته‌شده‌است. مدل عامل مبنا مجموعه‌ای از عامل‌های مستقل با اهداف و قابلیت‌هایی که در تعامل با یکدیگر هستند تشکیل شده‌است. برای اعتبارسنجی مدل از روش مارکوف-سلولی خودکار براساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ و برای مدت ۱۷ سال استفاده شده‌است. براساس نتایج شبیه‌سازی توسعهٔ شهری با استفاده از مدل عامل مبنا مساحت منطقهٔ شهری از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۳۵ با نرخ رشد ۱۹/۸ درصد افزایش یافته است و در مدل مارکوف-سلولی خودکار مساحت منطقهٔ شهری از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۳۵ با نرخ رشد ۲۳/۱ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. بر این اساس، این نتایج با یکدیگر تفاوت چندانی ندارند. نتایج بیان‌کنندهٔ آن است که در اجرای این دو مدل برای توسعهٔ شهر نیشابور، مدل عامل مبنا نشان‌دهندهٔ تأثیر زیاد عامل طبقهٔ غالب اجتماعی است و اعتبار مدل عامل مبنا در مقایسهٔ آن با روش مارکوف-سلولی خودکار دقت قابل‌قبولی دارد.

مقدمه

در قرون اخیر، افزایش توسعهٔ شهرها و رشد شهرنشینی که موجب رشد بسیار زیاد جمعیت شهری شده‌اند، مسائل مرتبط با شهرها را به میزان بسیار زیادی گسترده و پیچیده کرده است (*Acevedo et al, 1996: 149*). شهرها ترکیب پیچیده‌ای از عناصر اجتماعی، اقتصادی، مکانی و... هستند که این عناصر تأثیرات گوناگونی برروی فرایند رشد شهری دارند و ارتباط متقابل این عناصر بسیار پیچیده است (*Jun Feng, 2003: 30*) پیچیدگی سیستم‌های شهری، استفاده از مدل‌های قدیمی برای مدل‌سازی را سخت می‌کند؛ زیرا آن‌ها ایستا، خطـی، تجمعی، به‌هم‌پیوسته و براساس تئـوری سیستم‌های سـاده بـالا بـه پـایین هسـتند (*صادقی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲*). به‌منظور به‌دست‌آوردن درک بهتر دربارهٔ سیستم‌های شهری محققان روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی را به خدمت می‌گیرند؛ اما به‌دلیل پیچیدگی‌های سیستم‌های شهری، روش‌های قبلی کارآمد نیستند (*Batty, 2005: 1375*). مدل‌سازی عامل مبنا، از قراردادن اجزا یا عامل‌های ساده در کنار هم به‌منظور ایجاد رفتارهای پیچیده استفاده می‌کند؛ ازاین‌رو این سیستم‌ها به‌عنوان یک روش پایین به بالا شناخته می‌شوند (*Macal, North, 2004: 104*). مدل‌های تغییر کاربری زمین اغلب ازطریق درجهٔ تطابق آن‌ها با الگوهای موجود کاربری زمین سنجیده

۱- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول) mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir
۲- کارشناس ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Afsaneh.naghdbishi@alumni.um.ac.ir

می‌شوند، نه با درجهٔ منطقی‌بودن فرایندهایی که این الگوها را شکل می‌دهند.

به‌طورکلی یک مدل چندعاملی یکپارچه، تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش‌ازدور و تعامل میان عوامل مؤثر را توصیف می‌کند. فرایند ارزیابی از داده‌های سنجش‌ازدور و نرم‌افزار ArcGIS به‌عنوان سیستم‌عامل شبیه‌سازی استفاده می‌کند. ازطریق این مدل، شبیه‌سازی فضای برنامه‌ریزی شهری و تصمیم‌گیری برای توسعهٔ شهری ایجاد شده‌است. نتایج این ارزیابی‌ها می‌تواند مشکلات ناشی از مدیریت برنامه‌ریزی شهری غیرساختاری را شناسایی کرده و روند و منطق شهری و برنامه‌ریزی تصمیم‌گیری فضایی می‌تواند بهبود یابد *(Zhang et al, 2013: 751)*

شهر نیشابور ازنظر جمعیتی به‌عنوان دومین شهر استان خراسان رضوی شناخته می‌شود. استعدادها و قابلیت‌هایی زیادی که در شهر وجود دارد باعث رشد سریع و پرشتاب آن در چند سال اخیر شده‌است. ازآنجایی‌که توسعهٔ هر شهر نیازمند فراهم‌ساختن امکانات و زیرساخت‌های مناسب برای پیشرفت آن است، شهر نیشابور نیز از این قاعده مستثنا نیست؛ بنابراین شناخت درجهت توسعهٔ شهر و سرعت رشد آن باعث پیش‌بینی هرچه‌بهتر زیرساخت‌ها و امکانات موردنیاز هست. در این پژوهش تلاش شده‌است توسعهٔ شهری نیشابور توسط مدل عامل مبنا با استفاده از عوامل تأثیرگذار بر توسعهٔ شهری همانند عوامل موقعیت غالب اجتماعی، مسیر دسترسی، عناصر مطلوب، کیفیت دسترسی به خدمات، حریم سبز و حریم مسیل و نوع کاربری برای مدت ۱۷ سال، شبیه‌سازی بررسی شود. برای اعتبارسنجی این روش از مدل زنجیرهٔ مارکوف- سلولی خودکار براساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ استفاده و تفاوت نتایج این دو مدل بررسی می‌شود.

پیشینهٔ تحقیق

در دهه‌های اخیر، براثر رشد روزافزون جمعیت، نیازهای خدماتی و به‌ویژه مسکونی، مدیریت شهری با مسائل متعددی، ازجمله مدل‌ها و الگوهای رشد شهری و انتخاب گزینه‌های بهینه در مکان‌یابی‌ها مواجه شده‌است. مدل‌های توسعهٔ شهری درواقع نمایشی ریاضی از سیستم‌های توسعهٔ شهری هستند. همچنین این مدل‌ها، جنبه‌های مختلف توسعهٔ سیستم شهری را در قالب ساده‌تر بیان می‌کنند *(کمیجانی، ۱۳۹۴: ۴۳)*. مشکل اساسی مدل‌های کلاسیک، درنظرنگرفتن شهرها به‌عنوان سیستم‌های پویا و تمرکز برروی مدل‌سازی شهری در یک نقطه و در یک زمان معیّن بود؛ بنابراین روش‌های کلاسیک باتوجه به‌پویایی شهری‌نمی‌توانستند به‌خوبی پاسخگوی پرسش‌های پژوهشگران باشند؛ از سوی دیگر چون این مدل‌ها اطلاعات و مشاهدات را در طول زمان موردبررسی قرار نمی‌دادند، امکان پیش‌بینی تغییرات در آینده برای آن‌ها امکان‌پذیر نیست. زاویهٔ دید در سیستم‌های کلاسیک به‌صورت بالا به پایین است که با واقعیت موجود در مسائل شهری همخوانی ندارد و باعث ایجاد مشکلات می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر مدل‌های کلاسیک در بیان پویایی‌های شهری،جزئیات مکانی و بیان روابط اجتماعی- اقتصادی ضعیف هستند *(قانعی، ۱۳۸۹: ۱۹، ۲۲)*.

بسیاری از محققان تاریخچهٔ مدل عامل مبنا را مربوط به بیش از ۴۰ سال پیش و نظریهٔ ماشین‌های سلولی متعلق به «استانسیلاو اولام»[1] می‌دانند *(فیروزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۹ به‌نقل‌از: Wolfarm, 2002)*. با گذشت زمان و گسترش کاربردها، به‌تدریج ناکارآمدی‌های اولیهٔ مدل عامل مبنا برطرف شد و این مدل در زمینه‌های مرتبط با مکان، ازجمله مدل‌سازی توسعهٔ شهری و کاربری اراضی، کارایی‌های زیادی پیدا کرد *(Torrens, 2003:206)*.

1-Stanislaw ulam

تاکنون پژوهش‌های داخلی و خارجی زیادی در زمینهٔ مدل‌سازی و شبیه‌سازی توسعهٔ شهری انجام گرفته است؛ ازجمله تأثیرگذارترین تحقیقات در این پژوهش می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: صفویان و همکاران (۱۳۹۶) برای تعیین مکان‌ها و جهت‌های مناسب برای توسعهٔ آتی شهر مشگین‌شهر براساس اصول آمایش سرزمین، از تعیین اراضی مناسب توسعهٔ شهری ازطریق متغیرهای طبیعی با استفاده از روش وزن‌دهی افزایشی ساده[1]، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک میزان تغییرات کاربری اراضی شهری و توسعهٔ آتی شهر مهاباد را با درنظرگرفتن معیارهای خطوط انتقال نیرو، مخاطراتی(گسل، زمین‌لغزش)، سازندهای‌زمینه‌شناسی، رودخانه و شیب در بازهٔ زمانی ۱۳۹۳-۱۳۶۵ و توسعهٔ آن تا سال ۱۴۲۰ با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ و ۵ موردبررسی قرار داده‌اند. احمدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) تلاش کردند با تلفیق مدل سلولی خودکار و زنجیرهٔ مارکوف و تکنیک‌های پردازش شیءگرا، مدلی مناسب درجهت مدل‌سازی فرایند رشد شهری ایجاد و با استفاده از آن به پیش‌بینی فرایند توسعهٔ شهری بیرجند بین سال‌های ۱۹۸۶و۲۰۱۰ بپردازند. کمیجانی و همکاران (۱۳۹۴) پژوهشی با هدف مدل‌سازی رشد و توسعهٔ شهری، با بهینه‌سازی نحوهٔ توزیع کاربری‌های اراضی شهری به‌منظور درک پویای سیستم شهری را در شهر مشهد انجام دادند. بدین‌منظور از تلفیق سیستم‌عامل مبنا و سامانهٔ اطلاعات مکانی بهره گرفته شده‌است. حسینعلی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی توسعهٔ مدلی عامل مبنا، برای شبیه‌سازی گسترش کاربری اراضی شهری در شهر قزوین بیان کرده‌اند: «پس از تنظیم پارامترهای مدل پیاده‌سازی‌شده، به شاخص کاپایی برابر با ۷۸/۱۷ درصد در پیش‌بینی صحیح مناطق توسعه‌یافته دست یافت که مقدار قابل‌توجه و مناسبی به شمار می‌رود. از ویژگی‌های دیگر این مدل، پیاده‌سازی آن روی یک منطقهٔ وسیع و با مقیاس منطقه‌ای است. نتیجهٔ این بررسی نشان داده که دقت مدل عامل مبنا در تخمین توسعه‌های صورت‌گرفته مناسب است و با توجه به ابعاد شبیه‌سازی، مدل به‌خوبی توانسته مناطقی را که دارای توسعهٔ سریع شده‌اند، تشخیص دهد».

قانعی (۱۳۸۹) در بررسی توسعهٔ مدل عامل مبنا به‌منظور تخصیص کاربری‌های شهری بیان کرد: با توجه به اینکه مدل‌سازی نوعی خلاصه‌سازی از جهان واقعی است. مسلماً هیچ مدلی نمی‌تواند همهٔ اجزای جهان را در نظر بگیرد و همواره بخش خاصی که مورد نظر طراح است، لحاظ می‌شود. این خلاصه‌سازی ارتباط مستقیم با اهداف و زمان و نیز هزینهٔ صرف‌شده در طراحی دارد. برای مسئلهٔ تغییر کاربری اراضی در مدل پیشنهادی این تحقیق از مدل‌های عامل مبنا و نرم‌افزارهای نت‌لوگو[2] و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده‌است. القورشی[3] و همکاران (۲۰۱۶) گسترش رشد شهر و تغییرات پوشش زمینی در پنج شهر عربستان را با استفاده از تصاویر لندست برای سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ مورد تحلیل قرار دادند. برای ایجاد نقشهٔ پوشش زمین از طبقه‌بندی و تجزیه‌وتحلیل تصویر با استفاده از روش شیءگرا[4] و روش‌های مدل‌سازی زنجیرهٔ مارکوف[5] و سلولی خودکار[6] و نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده استفاده کردند. آچمد[7] و همکاران (۲۰۱۵) مجموع هفت متغیر یا عوامل مؤثر بر رشد شهری، ازجمله دو جامعهٔ اقتصادی و پنج عامل بیوفیزیکی مربوط به ساحل باندا آچه-اندونزی[8] را

1-Simple Additive Weighting (SAW)

2-Netlogo
3-Abdullah F. Alqurashi
4-Object Based Image Analysis (OBIA)
5-Marcov Chain (MC)
6-Cellular Automated (CA)
7-Ashfa Achmad
8-Banda Aceh, Indonesia

شناسایی و مورد بررسی قرار دادند. بدین‌منظور برای تسهیل تجزیه‌وتحلیل از رگرسیون لجستیک استفاده کردند.

مالیک[1] و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند در بسیاری از شهرهای درحال‌توسعه، شهرنشینی سریع در حال گسترش است. به همین علت با ایجاد یک مدل مبتنی بر عامل[2] سبک که در آن عامل‌های تصمیم‌گیری ناهمگن و تحت شرایط خاصی با یکدیگر تعامل داشته باشد را بررسی کردند. لی و لیو[3] (۲۰۰۷) برای شبیه‌سازی توسعهٔ مسکونی در شهر گوانگژو[4]، در جنوب چین که به‌صورت سریع رشد کرده است از مدل‌سازی مبتنی بر عامل استفاده کرده‌اند. نتیجهٔ این بررسی نشان می‌دهد که شهرهای چین در حال انتقال سریع و تغییرات در اندازه‌های فیزیکی و ساختارهای عملکردی هستند. لیو[5] و همکاران (۲۰۰۶) محققان دانشگاه سان یات سن[6] در چین یک سیستم اطلاعات جغرافیایی خلاقانه ارائه دادند: چارچوب ترکیب سیستم چند عامل و سلولی خودکار، شبیه‌سازی شرایط زمین با چند عامل: رفتار، تصمیم‌گیری فضایی و قوانین در روند توسعهٔ سناریوهای برنامه‌ریزی مختلف شهری این نظریه، نقص در روند شبیه‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی را تا حد زیادی جبران کرد.

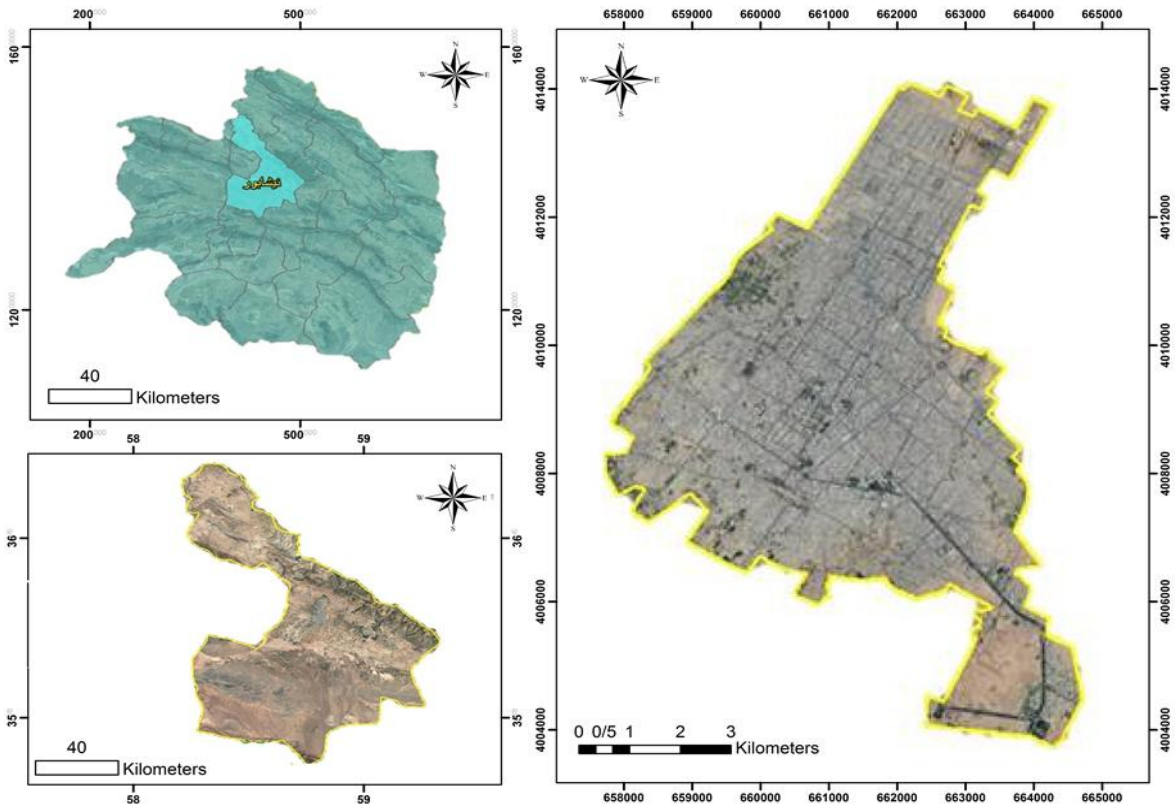
پارکر و همکاران (۲۰۰۲) بیان می‌کنند که هفت روش متداول مدل‌سازی درجهت تغییر کاربری اراضی وجود دارد که هریک دارای نقاط قوّت و ضعف هستند و هریک با توجه به مزایا و معایب خود می‌توانند درجهت حل برخی مسائل با توجه به شرایط آن‌ها مورداستفاده قرار بگیرند. این ۷ روش عبارت‌اند از: مدل‌های عامل مبنا، مدل سلول خودکار، روش‌های آماری، مدل‌های خبره، مدل‌های تکاملی، مدل‌های سیستمی و مدل‌های ترکیبی؛ بنابراین این محققان نشان داده‌اند که سیستم‌های عامل مبنا، ابزاری مناسب درجهت شبیه‌سازی و مدل‌سازی کاربری اراضی هستند. در تحقیقات پیشین، تنها عامل‌های اساسی و وابسته به زمین در نظر گرفته شده‌اند. اهمیت و ضرورت این بررسی در این است که بتوان تعداد عامل بیشتری که تعدادی از این عوامل وابسته به سلیقهٔ شخص است را در نظر گرفت.

محدودهٔ پژوهش

شهر نیشابور یکی از شهرهای بخش مرکزی استان خراسان رضوی است که بین ′۵۸ و ۱۹ دقیقه تا ′۵۹ و ۳۰ دقیقهٔ طول جغرافیایی و ′۳۵ و ۴۰ دقیقه تا ′۳۶ و ۳۹ دقیقهٔ عرض جغرافیایی در حاشیهٔ شرقی کویر مرکزی ایران واقع شده‌است. شهر نیشابور پس از شهر مشهد به‌عنوان دومین شهر پرجمعیت خراسان رضوی شناخته‌شده و خود شامل ۴ بخش، ۷ شهر و ۱۳ دهستان است.

شهر نیشابور از شمال به رشته‌کوه بینالود و شهر قوچان، از مغرب به شهر اسفراین و شهر سبزوار، از جنوب به شهر کاشمر و تربت حیدریه و از شرق به شهر مشهد محدود است. وسعت شهر نیشابور بالغبر ۸۷۲۲ کیلومترمربع بوده که معادل ۲/۹ درصد وسعت استان و ۰/۵۳درصد وسعت کل‌کشور است (شکل ۱).

1-Ammar Malik
2-Agent Based Model (ABM)
3-Li, Liu
4-Guangzhou
5-Liu et al
6-Sun Yat-sen



شکل ۱: موقعیت شهر نیشابور

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

شهر نیشابور در دامنه‌های بلندی‌های بینالود در شمال‌شرق ایران جای گرفته، از مهم‌ترین مراکز تاریخی، گردشگری، صنعتی برای کشور و منطقه هست و نمادی از تاریخ و فرهنگ ایران به شمار می‌آید. نیشابور در ۷۷۰ کیلومتری شرق تهران و ۱۲۷ کیلومتری غرب مشهد واقع شده و مسیر بین‌المللی ریلی و جاده‌ای از این شهر عبور می‌کند. نیشابور همچنین ازطریق جاده‌های محلی با شهرهای کاشمر، فیروزه، قوچان، کدکن، عشق‌آباد و تربت‌حیدریه ارتباط دارد. در سرشماری سال ۱۳۹۵ جمعیت نیشابور ۴۵۱۷۸۰ نفر بوده است که از این تعداد ۲۹۳۷۷۶ نفر (۶۵ درصد) در مناطق شهری و ۱۵۷۹۹۳ نفر (۳۵ درصد) در مناطق روستایی زندگی می‌کنند.

در حدود ۸۰۰ روستا در اطراف شهر نیشابور وجود داشته است که با توجه به کاهش باران در سال‌های اخیر و رخدادن خشکسالی، کشاورزی رونق خود را ازدست‌داده و اکثر جمعیت این روستاها به شهر مهاجرت کرده‌اند. این امر باعث رشد سریع شهر نیشابور شده‌است.

روش تحقیق

روش تحقیق استفاده‌شده در این پژوهش، توصیفی-تحلیلی، مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، اسنادی و پیمایش‌های میدانی و مُدلی خواهد بود. در این پژوهش برای بررسی توسعهٔ شهری نیشابور از روش مدل عامل مبنا استفاده شده‌است.

- مدل مارکوف- سلولی خودکار

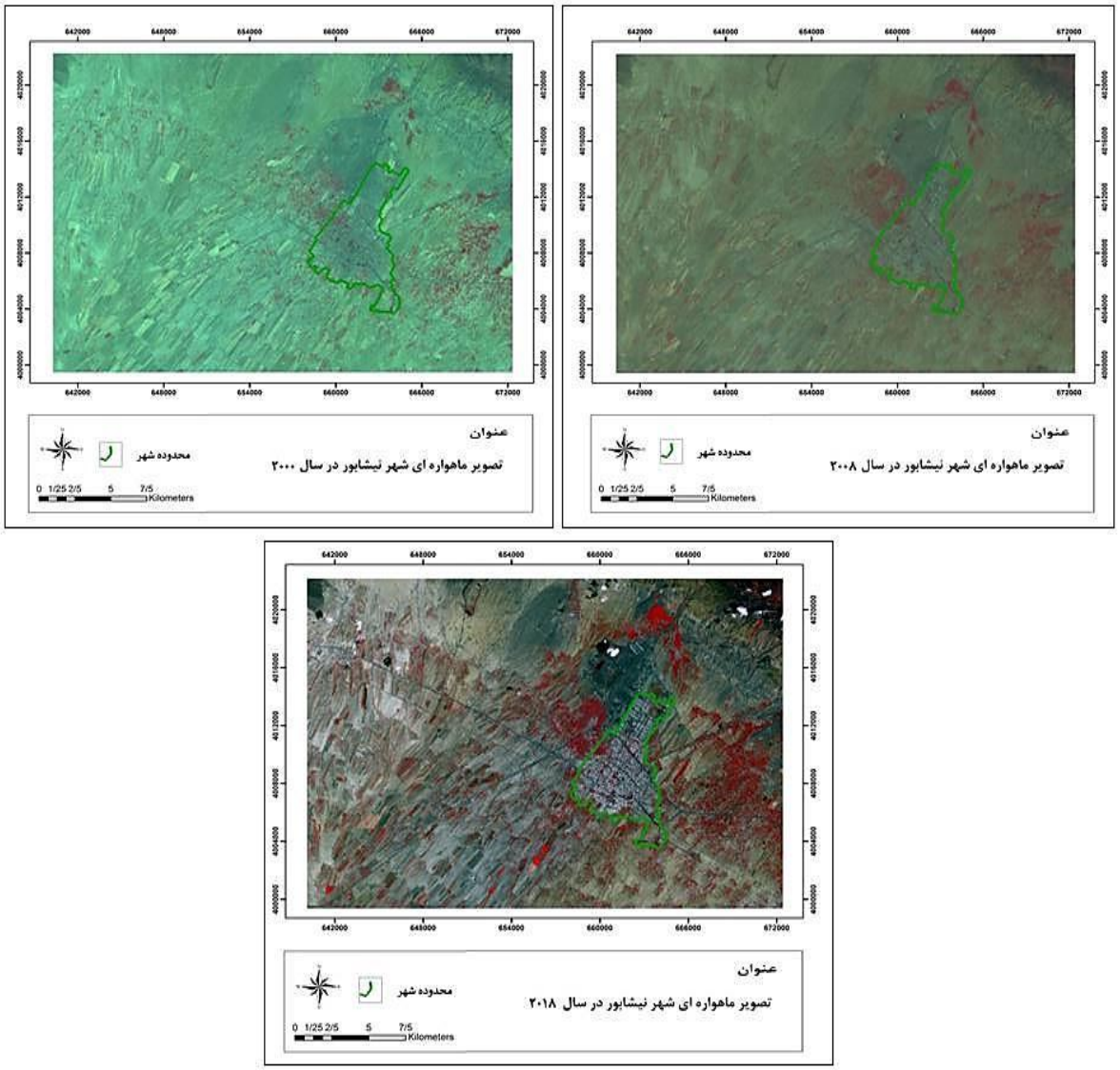
مدل مارکوف- سلولی خودکار تلفیقی از سلول‌های خودکار و زنجیرهٔ مارکوف است. زنجیرهٔ مارکوف و سلولی خودکار هر دو درواقع مدل دینامیک گسسته در زمان و موقعیت‌اند. مشکل ذاتی زنجیرهٔ مارکوف این است که اطلاعات و موقعیت مکانی را در نظر نمی‌گیرد. احتمال تبدیل ممکن است روی هر گروه پایه با صحت و دقت همراه باشد؛ اما فاقد دانش و آگاهی از توزیع مکانی تصادفی درون گروه کاربری زمین است و به عبارتی مؤلفهٔ مکانی در خروجی مدل وجود ندارد. به همین سبب از سلول‌های خودکار برای اضافه‌کردن مشخصهٔ مکانی به مدل استفاده می‌شود *(حیدری‌زادی و محمدی، ۱۳۹۵: ۶۱)*.

تحلیل زنجیرهٔ مارکوف به روش‌های تحلیلی فرایندهای احتمالی تعلق دارد. مارکوف یک فرایند احتمالی با مشخصات خاص است که آن را از دیگر فرایندهای احتمالی تمیز می‌دهد. برای یک سیستم بهرهٔ مجموعه‌ای از حالات گسسته (یا کلاس‌ها) S_1 و S_2 و... و S_n (انواع مختلف کاربری زمین) وجود دارد. این فرایند در یک‌زمان معین تنها می‌تواند یکی از این حالات را داشته و به‌طور پیاپی از یک حالت به حالت دیگر جابه‌جا شود. احتمال این جابه‌جایی به حالات کنونی بستگی داشته و به حالت‌های قبلی بستگی ندارد؛ این یک فرض مشخص از فرایندهای مارکوف است. احتمال جابه‌جایی از حالت i به حالت j احتمال انتقال Pij نامیده می‌شود و برای هر ترتیبی از سری حالات داده می‌شود. این احتمال‌ها می‌تواند به شکل ماتریس انتقال p نشان داده می‌شود *(قربانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۲)*.

$$P\text{-}\begin{bmatrix} p11 & p12 & \dots & p1n \\ p21 & p22 & \dots & p2n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ pn1 & pn2 & \dots & pnn \end{bmatrix}$$

- آماده‌سازی داده‌های موردنیاز در مدل مارکوف- سلولی خودکار:

تصاویر طبقه‌بندی‌شده مورداستفاده، تصاویر لندست سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ با سیستم مختصات و سیستم بیضوی همهٔ تصاویر WGS84 و UTM زون ۴۰ و ترکیب باندی ۴۳۲ و ۵۴۳ (ترکیب رنگی مادون‌قرمز) است (شکل ۲).



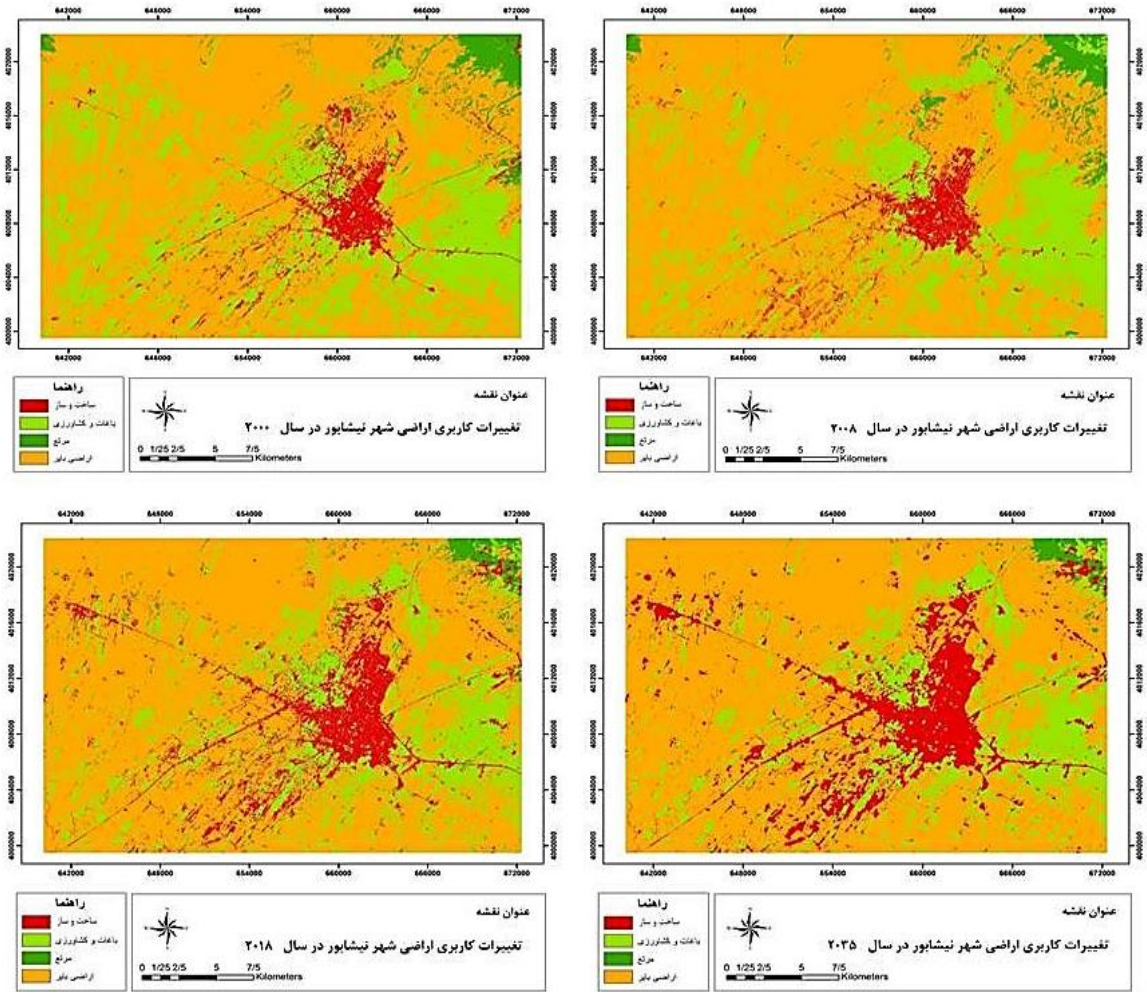
شکل ۲: تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

درمدل مارکوف- سلولی خودکار تصاویر مورداستفاده توسط نرم‌افزار انووی به لایهٔ کاربری اراضی با کلاس‌های: کشاورزی وباغات، زمین‌های بایر، زمین‌های شهری و روستایی و مرتع طبقه‌بندی شدند. پس از طبقه‌بندی تصویر برای ارزیابی دقت روش انجام‌شده، ماتریس خطا[1] ایجاد و دقت کلی محاسبه شد. سپس نقشه‌های کاربری اراضی به فرمت قابل‌استفاده در نرم‌افزار ادریسی تبدیل شدند.

پس از واردکردن تصاویر به ادریسی مدل مارکوف- سلولی خودکار برروی تصاویر طبقه‌بندی‌شده اجرا شد که نتیجهٔ نهایی آن به‌صورت زیر به‌دست آمد. نتایج طبقه‌بندی تصاویر و شبیه‌سازی مارکوف شکل ۳ است:

1-Error Matrix



شکل ۳: تغییرات کاربری اراضی نیشابور در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ و پیش‌بینی سال۲۰۳۵

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

در اینجا با بررسی مساحت انتقال‌یافته بین بازهٔ زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و مدل زنجیرهٔ مارکوف- سلولی خودکار مساحت ۴ طبقهٔ پوشش زمین در کاربری‌های موردنظر در سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی شد. براساس این مدل مساحت کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۳۵ نیشابور در جدول۱نشان داده می‌شود.

جدول ۱: درصد تغییرات کاربری‌ها در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۳۵

ردیف	کاربری زمین	۲۰۱۸	۲۰۳۵	تغییرات در افق ۲۰۳۵ به درصد
۱	ساخت‌وساز	۱,۳۴۰/۰۳۴	۳,۲۳۰/۰۳۴	۲۳/۱
۲	باغات و کشاورزی	۵,۶۸۰/۱۶۷	۴,۹۹۰/۱۷۳	-۱۱/۸
۳	مرتع	۴۱۱/۸۴۰	۳۰۲/۰۴۰	-۳۶/۳
۴	اراضی بایر	۱۷,۷۰۰/۲۱۳	۱۶,۴۱۰/۸۲۸	-۰/۵۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

- مدل عامل مبنا

مدل‌های عامل مبنا یک رهیافت جدید در مدل‌سازی هستند که با سیستم‌های پیچیده سازگارند. این مدل‌ها با تمرکز بر عوامل جزئی یک سیستم و شبیه‌سازی رفتار آن‌ها می‌توانند الگوهای کلان یک فرایند را نمایان سازند. هنگامی که عوامل جزئی یک سیستم توزیع شده باشند و تعاملات آن‌ها به‌صورت مکانی الگویی را تشکیل دهند، آنگاه روش عامل مبنا به‌عنوان یک چارچوب ایده‌آل برای مدل‌سازی مطرح می‌شود *(بیجندی و کریمی، ۱۳۹۴: ۱۱)*.

«در ابتدا لازم است عوامل شناسایی شوند؛ عوامل می‌توانند حیوانات، تروریست‌ها، قطعات زمین، کامیون‌های حمل بار یا هر چیزی که «تصمیمی می‌سازد» عملی انجام می‌دهد یا تغییر حالت می‌دهد، باشد. تصمیم‌سازی به این معنی به کار می‌رود: عوامل «این» عمل را به‌عنوان متضاد «آن» عمل انجام می‌دهند. مرحلهٔ بعد مربوط به کارکرد عوامل است؛ بدین مفهوم که آیا آن‌ها عملی را انجام می‌دهند یا عملی را انجام نمی‌دهند. یک عامل حیوانی ممکن است بدود، راه برود، بخورد یا بخوابد. یک قطعه زمین ممکن است از زمین کشاورزی به زمین ساخته‌شده تغییر یابد.

کنش یا رفتار یک عامل مبتنی بر آیتم‌های زیر است:

- وضعیت و حالت آن عامل که ممکن است فیزیکی یا ذهنی باشد یا هر مقیاس دیگری که بر تصمیم‌گیری آن عامل تأثیرگذار است.
- روابط متقابل آن عامل با سایر عوامل
- روابط متقابل عامل با جهان خارج

داده‌های مدل عامل مبنا مربوط به شهر نیشابور هستند که دارای بعضی نواحی متراکم جمعیتی (مراکز شهری و روستایی) و نواحی خالی از سکنه است. جمعیت مهاجر یا افزایش‌یافته، برروی نواحی خالی از سکنه فشار می‌آورد تا مسکونی شوند. در مدل توسعهٔ شهری، هریک از انواع کاربری‌های زمین (اداری، فرهنگی، ورزشی، آموزشی و...) به‌عنوان یک عامل در نظر گرفته شده‌است؛ اما برای جلوگیری از پیچیدگی زیاد، از داده‌راه‌ها در این مدل استفاده نشده و فاصلهٔ مستقیم در شبیه‌سازی استفاده شده‌است. همچنین وزن عامل‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه شده‌است که در توسعه و در انتها در اعتبارسنجی مدل تأثیر می‌گذارد.

- مراحل ایجاد سیستم شبیه‌سازی عامل مبنا

مراحل ایجاد شبیه‌سازی در این پژوهش به‌صورت زیر است:

تعریف اکستنشن سیستم اطلاعات جغرافیایی در نرم‌افزار نت‌لوگو

واردکردن لایه‌های ساخته‌شده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به نت‌لوگو

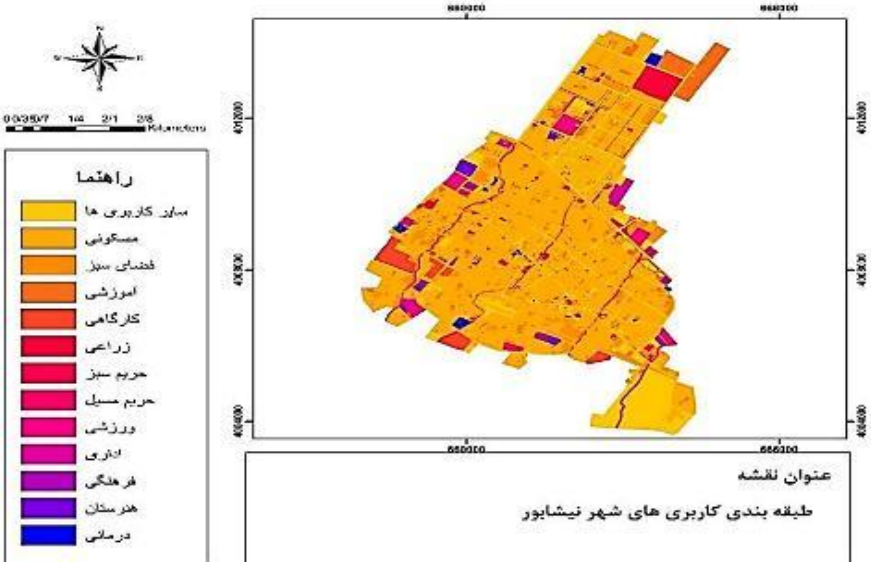
تعریف قواعد نمایش لایه و تنظیمات مربوط به نمایش عرصه‌ها

تعریف قوانین توسعهٔ شهری

تعریف قواعد خروجی نهایی

- آماده‌سازی داده‌های موردنیاز در مدل عامل مبنا

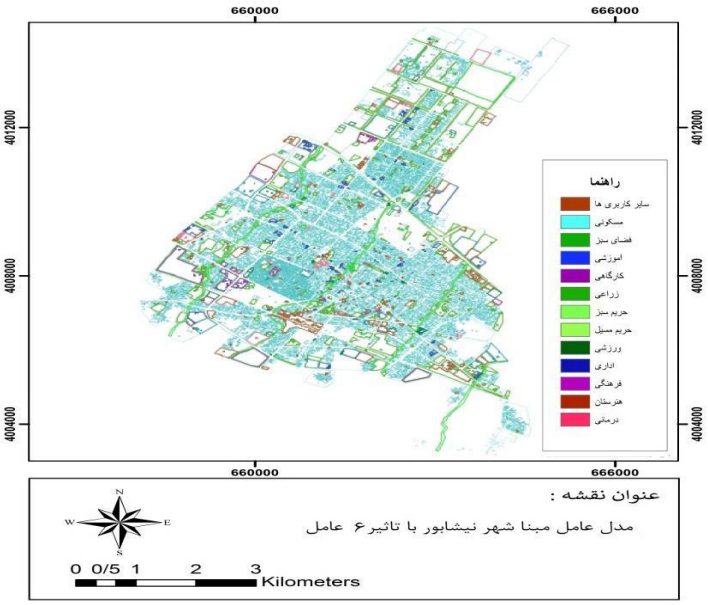
داده‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی در این پژوهش شامل لایه‌های املاک مسکونی، مراکز آموزش عالی و آموزش عمومی، فضای سبز، مراکز درمانی، زمین‌ها و سالن‌های ورزشی، ادارات و مراکز تجاری، فرهنگ‌سراها و مراکز فرهنگی، هنرستان‌ها، حریم‌های اطراف فضای سبز و بوستان‌ها، حریم کال‌ها و مسیل‌ها، زمین‌های زراعی داخل شهر، کارگاه‌های صنعتی و تعمیرگاه‌ها و سایر کاربری‌ها مانند تأسیسات و پارکینگ‌ها هستند. این لایه‌ها براساس طرح تفضیلی نیشابور در نرم‌افزار ArcGIS ساخته و به نرم‌افزار نت‌لوگو منتقل شده‌اند (شکل ۴).



شکل ۴: طبقه‌بندی عوامل در نرم‌افزار ArcGIS

تهیه و ترسیم: نگارندگان،۱۳۹۷

نرم‌افزار نت‌لوگو[1] توانایی پشتیبانی از داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارند و احتیاج به تغییرات دیگری در لایه‌ها نیست. داده‌ها در نرم‌افزار نت‌لوگو به‌صورت زیر نمایش داده می‌شوند (شکل ۵):



شکل ۵: نمایش داده‌ها در نرم‌افزار نت‌لوگو

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

1- Net Logo

نرم‌افزار نت‌لوگو

دسترسی به ابزارهای مدل‌سازی عامل مبنا و طیفی از مسائل که این ابزارها را به‌کار برده‌اند، به‌سرعت در دو دهۀ گذشته توسعه یافته است. به‌دلیل دامنۀ وسیع کنش‌هایی که عوامل می‌توانند به عهده بگیرند، بعضی برنامه‌ها نیاز به تعریف آن کنش‌ها دارند. مدل‌های عامل مبنا از زبان‌های برنامه‌نویسی شیءگرا، ازجمله: C++، جاوا یا Objective-C استفاده می‌کنند. جدا از سیستم اطلاعات جغرافیایی، چندین برنامۀ قابل دسترس برای شرکت در ساخت مدل‌های عامل مبنا وجود دارد که نت‌لوگو یکی از آن‌ها است *(Gilbert & Blankes, 2002:7197)*.نت‌لوگو به‌وضوح به‌منظور کاهش احتیاجات برنامه‌نویسی در ساخت مدل طراحی شده‌است و به‌طورمعمول برای آموزش به‌کار می‌روند. این نرم‌افزار یک محیط تجسمی گرافیکی همراه با مجموعه‌ای محدود از عملکردهای سطح بالا ایجاد می‌کند که می‌تواند به‌آسانی برای ساخت رفتارهای عامل‌ها در یک فضای اقلیدسی استفاده شود *(Gilbert & Blankes, 2002:7197)*

وقتی یک مدل عامل مبنا تولید می‌کنید، ابتدا عوامل باید شناسایی و تعیین شوند. تعیین عوامل یک مرحلۀ مهم و کلیدی در فرایند مدل‌سازی است. عوامل اولیه براساس کتاب برنامه‌ریزی توسعۀ شهری *(پورمحمدی، ۱۳۹۵: ۶۰-۳۵)* انتخاب و در غالب پرسشنامه در محدودۀ مکانی پژوهش توزیع شده‌است. جامعۀ آماری در این پژوهش تعداد خانوار شهر نیشابور هستند. براساس این فرمول تعداد ۳۸۳ پرسشنامه برای جامعۀ آماری نیشابور موردنیاز است. برای توزیع پرسشنامه، ابتدا توسط نرم‌افزار ArcGIS محل توزیع تصادفی پرسشنامه توسط ابزار هواث[1] محاسبه شد. در ادامه برای بررسی میزان پایایی سؤالات پرسشنامه، از روش آلفای کرونباخ استفاده شده‌است. اگر ضریب آلفا بیشتر از ۰/۷ باشد، آزمون از پایایی قابل‌قبولی برخوردار است (جدول ۲).

جدول ۲: مقادیر آلفای کرونباخ محاسبه‌شده برای هر عامل

ردیف	عامل	آلفای‌کرونباخ
۱	موقعیت غالب اجتماعی	۰,۸۴۱
۲	نوع کاربری	۰,۸۱۸
۳	حریم سبز و حریم مسیل	۰,۸۰۳
۴	عناصر مطلوب	۰,۸۳۱
۵	مسیر دسترسی	۰,۸۲۹
۶	کیفیت دسترسی به خدمات	۰,۸۰۸

مأخذ: نگارندگان،۱۳۹۷

این مقادیر نشان می‌دهد پایایی پرسشنامۀ حاضر در سطح قابل‌قبولی است. وزن عوامل نیز براساس روش AHP و نرم‌افزار اکسپورت‌چویس محاسبه شده‌است. برای ارزیابی اعتبار، از CR استفاده شده‌است. مقدار CR به‌دست‌آمده برای وزن معیارها ۰/۰۱۸ است که کوچک‌تر از ۰/۱ و نشان می‌دهد مقادیر وزن‌های محاسبه‌شده از پایندگی مناسب برخوردار است. براین‌اساس ۶ عامل با بیشترین تأثیر در مدل توسعۀ شهری وجود دارد:

- موقعیت طبقۀ غالب اجتماعی

این معیار بیان‌کنندۀ عواملی همچون آشنابودن به منطقه، نزدیکی به خانواده و دوستان و مردم شبیه به خود است. شهر به سمتی توسعه پیدا می‌کند که قشر قوی‌تر (پولدارتر؟) در آن قسمت حضور دارد (شهر تحت تأثیر اجتماع است).

- کیفیت دسترسی به خدمات

برخورداری از خدمات ارائه‌شده در شهر مانند دسترسی به آب، برق و گاز یا مناسب‌بودن منطقه

1-Hawth

برای خرید، مدرسه و... عاملی است که برروی توسعه تأثیر می‌گذارد و به دو دستهٔ مراکز برخوردار یا کم‌برخوردار از خدمات تقسیم‌بندی می‌شوند.

- عناصر مطلوب

شهرها به سمتی توسعه پیدا می‌کنند که محیط اطراف آن دسترسی مناسبی به مناطق طبیعی و فرهنگی (پارک‌ها و تفریحگاه‌ها) داشته باشد یا اطراف ملک فضای باز و راحتی وجود داشته باشد.

- مسیر دسترسی

مناطق نزدیک به محل کار و مدرسه خوب یا مناطقی که به خیابان‌های اصلی دسترسی راحتی دارند، از اولویت بالایی برای توسعه برخوردارند.

- فاصله از مسیل‌ها و حریم سبز

حریم مسیل‌ها و فضای سبز در شهرها ازنظر ساخت‌وساز غیرقانونی است و ساختن ملک در حریم این مناطق غیرقانونی و بدون مجوز است.

- نوع کاربری زمین

استفاده از زمین یکی از مهم‌ترین عواملی است که در توسعهٔ شهر در نظر گرفته می‌شود. این عامل محیط پایه‌ای برای بقیهٔ عوامل ایجاد می‌کند؛ مثلاً احتمال توسعه در برخی از انواع استفاده از زمین مانند استخر زمین کشاورزی یا محدودهٔ کارگاهی بسیار پایین است. عامل‌ها و نوع زیرعامل‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند *(پورمحمدی، ۱۳۹۵: ۶۰-۳۵)*:

جدول ۳: عامل‌ها، زیرعامل‌ها و خصوصیات آن‌ها

ردیف	نوع عامل	زیرعامل	ویژگی‌ها و خصوصیات
۱	موقعیت غالب اجتماعی	املاک مسکونی	نزدیک املاک مسکونی دیگر- حداکثر فاصله از مسیل‌ها
۲	مسیر دسترسی	آموزشی	هم‌جوار با پارک‌های عمومی- ورزشی- فضای سبز حداقل ۵۰۰ متر فاصله از محدودهٔ کارگاهی و صنعتی
۳			هم‌جوار با پارک و ورزشی حداقل ۵۰۰ متر از محدودهٔ کارگاهی و صنعتی مزاحم
۴		اداری	۲ درصد از مساحت هر منطقه ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر فاصله از یکدیگر
۵	عناصر مطلوب	فضای سبز	شعاع عملکرد مفید: ۲ تا ۳ کیلومتر هم‌جوار با مراکز فرهنگی و آموزشی
۶	کیفیت دسترسی به خدمات	مراکز درمانی	در فاصلهٔ ۶۵۰ تا ۷۵۰ متری از مناطق مسکونی هم‌جوار با فضای سبز و کاربری‌های مرکزی شهر حداقل ۱ کیلومتر از محدودهٔ کارگاهی و صنعتی
۷		ورزشی	نزدیک به مراکز آموزشی و فضای سبز حداقل مساحت ۱۰۰۰ مترمربع
۸		فرهنگی	هم‌جوار با فضای سبز و آموزشی
۹	حریم سبز و حریم مسیل	حریم سبز	حداکثر فاصله از مناطق دیگر
۱۰		حریم مسیل	حداکثر فاصله از مناطق دیگر
۱۱	نوع کاربری	زمین‌های زراعی	توسعهٔ املاک مسکونی در آن ممنوع است
۱۲		محدودهٔ کارگاهی	حداکثر فاصله از مناطق دیگر
۱۳		سایر کاربری‌ها	حداکثر فاصله از مناطق دیگر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۷

در سیستم شبیه‌سازی‌شده این پژوهش عامل‌ها، هم ازنظر تصمیم‌گیری و هم ازنظر تعامل به‌صورت ساده در نظر گرفته شدند. قوانین و پایگاه منطق عامل‌های استفاده‌شده در این پژوهش به‌صورت قانون مبنا هستند و به‌صورت اگر- آنگاه بیان می‌شوند. در این مورد تصمیمات‌با استفاده از قوانین اگر-آنگاه به‌عنوان بهترین عمل انتخاب می‌شوند *(هوشنگی و آل‌شیخ، ۱۳۹۶: ۶۵)*؛ بنابراین قواعد زیر برای تغییر وضعیت عامل قطعهٔ زمین از وضعیت توسعه‌نیافته به توسعه‌یافته به‌کار برده شد:

- اگر قطعهٔ زمین در مجاورت فضای سبز، اماکن ورزشی و فرهنگی قرار داشت، آنگاه احتمال توسعهٔ آن زیاد است.
- اگر قطعهٔ زمین در فاصلهٔ بیشتر از ۵۰۰ متری از محدودهٔ کارگاهی قرار داشت، آنگاه احتمال توسعه زیاد است.
- اگر قطعهٔ زمین در نزدیکی حریم سبز و حریم مسیل قرار داشت، آنگاه احتمال توسعه پایین است.
- و... .

مقایسهٔ مدل مارکوف- سلولی خودکار و مدل عامل مبنا

به‌طور خلاصه، مزایا و معایب دو مدل مارکوف- سلولی خودکار و عامل مبنا را می‌توان به‌صورت (جدول ۴) بیان کرد:

جدول ۴:مقایسهٔ دو روش مارکوف-CA و عامل مبنا

مارکوف-CA		عامل مبنا	
توانمندی	نقطه‌ضعف	توانمندی	نقطه‌ضعف
رویکرد غیرمتمرکز و پویا	توانایی ضعیف در نمایش مکانی	توانایی بالا در حل پیچیدگی‌های مکانی، زمانی و رفتاری	سختی نمایش خروجی‌ها و توجیه ارتباطات
سادگی و پیچیدگی حداقلی	عدم‌توانایی در بازتاب بازخوردهای سیستم	مدل‌سازی جامع رفتار فردی و نحوهٔ تعامل آن با محیط	پتانسیل بالا در زمینهٔ انتشار خطا
شکل‌گیری اتصال‌ها براساس فرایند	عدم‌توانایی در اِعمال تأثیرات اجتماعی و اقتصادی در تصمیم‌گیری	ایجاد ارتباط بین الگوهای مکانی و فعالیت‌های انسانی	وابستگی به دادهٔ ورودی
سهولت نسبی در نمایش نتایج	وابستگی به مقیاس	انعطاف به‌مراتب بالاتر و استقلال از مقیاس	دشواری نسبی درزمینهٔ برنامه‌نویسی و امکانات سخت‌افزاری موردنیاز
انعطاف‌پذیری قابل‌قبول	اعمال قواعد جابه‌جایی به‌صورت همسان به‌تمامی سلول‌ها	استقلال از مقیاس توانایی شبیه‌سازی در محیط برداری	
نزدیکی با سیستم اطلاعات مکانی و سنجش‌ازدور	عدم‌توانایی در مدل‌سازی رفتار فردی	مدل‌سازی فرایند کل به جز	

مأخذ: نگارندگان،۱۳۹۷

اعتبارسنجی مدل عامل مبنا

منظور از اعتبارسنجی، آن است که یک مدل در زمینهٔ کاربردی دارای محدوده‌ای از دقت رضایت‌بخش باشد. برای اینکه بتوانیم از نتایج حاصل از مدل عامل مبنا اطمینان حاصل کنیم، ضروری است با ثابت‌نگه‌داشتن پارامترها و شرایط داخلی مدل را چندین مرتبه و با ورودی‌های مختلف اجرا کرده و میزان تغییرات را در پاسخ‌ها مشاهده کنیم؛ بنابراین اگر اثر تغییر ورودی در خروجی مدل ناچیز بود، می‌توان نتیجه گرفت که آن ورودی اثر مهمی در مدل ندارد و صحت آن چندان مهم نیست (*هوشنگی و آل‌شیخ، ۱۳۹۶: ۶۵*).همچنین روش‌های دیگری نیز برای اعتبارسنجی مدل عامل مبنا وجود دارد. مدل‌های عامل مبنا در مقایسه با سایر مدل‌های

شبیه‌سازی‌شده تفاوت‌های بسیاری در توسعهٔ مدل، کاربرد و اعتبارسنجی دارند. اخیراً روش‌های اعتبارسنجی متعددی برای مدل‌سازی عامل- مبنا موردبحث قرار گرفته است. بسته به میزان دسترسی به پدیدهٔ واقعی موردبررسی و پیچیدگی مدل، روش‌های اعتبارسنجی زیر ارائه شده‌است:

- مقایسهٔ نتایج مدل‌سازی عامل-مبنا با داده‌های واقعی؛ این روش یک مقایسهٔ ساده و روشن است که می‌تواند با مشکل دسترسی به کل داده‌های واقعی در مورد پدیدهٔ مورد مطالعه همراه باشد.

- مقایسهٔ نتایج مدل‌سازی عامل- مبنا با نتایج مدل‌های ریاضی؛ از معایب این روش، ساخت و توسعهٔ مدل‌های ریاضی است و اینکه تدوین و فرمول‌بندی سیستم‌های پیچیده ممکن است دشوار باشد.

- استفاده از سایر شبیه‌سازی‌های مربوط به یک پدیدهٔ یکسان یا مقایسهٔ مدل به مدل؛ این روش دو مدل متفاوت را برای بررسی یک مسئله و پاسخ به یک پرسش مشترک و ارزیابی شباهت‌ها و تفاوت‌های دو مدل به‌کار می‌گیرد(*علیجانی و سرمدیان، ۱۳۹۶: ۳*).

در این پژوهش از دو روش برای اعتبارسنجی مدل عامل مبنا استفاده شده‌است.

۱- تغییر در پارامترهای مدل (استفاده از ۶ عامل و ۵ عامل)

۲- مقایسهٔ نتایج مدل عامل مبنا با مدل مارکوف-سلولی خودکار

- اعتبارسنجی مدل مارکوف

برای بررسی دقت مدل مارکوف-CA از روش جداول متعامد[1] استفاده شد. در این جدول به‌صورت یک‌به‌یک هر طبقه با طبقهٔ دیگر مقایسه شده و سطح تغییرات مشخص می‌شود. مقدار ضریب کاپا در این طبقه‌بندی ۰/۷۵ است که قابل‌قبول هست.

تحلیل یافته‌ها

در این‌پژوهش سعی شده‌است تا از عامل به‌عنوان یک ابزار قوی در مدل‌سازی و شبیه‌سازی توسعهٔ شهری و تغییرات کاربری اراضی شهری استفاده شود. بر همین اساس پژوهشی انجام گرفت که در آن دو مدل‌عامل مبنا و مارکوف- سلولی خودکار مورد استفاده قرار گرفتند.

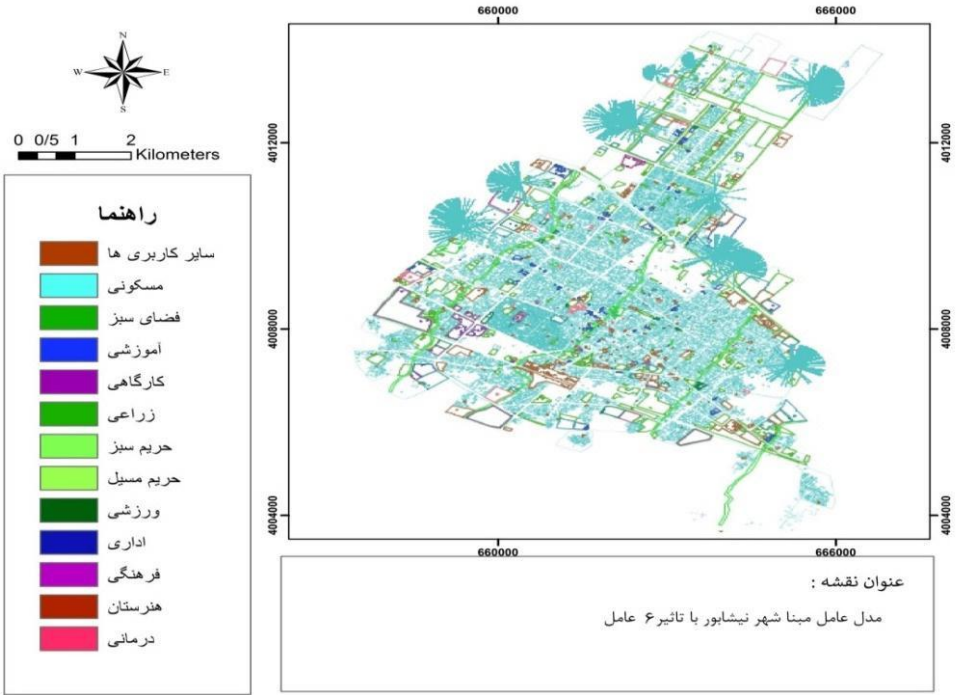
نتیجهٔ نهایی مدل

همان‌طور که بیان شد، مدل عامل مبنا از سال ۱۹۶۰ توسعه‌یافته و ازنظر تعداد و محبوبیت رو به افزایش است. برتری ویژهٔ این مدل‌ها نسبت‌به روش‌های قدیمی (مثل ماشین‌های سلولی خودکار، مدل زنجیرهٔ مارکوف، مدل مارکوف-سلولی خودکار و مدل رگرسیون لجستیک) این است که این مدل‌ها قادر به واردکردن اثر انسان‌ها به‌عنوان عاملان اصلی توسعهٔ شهر و تأثیرگذار بر محیط اطراف براساس سبک زندگی هستند و همچنین مدل‌های عامل-مبنا به‌دلیل ماهیت پایین به بالا قابلیت شبیه‌سازی تصمیم‌گیری و تنوع و انعطاف‌پذیری بالا از جایگاه ممتازی در بین روش‌های مورداستفاده برخوردار است *(سرمدیان، ۱۳۹۶: ۲)*.

در مدل عامل مبنا طراحی‌شده هر پارسل به‌عنوان یک عامل توسعه‌گر و تعامل‌پذیر به‌منظور بررسی ازنظر ۶ عامل یادشده در نظر گرفته شد. در این طراحی، وظیفهٔ هر عامل جمع‌آوری اطلاعات از محیط اطراف و همسایه‌ها و محاسبهٔ امکان توسعه با توجه به وزن‌های محاسبه‌شده است که در ادامه، عامل با استفاده از مجموعهٔ قواعد یادشده، اولویت توسعه را برای سلول‌های هدف می‌سنجد. هر عامل بسته به نوع خود، تعداد مشخصی از مناطق را موردبررسی قرار می‌دهد. عامل به‌صورت اتفاقی و براساس احتمال وارد یک منطقه می‌شود. وقتی عامل وارد یک سلول می‌شود، میزان مطلوبیت آن سلول و

1-Cross Tab

همهٔ همسایگان قابل‌توسعهٔ آن را بررسی و ذخیره می‌کند. سپس به یکی از سلول‌های همسایه نقل مکان می‌کند و به همین صورت به جست‌وجوی خود ادامه می‌دهد (شکل ۶).



شکل۶: شبیه‌سازی توسعهٔ شهری در نرم‌افزار نت‌لوگو

تهیه و ترسیم: نگارندگان،۱۳۹۷

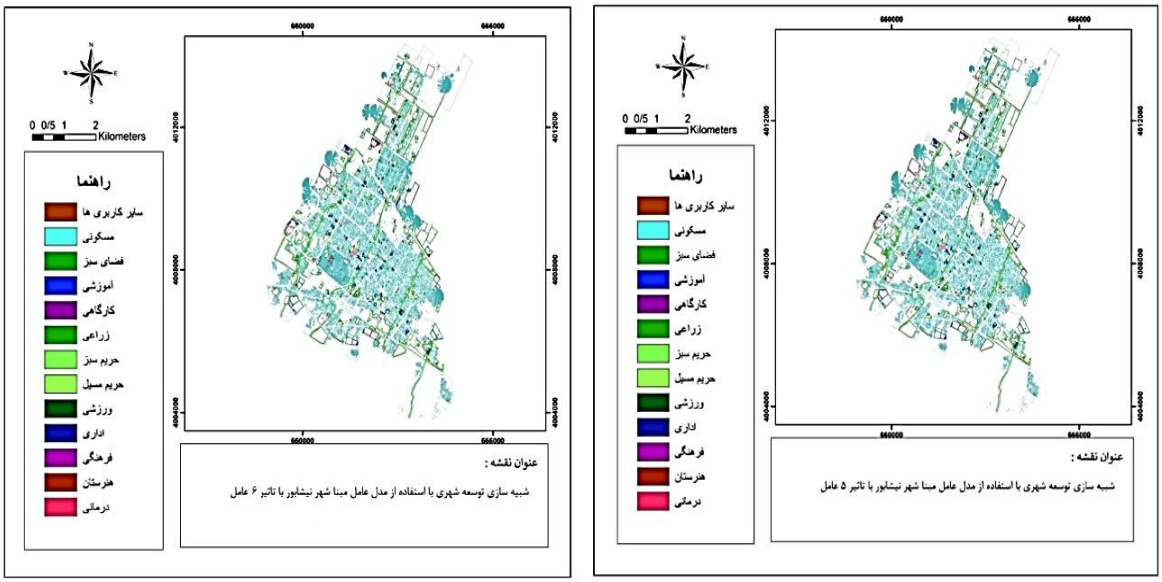
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در انتهای شبیه‌سازی مساحت منطقهٔ شهری از ۱۴۰۸/۱۱۱ مترمربع (براساس طرح تفضیلی شهرداری) در سال ۲۰۱۸ به ۱/۷۴۹/۷۵۵ مترمربع با نرخ رشد ۱۹/۸ درصد در سال ۲۰۳۵ و در مدل مارکوف-سلولی خودکار مساحت منطقهٔ شهری از ۱/۳۴۰/۰۳۴ مترمربع در سال ۲۰۱۸ به ۳/۲۳۰/۰۳۴ مترمربع در سال ۲۰۳۵ با نرخ رشد ۲۳/۱ درصد خواهد رسید. بر این اساس نتیجهٔ به‌دست‌آمده با نتیجهٔ مدل مارکوف- سلولی خودکار تفاوت چندانی ندارد.

اعتبارسنجی

همان‌طور که بیان شد در این پژوهش از دو روش برای اعتبارسنجی مدل عامل مبنا استفاده شده‌است.

- تغییردر پارامترهای مدل (استفاده از ۶ عامل و ۵ عامل)

در اجرای این مدل از ۶ عامل استفاده شد که نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیر زیاد عامل طبقهٔ غالب اجتماعی است. برای رد یا تأیید اعتبار مدل، مدل با حذف یکی از عامل‌ها نیز اجرا شد که این حذف باعث کمترشدن کدهای نوشته‌شده و درنتیجه کاهش حجم داده‌ها و کاهش مدت‌زمان اجرای برنامه شد؛ اما نتیجهٔ کلی مدل اختلاف زیادی با اجرای مدل با ۶ عامل نداشت. تعداد عامل‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که بهترین نتیجه را به ما بدهد و همچنین پیچیدگی کدها نیز کمتر شود (شکل ۷).



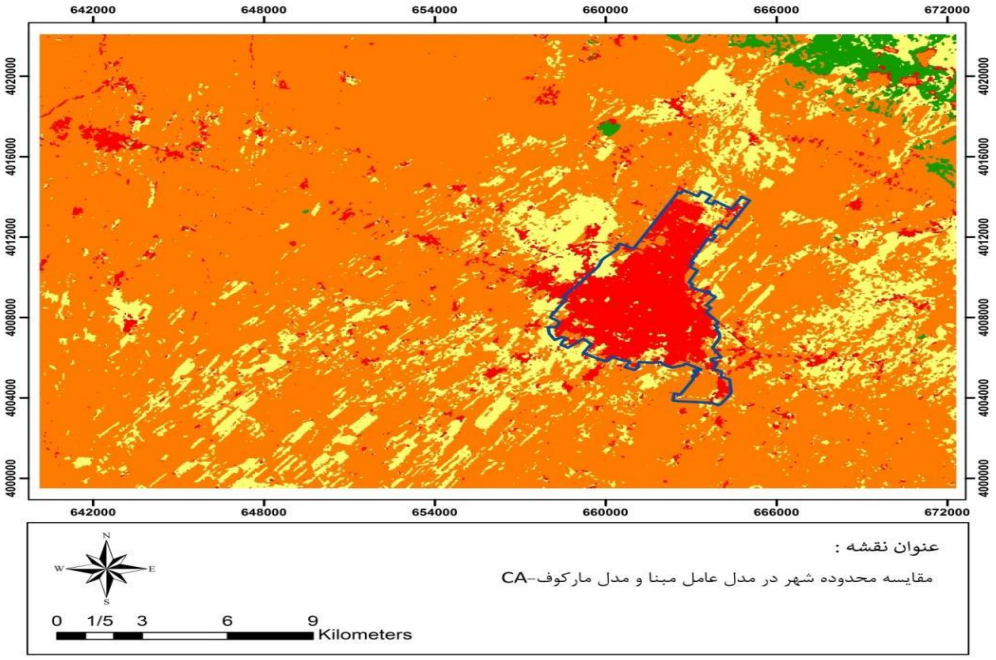
شکل ۷: نمایش داده‌ها با ۶ و ۵ عامل در محیط نت‌لوگو

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

- مقایسهٔ نتایج مدل عامل‌مبنا با مدل مارکوف- سلولی خودکار

با مقایسهٔ مدل عامل مبنا و مدل مارکوف- سلولی خودکار می‌توان نتیجه گرفت:

تمرکز بر مدل پویای اولیه در داده‌های رستری GIS انواع مدل‌هایی که می‌توانستند توسعه یابند را محدود کرد. ازآنجایی‌که در مدل‌های عامل مبنا عوامل توانایی جابه‌جایی در یک فضای پیوسته را دارند، ABMها اساساً با بسیاری از مدل‌های اولیه تفاوت دارند؛ برای مثال در یک مدل ماشین سلولی، پویایی معمولاً به‌وسیلهٔ مجموعه‌ای از کنش و واکنش‌های ثابت تعریف می‌شود؛ درحالی‌که در ABMها این کنش و واکنش‌ها در سطح یک عامل و نه به‌عنوان بخشی از فضا تعریف می‌شوند. همین باعث می‌شود فعل‌وانفعالات مذکور در مدل عامل مبنا بتواند به‌طور پویا تغییر یابد *(فیروزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳)*. همچنین به‌دلیل پیچیده‌بودن عملیات مارکوف، امکان مشاهدهٔ روند اجرا و تحلیل روند امکان‌پذیر نیست و امکان تغییر در سطوح داخلی به کاربر داده نمی‌شود؛ اما در روش مدل‌سازی، عامل مبنا در محیط مدل‌سازی کاربر می‌تواند با استفاده از تغییر در تعداد و نوع عامل‌ها یا ویژگی‌های مورد بررسی ارزیابی‌ها و نتایج مختلفی با توجه به شرایط منطقه داشته باشد. همچنین امکان مشاهده و تحلیل نتایج در هر مرحلهٔ اجرا وجود دارد *(کمیجانی، ۱۳۹۴: ۹۸)*. داده‌های ورودی در مدل عامل مبنا براساس طرح تفضیلی شهر ایجاد شده و موقعیت هر کاربری از قطعیت برخوردار است (شکل۶)؛ درصورتی‌که طبقهٔ ساخت‌وساز در مدل مارکوف- سلولی‌خودکار براساس داده‌های تعلیمی برداشت‌شده در طبقه‌بندی بیشترین شباهت ایجاد شده و دارای عدم‌قطعیت هستند و با مقایسهٔ آن با محدودهٔ شهر در طرح تفضیلی تفاوت‌هایی در آن‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۸) که دقت مدل و نتیجهٔ آن را زیر سؤال خواهد برد. براساس این نتایج، می‌توان گفت مدل عامل مبنا نقطه‌ضعف کمتری نسبت‌به مدل مارکوف- سلولی خودکار دارد؛ بنابراین از اعتبار بیشتری برخوردار است.



شکل ۸: مقایسهٔ محدودهٔ شهر در مدل عامل مبنا و مدل مارکوف-سلولی خودکار

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۷

نتیجه

ما در جهانی زندگی می‌کنیم که به‌طور فزاینده‌ای پیچیدگی‌های آن در حال افزایش است و سیستم‌هایی که نیاز داریم آن‌ها را تجزیه‌وتحلیل و مدل‌سازی کنیم، بیشتر و بیشتر به یکدیگر وابسته می‌شوند. ابزارهای مدل‌سازی سنتی مدت‌هاست که دیگر پاسخگوی نیاز نیستند؛ به‌همین‌دلیل در این پژوهش از مدل‌سازی عامل مبنا و مدل‌سازی مارکوف- سلولی خودکار برای شبیه‌سازی توسعهٔ شهری استفاده می‌شود. نتایج این بررسی به‌صورت خلاصه در ادامه بیان می‌شود. نتیجهٔ مدل عامل مبنا نشان می‌دهد رشد شهر بیشتر درجهت شمال و شمال غربی اتفاق افتاده است که نشانگر تأثیر فراوان عامل طبقهٔ غالب اجتماعی است. براین‌اساس شهر تحت تأثیر اجتماع به سمتی رشد پیدا کرده است که قشر قوی در آن ساکن هستند و توسعه در قسمت جنوب و جنوب شرقی که قشر ضعیف در آن ساکن هستند کمتر است. یکی دیگر از عواملی که باعث کاهش توسعه در جنوب شهر شده‌است، عامل نوع کاربری و حریم مسیل است. ازآنجایی‌که در قسمت جنوب شهر محدوده‌های کارگاهی و زمین‌های زراعی بسیاری قرار دارد، توسعهٔ شهر درجهت مخالف آن اتفاق افتاده است. از دیگر مزایای محیط مدل‌سازی عامل مبنا این است که کاربر یا مجری تصمیم‌گیری می‌تواند با استفاده از تغییر در تعداد و خصوصیات عامل‌ها یا ویژگی‌های مورد بررسی ارزیابی و دخل و تصرف‌های مختلفی با توجه به شرایط هر منطقه داشته باشد. همچنین امکان تحلیل و مشاهدهٔ نتایج در هر مرحله از روند اجرا وجود خواهد داشت. با وجود اینکه مدل‌سازی محیط‌های برداری پیچیده‌تر از مدل‌های رستری هستند، به‌دلیل اینکه مدل‌های برداری به جهان واقعی نزدیکتر است، از مدل‌سازی برداری استفاده شد؛ بنابراین این امر سبب هماهنگی بهتر و واقعی‌تربودن نتایج با شرایط محیط‌های شهری است و به این علت یکی از نقاط قوّت این پژوهش تلقی می‌شود.

در پایان، به‌طورکلی پیوند مناسبی بین سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل عامل مبنا در نرم‌افزار نت‌لوگو وجود دارد؛ بنابراین ما به‌راحتی داده‌های ورودی را برای مدل‌سازی در یک محیط رستر بیس سیستم اطلاعات

جغرافیایی آماده و وارد محیط شبیه‌سازی کردیم. نتایج این مدل به برنامه‌ریزان و پژوهشگران در پیش‌بینی نیازهای آیندهٔ شهر و مدیریت مسائل شهری کمک فراوانی می‌کند.

پیشنهادات

در ادامه موارد دیگر درجهت بهبود مدل و نزدیک کردن مدل به واقعیت بیان می‌شود:

- درنظرگرفتن مشخصات خاص برای ایجاد هر کاربری (مثلاً مساحت معیّن یا فاصلهٔ دسترسی‌های خاص)
- ترکیب عامل‌های مختلف برای بهبود کار
- استفاده از نرم‌افزارهای دیگری مانند Repast یا Agent Analyst که دارای محیط اجرایی کاملاً متفاوت هستند برای پیاده‌سازی مدل و مقایسهٔ نتایج باهم.

منابع

- احمدی‌زاده، سیدسعیدرضا؛ زینب کریم‌زاده مطلق (۱۳۹۴). شبیه‌سازی رشد شهری با استفاده از سلولی خودکار و زنجیرهٔ مارکوف (منطقهٔ مورد مطالعه: شهر بیرجند)، سیزدهمین همایش ملی ارزیابی اثرات محیط زیستی ایران. تهران. انجمن ارزیابی محیط زیست ایران.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F536367%2F&type=0&id=20543898
- بیجندی، مهرداد؛ محمد کریمی (۱۳۹۴). مدل‌سازی تغییر و توسعهٔ کاربری اراضی با استفاده از عامل: فرصت‌ها و چالش‌ها،مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی ۱۳-۱.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1602282&type=0&id=1486621
- پورمحمدی، محمدرضا (۱۳۹۵). برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت).
https://elmnet.ir/vslg?url=http%3A%2F%2Fsamta.samt.ac.ir%2Fcontent%2F13364%2F%D8%A8%D8%B1%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87%E2%80%8C%D8%B1%DB%8C%D8%B2%DB%8C-%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8% A8%D8%B1%DB%8C-%D8%A7%D8% B1%D8%A7%D8%B6%DB%8C-%D8%B4%D9%87%D8%B1%DB%8C&type =0&id=30796928
- حسینعلی، فرهاد؛ علی‌اصغر آل‌شیخ؛ فرشاد نوریان (۱۳۹۱). توسعهٔ مدلی عامل مبنا برای شبیه‌سازی گسترش کاربری اراضی شهری (مطالعهٔ موردی: قزوین)، مطالعات و پژوهش‌های شهری منطقه‌ای پاییز ۱۳۹۱. دورهٔ ۴. شمارهٔ ۱۴.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1066536&type=0&id=923820
- حیدری‌زادی، زاهده؛ عبدالرضا محمدی (۱۳۹۵). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دشت مهران با استفاده از مدل سلول‌های خودکار- مارکوف مجلهٔ علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال پنجم. شمارهٔ ۱۰. ۶۸- ۵۷.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1557646&type=0&id=1510411
- سرمدیان، فریدون (۱۳۹۶). مقدمه‌ای بر کاربرد مدل‌های عامل مبنا در کاربری اراضی پانزدهمین کنگرهٔ علوم خاک ایران.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F730368%2F&type=0&id=20762788
- صفویان، سیدتقی؛ طالب عبداللهی؛ الهام کرامتی (۱۳۹۶). ارزیابی مکانی درجهت توسعهٔ شهری با استفاده از روش SAW و GIS (مطالعهٔ موردی: شهر مشگین‌شهر)،چهارمین کنفرانس‌بین‌المللی‌برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران. دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F589957%2F&type=0&id=20606437
- علیجانی، زهره؛ فریدون سرمدیان (۱۳۹۶). مقدمه‌ای بر روش‌های اعتبارسنجی مدل‌های عامل مبنا، پانزدهمین کنگرهٔ علوم خاک ایران.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F729562%2F&type=0&id=20762787

- فیروزی، محمدعلی؛ علی شجاعیان؛ طاهره قنواتی (۱۳۹۶). تحلیل‌گر عامل؛ مدل‌سازی عامل مبنا در GIS. نارین رسانه.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fdb.ketab.ir%2Fbookview.aspx%3Fbookid%3D2168365&type=0&id=31361693
- قانعی، محمدرضا (۱۳۸۹). توسعهٔ یک مدل عامل مبنا به‌منظور تخصیص کاربری‌های شهری. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. راهنما: محمد سعدی مسگری، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی- دانشکدهٔ نقشه‌برداری.
https://ganj.irandoc.ac.ir//#/articles/48f2d85f632537b99d75ef47aad44072/search/98283ece2f40e2cd6945e6e970811747
- قربانی، رسول؛ محمدرضا پورمحمدی؛ حسن محمودزاده (۱۳۹۲). رویکرد زیست‌محیطی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محدودهٔ کلان‌شهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه‌ای، ارزیابی چندمعیاری و سلول‌های خودکار زنجیرهٔ مارکوف (۱۴۱۷-۱۳۶۳). مطالعات شهری ۸. ۳۰-۱۳.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1321914&type=0&id=822452
- کمیجانی، محبوبه؛ روزبه شاد (۱۳۹۴). شبیه‌سازی روند توسعهٔ شهری با استفاده از مدل‌سازی عامل مبنا (مطالعهٔ موردی: شهر مشهد)، دومین کنفرانس ملی جغرافیا و زمین‌شناسی. تهران. مؤسسهٔ اطلاع‌رسانی نارکیش.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fcivilica.com%2Fdoc%2F423552%2F&type=0&id=20425034
- کمیجانی، محبوبه (۱۳۹۴). شبیه‌سازی رشد و توسعهٔ بهینهٔ شهری با استفاده از مدل‌سازی عامل مبنا. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. استاد راهنما: روزبه شاد، مشاور: سعید بهزادی، دولتی- وزارت علوم، تحقیقات و فناوری،دانشگاه فردوسی مشهد. دانشکدهٔ مهندسی.
https://ganj.irandoc.ac.ir//#/articles/9af47bf8ae9032a61f1eb42bac742774/search/50455f088cf90b0166e03de07863ef4d
- محمودزاده، حسن؛ خلیل دیده‌بان؛ سیدعلی صادق‌زاده سادات (۱۳۹۵). کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی با هدف شبیه‌سازی توسعهٔ شهری (مطالعهٔ موردی: شهر مهاباد)، دوفصلنامهٔ جغرافیا و توسعهٔ فضای شهری ۳(۲).
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1691721&type=0&id=1681925
- هوشنگی، نوید؛ علی‌اصغر آل‌شیخ (۱۳۹۶). توسعهٔ یک سیستم شبیه‌سازی عامل- مبنا در عملیات امداد و نجات. اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۷۰-۵۹.
https://elmnet.ir/vslg?url=https%3A%2F%2Fwww.magiran.com%2Fpaper%2F1772447&type=0&id=1754235
- Alqurashi, Abdullah F Lalit Kumar and Priyakant SinhaUrban Land Cover Change Modelling Using Time-Series Satellite Images: A Case Study of Urban Growth in Five Cities of Saudi Arabia. Remote Sens.(2016) 8(10), 838.
https://doi.org/10.3390/rs8100838
- Acevedo, W., Foresman, T. W. and Buchanan, J. T. Origins and philosophy of building a temporal database to examine human transformation processes. Proceedings, ASPRS/ACSM Annual Convention and Exhibition, Baltimore, MD, April 22-24, .(1996), Vol. I, PP.148-161.
https://pubs.er.usgs.gov/publication/70202451
- Achmad,Ashfa, Sirojuzilam Hasyim, Badaruddin Dahlan, Dwira N. Aulia. Modeling of urban growth in tsunami-prone city using logistic regression: Analysis of Banda Aceh, Indonesia. Applied Geography 62 (2015) 237e246.
https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.001
- Batty, M (2005). Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics. Environment and Planning A,37: 1373-1394.
https://doi.org/10.1068%2Fa3784

- Gilbert, N., Bankes, S (2002). Platforms & methods for agent-based modeling Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(suppl 3), 7197-7198. https://doi.org/10.1073/pnas.072079499
- Junfeng, J (2003). Transition Rule Elicitation for Urban Cellular Automata models. Case Study: Wuhan-China, MSc. Thesis, International institute for geo-information science and earth observation (ITC).The Netherlands https://www.academia.edu/download/50547525/Transition_Rule_Elicitation_Methods_for_20161125-6587-13grhp8.pdf
- Liu Xiaoping, Li Xia, Ai Bin et al (2006). Multi-agent systems for simulating and planning land use development. Acta Geographica Sinica, 61(10): 1101- 1112. (in Chinese). https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-DLXB200610011.htm
- Macal C. M, North M. J.(2004). Agent-based modeling and simulation: ABMS examples. In Proceedings of the 40thConference on Winter Simulation (PP. 808-884) . https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736060
- Malik. Ammar, Andrew Crooks, Hilton Root and Melanie Swartz. Exploring Creativity and Urban Development with Agent-Based Modeling Journal of Artificial Societies and Social Simulation 18 (2015), (2) 12 https://ideas.repec.org/a/jas/jasssj/2014-38-3.html
- Parker, D. C, T.Berger, and S. M. Manson. (2002). Agent-based models of land-use and land-cover change. LUCC Focus1 office, Indiana university https://www.academia.edu/download/40637428/Agent-Based_Models_of_Land-Use_and_Land-20151204-31035-1rocmiq.pdf
- Torrens, P. M. (2003). Cellular automata and multi-agent systems as planning support tools. In Planning support systems in practice (PP. 205-222). Springer, Berlin, Heidelberg. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24795-1_12#:~:text=DOI%3A-,10.1007/978-3-540-24795-1_12,-Instant%20PDF%20download
- Wolfram,S (2002). A new kind of science (Vol.5,P.130).Champaign,IL:Wolframmedia. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.252.4404
- Xia Li, Xiaoping Liu (2007). Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation, Journal of Environmental Management85(2007)1063-1075. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.006
- Zhang Jing, Wang Ke, Song Gengxin, Zhang Zhongchu, Chen Xinming, YU Zhoulu. (2013) Application of Multi-agent Models to Urban Expansion in Medium and Small Cities: A Case Study in Fuyang City, Zhejiang Province, China, Geogra. Sci. 2013 Vol. 23 No. 6. PP.754-764. https://doi.org/10.1007/s11769-013-0636-3