



Research Article

Dor: 20.1001.1.25385968.1401.17.1.13.3

# Measuring the Effective Variables on Urban Expansion and Physical Development Simulation of Hamadan City

Saeed Hajibabaei<sup>1</sup>, Keramatollah Ziari<sup>2\*</sup> & Kianoosh Zakerhaghighi<sup>3</sup>

1. Ph.D in Urban Planning, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

2. Professor of Geography & Urban Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Associate Professor, Department of Urban Planning and Design, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

\* Corresponding author: Email: [zayyari@ut.ac.ir](mailto:zayyari@ut.ac.ir)

Receive Date: 06 August 2020

Accept Date: 27 October 2020

## ABSTRACT

**Introduction:** The development of urbanization and the involuntary migration of the rural population to urban areas are significant phenomena that have led to the destruction of agricultural lands, natural landscapes and public open spaces. This doubles the need for conscious guidance and spatial organization in order to better understand urban growth processes for future planning.

**Research aim:** The aim of this study is to evaluate the growth of Hamedan city from 1996 to 2019 and then simulate until 2041.

**Methodology:** The research method is descriptive-analytical and cell automation model has been used to simulate physical development, logistic regression has been used to analyze the effect of different variables on physical growth and Markov chain has been used to analyze user changes. The accuracy of Landsat satellite imagery has also been evaluated with respect to kappa and overall accuracy.

**Studied Areas:** Hamedan city is one of the western and mountainous cities of Iran and the center of Hamedan city and province. The city is located at the foot of Alvand Mountain at an altitude of 1900 meters above sea level.

**Results:** The results indicate that city center and agricultural land variables with ROC of 0.873 and 0.881, respectively, had the most impact on Hamadan urban growth during the last 23 years. The area of urban areas in 1996 was doubled compared to the year 2011, and almost 2.5 times more than in 2019. On the other hand, population growth increased 1.48 times over the past 23 years. This indicates that the growth rate of urban areas exceeded the population growth rate in Hamadan.

**Conclusion:** According to available statistics, the city of Hamadan has experienced a growing trend over the last 23 years. The city of Hamedan, due to its location, has many factors and restrictions, however, the population of the city is increasing as a result of the urban area of Hamedan. The simulation of land use change in Hamadan city was used and the results indicate a good correlation between real and simulated models. The results of the model evaluation indicate that the integrated model is able to provide a precise understanding of urban processes and developments such as evaluating past developments and predicting directions and rates of future physical development.

**KEYWORDS:** Physical Development, Cell Automation, Logistic Regression, Markov Chain, Hamadan City



فصلنامه علمی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی  
دوره ۱۷، شماره ۱ (پیاپی ۵۸)، بهار ۱۴۰۱  
شاپای چاپی ۰۵۹۶۸-۲۵۳۵ شاپای الکترونیکی ۰۵۹۵۵X-۲۵۳۸  
<http://jshsp.iaurasht.ac.ir>  
صص. ۶۲-۴۹

Dor: 20.1001.1.25385968.1401.17.1.13.3

مقاله پژوهشی

## سنجش متغیرهای مؤثر در گسترش شهر و شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر همدان

سعید حاجی بابایی<sup>۱</sup>، کرامت الله زیاری<sup>۲\*</sup> و کیانوش ذاکر حقیقی<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۲. استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه هنر و معماری، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

\* نویسنده مسئول: Email: [zayyari@ut.ac.ir](mailto:zayyari@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۶ مرداد ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: ۶ آبان ۱۳۹۹

### چکیده

**مقدمه:** توسعه شهرنشینی و مهاجرت‌های بی‌رویه جمعیت روستایی به مناطق شهری از پدیده‌های قابل توجهی است که موجب تخریب اراضی کشاورزی، مناظر طبیعی و فضاهای باز عمومی گردیده است. این موضوع لزوم هدایت آگاهانه و سازماندهی فضایی به‌منظور درک دقیق‌تر فرآیندهای رشد شهری را جهت برنامه‌ریزی‌های آتی دوچندان می‌کند.

**هدف:** پژوهش حاضر رشد شهر همدان را از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۸ ارزیابی و سپس تا سال ۱۴۲۰ شبیه‌سازی کرده است.

**روش‌شناسی تحقیق:** روش تحقیق توصیفی-تحلیلی بوده و از مدل اتوماسیون سلولی جهت شبیه‌سازی توسعه کالبدی، از رگرسیون لجستیک برای تحلیل تأثیر متغیرهای مختلف در رشد کالبدی و از زنجیره مارکوف جهت تحلیل تغییرات کاربری بهره گرفته شده است. صحت سنجی تصاویر ماهواره لندست نیز با توجه به میزان کاپا و میزان دقت کلی قابل قبول ارزیابی شده است.

**قلمرو جغرافیایی پژوهش:** شهر همدان یکی از شهرهای غربی و کوهستانی ایران و مرکز شهرستان و استان همدان است. این شهر در دامنه کوه الوند و در بلندی ۱۹۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است.

**یافته‌ها:** یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد متغیر مرکزیت شهر و اراضی کشاورزی به ترتیب با میزان ROC، ۰/۸۷۳ و ۰/۸۸۱ دارای بیشترین تأثیر در رشد شهری همدان طی ۲۳ سال اخیر داشته است. مساحت مناطق ساخته‌شده (شهری) در سال ۱۳۷۵ در مقایسه با ۱۳۹۰ بیش از دو برابر شده است و در مقایسه با سال ۱۳۹۸ تقریباً ۲/۵ برابر شده است. از طرف دیگر رشد جمعیت در طول این ۲۳ سال ۱/۴۸ برابر شده است.

**نتایج:** نتایج بیانگر این بوده است که نسبت رشد مناطق ساخته‌شده (شهری) از نسبت رشد جمعیت در شهر همدان به‌شدت پیشی گرفته است. نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان‌گر این است که مدل تلفیقی مورد نظر قادر است درک دقیقی از فرآیندها و تحولات شهری از قبیل ارزیابی توسعه‌های گذشته و پیش‌بینی جهات و میزان توسعه کالبدی آتی فراهم آورد.

**کلیدواژه‌ها:** توسعه کالبدی، اتوماسیون سلولی، رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف، شهر همدان

## مقدمه

توسعه شهری در مسیر رو به تکامل خود از زمان شروع تا به امروز دارای روند نسبتاً متعادلی بود. به طوری که در اکثر فضاهای شهری همه عناصر شهری دارای همگونی و سازگاری با یکدیگر بوده‌اند؛ اما تحولات اجتماعی و اقتصادی قرن ۱۹ و ۲۰ متأثر از مدرنیسم، گسترش سریع شهرها و پیدایش کلان‌شهرها را موجب شده و تغییرات بنیادی را در ساختار و فضایی-کالبدی آن‌ها به وجود آورده است (غلامی و دیگران، ۱۳۹۶: ۸)؛ بنابراین توسعه‌ی کالبدی و رشد جمعیت شهرها از سه دهه پیش تاکنون به صورت شتاب‌زده افزایش یافته است (tayyebi & Jenerette, 2016: 61). این سرعت رشد، نه تنها موجب تخریب مناطق پیرامون محدوده شهرها می‌گردد، بلکه شهرها را از حالت تعادل خارج می‌سازد (Yu et al., 2011: 600) این تغییرات ناشی از فرآیندهای شهرنشینی یکی از عوامل مؤثر در تغییر محیط‌زیست است (Rolando et al., 2010: 414). با پیش‌بینی تغییرات کاربری در سطح شهرها و مناطق پیرامونی آن‌ها میزان رشد و تخریب منابع زیست‌محیطی محاسبه و این تحولات را به شکل مناسبی در دوره‌های زمانی آتی هدایت نمود (Hathout, 2002: 230). در واقع گسترش یک شهر برآیندی از عوامل متنوع زیست‌محیطی، اقتصادی، سیاسی، زیرساختی و غیره می‌باشد. گسترش شهرها امری غیرقابل اجتناب است اما این رشد شهری زمانی مشکل‌آفرین می‌شود که فرایند گسترش بدون برنامه و به صورت خود به خوی صورت گیرد. در این صورت یک یا چند عامل مؤثر بر رشد شهر و حیات آن قربانی چنین رشدی می‌شوند (Sheikh & rooshenas, 2015: 16). ادامه این روند، پیامدها و چالش‌های عمده‌ای را بر ساختار و عملکرد سیستم‌های شهری و منطقه‌ای تحمیل می‌کند (Natale et al., 2015: 497). عمده‌ترین الگوی فرم شهری، به صورت کم تراکم و گسترش حومه‌ای در عرصه‌های کالبدی پخش شده و باعث شده اتومبیل شخصی عمده‌ترین وسیله حمل‌ونقل شهری شود. آثار منفی این نوع توسعه سبب گردیده است تا کشورهای پیشرفته از دهه ۱۹۷۰ در جستجوی الگوی پایدارتر شهر باشند و با گرایش به فشرده‌سازی فرم شهر، از طریق ترکیب کاربری‌ها و کاهش فواصل بین محل کار و زندگی گام‌های مؤثری بردارند (Rahnama & Abaszadeh, 2010: 102).

از آنجایی که شهرها در بین پیچیده‌ترین ساختارهایی هستند که از طریق جوامع بشری ساخته شده‌اند، مدل‌سازی سنتی امری مشکل، طاقت‌فرسا و در بسیاری از موارد نشدنی است. به طوری که مدل‌های سنتی به دلیل خطی و غیر پویا بودن کمتر می‌توانست درک دقیقی از پیچیدگی‌های شهری ارائه دهد (Cheng, 2003: 77)؛ اما به کارگیری مدل‌های جدید در زمان‌های مختلف مدل‌سازی‌ها را غیرخطی و پویا نموده‌اند که می‌تواند برنامه ریزان، مدیران شهری را برای درک دقیق‌تر سیستم‌های شهری یاری نماید (Weerakoon, 2017: 85). یکی از این مدل‌هایی که در دهه اخیر بسیار مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است اتوماسیون سلولی است. مدل اتوماسیون سلولی اخیراً به طور گسترده برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده شهری در تحقیقات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است و از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تحلیل هم‌زمان متغیرهای رشد شهری مورد استفاده قرار خواهند گرفت (xu & gao, 2019: 2). رشد شهری یک نظام پیچیده، شامل ترکیبات متنوع اقتصادی اجتماعی کالبدی و اکولوژیکی در مقیاس‌های زمانی و فضایی متفاوت است بنابراین، برای شناخت این پیچیدگی نیاز به دیدگاه سیستماتیک وجود دارد (cheng, 2003: 53) به این معنی که رفتار یک بخش کوچک به‌تنهایی بازمایی که قسمتی از یک سیستم بزرگ است تفاوت دارد. همبستگی فضایی یکی از مسائل پیچیدگی فضایی است. در رشد شهری، همبستگی فضایی به وسیله تأثیر مکان‌های مجاور بر تغییرات زمین نشان داده می‌شود که به وسیله تعداد ناشناخته‌ای از عوامل مشخص می‌شوند و می‌تواند دودسته: مثبت (محرک) یا منفی (محدودکننده) از سیستم مرتبط با رشد شهری باشد (Majedi et al., 2018: 378).

در دهه‌های اخیر شهرهای ایران نیز دچار تحولات چشمگیری شده‌اند، به طوری که روند رشد شهرنشینی در پی تحولات اقتصادی، اجتماعی، موجب رشد لجام‌گسیخته و بی‌قواره شهرهای با نقش ملی و ناحیه‌ای گردیده است (et al., 2011: 115). شهر همدان نیز با این چالش‌ها مواجه بوده است. افزایش جمعیت شهری، افزایش مهاجرت روستا به شهر، ساخت‌وساز در زمین‌هایی با خاک مرغوب کشاورزی، رویش سکونت‌گاه‌های غیررسمی در اطراف محدوده شهر، افزایش اختلاف طبقاتی بین مناطق شهری و غیره از جمله این موارد بوده است. رشد کالبدی شتابان شهر، بخش وسیعی از مرغوب‌ترین و بارزترین اراضی بلافصل شهر که از دیرباز شرایط زیست‌محیطی و کشاورزی کافی برای تفریح انسان‌ها و تولید محصولات کشاورزی در آن‌ها وجود داشته است نابود و یا در معرض نابودی قرار داده است؛ بنابراین عدم حاکمیت برنامه‌ریزی اصولی در مدیریت شهری، بر جهت توسعه شهر و همچنین کیفیت و چگونگی توسعه درونی آن تأثیر بسزایی داشته است.

اهداف مدل‌سازی به‌طور کلی عبارت است از شناخت دقیق ساختار و عملکرد یک سیستم به‌منظور کمک به حل مشکلات آن و در نهایت اصلاح یا بازسازی سیستم. مدل‌ها بر اساس اهداف مختلف موردنظر به چند نوع اصلی تقسیم می‌شوند: مدل‌های شناختی (توصیفی)، مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، مدل‌های تصمیم‌گیری و مدل‌های هنجاری. از دیدگاه این نظریه، شهر یک سیستم اجتماعی پویا و باز است که در آن سه سطح حرکت مکانیکی، زیستی و اجتماعی درهم‌آمیخته و با انواع فرا سیستم‌ها و زیرسیستم‌های متعدد در ارتباط است. از این نظر، شناخت کامل سیستم شهر و پیش‌بینی کل تحولات و تغییرات آن و برنامه‌ریزی دقیق و کامل برای تمام عناصر و اجزای آن تقریباً غیرممکن است. هدف از این پژوهش شناسایی و سنجش متغیرهای مؤثر در گسترش شهر و همچنین شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر همدان در دوره زمانی بعد جهت پیش‌بینی روند توسعه در برنامه‌ریزی‌های آتی تصمیم‌سازان می‌باشد. یکی از وجوه تشابه این پژوهش با پژوهش‌های پیشین صورت گرفته در هدف تحقیق است که آن شبیه‌سازی توسعه کالبدی است و هرکدام از پژوهش‌های قبلی یک یا چند متغیر را در تحقیق‌ها موردبررسی قرار داده‌اند؛ اما تفاوت تحقیق حاضر با پژوهش‌های قبلی در به‌کارگیری مدل‌هایی است که باعث گردیده ضمن پوشش نارسایی‌هایی هر مدل، نتایج واقعی‌تر را ارائه نماید. بدیهی است برای اعتبارسنجی، مدل ترکیبی حاضر در دوره‌های زمانی قبل اجرا شده و اعتبار بالایی را نشان داده است که در پژوهش اشاره شده است. در جدول (۱) پیشینه تحقیقات صورت گرفته و نتایج آن ارائه شده است.

جدول ۱. پیشینه تحقیقات صورت گرفته گذشته (۹۹-۱۳۷۵)

پژوهشگر	هدف	نتیجه	منبع
لیو و همکاران	شبیه‌سازی فضایی زمانی شهری	نتایج واقع‌بینانه اجرای این روش نشان داد که این مدل از نظر امکان‌پذیر و معتبر است. کار بیشتری برای کالیبره کردن مدل هنگام استفاده از آن برای شبیه‌سازی توسعه واقعی شهری لازم است.	liu et al (2003)
ماندیا و آنیا	شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین	پویایی مکانی و زمانی رشد سطح شهر، مبنایی را برای برنامه‌ریزی بهتر و سازماندهی مکانی مؤثر از فعالیت‌های شهری برای توسعه آینده شهرها تشکیل می‌دهد.	Mundia, Aniya (2005)
سیفارد و همکاران	پیش‌بینی اثرات رشد شهری	تغییر کاربری اراضی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل انسانی بر اکوسیستم‌های زمینی تأثیر می‌گذارد و باعث از بین رفتن زیستگاه‌ها، قطعه‌قطعه شدن و تعامل با سایر مؤلفه‌های تغییر جهانی مانند تهاجم بیولوژیکی گونه‌های غیربومی شده است.	Syphard et al (2005)
وانگ و همکاران	شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر بر اساس ساخت مدل ابر اتوماسیون سلولی	اندازه‌گیری عدم اطمینان هنگام ساخت مدل مورد غفلت قرار گرفته است. مدل ابر می‌تواند عدم اطمینان و انتشار آن را بیان کند. نتایج نشان داد که مدل ابر عملکرد بهتری نسبت به مدل قبلی با شاخص‌های کاپا بالاتر و شایستگی نشان می‌دهد.	Wang et al (2012)
لیائو و همکاران	شبیه‌سازی سناریوهای پراکنده رویی شهری	نتایج نشان می‌دهد این روش می‌تواند به مدیریت شهری کمک کند تا تعادل بین توسعه و حفاظت از محیط‌زیست برقرار کند.	liao et al (2019)
یو و همکاران	هدایت رشد شهری با استفاده از محدودیت‌های زیست‌محیطی	نتایج نشان می‌دهند که ۲۲،۹۹۶ درصد کاهش در میزان کلی از بین رفتن اکولوژیکی تحت محدودیت زیست‌محیطی. بر اساس شبیه‌سازی رشد شهری، کمترین ضرر زیست‌محیطی را داشته است.	Yu et al (2019)
ژو و همکاران	شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین با استفاده از زنجیره مارکوف	نتایج نشان‌دهنده این است که برنامه‌ریزی منطقی شهری با شبیه‌سازی تغییرات پیچیده و پویا می‌تواند به‌طور مؤثر ساختار فضایی شهری را بهینه کند.	Zhou et al (2020)

## روش پژوهش

**رگرسیون لجستیک:** در تحلیل‌های چند متغیره چنانچه متغیر وابسته یا پاسخ دوحالتی باشد مدل رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود (کرم و دیگران، ۱۳۸۹: ۴۸). فرض اساسی رگرسیون لجستیک به این صورت است که متغیر وابسته، گسسته باشد (fanget al., 2005: 294). در رگرسیون لجستیک متغیر وابسته بولین بوده و رابطه بین متغیر وابسته و مستقل غیرخطی است (park et al., 2011: 108)؛ که بیانگر دو حالت است، این حالت‌ها می‌تواند به‌صورت بلی و خیر باشد که به‌صورت صفر و یک نشان داده می‌شوند. مقادیر بالاتر از ۰٫۵ به یک تبدیل شده و مقادیر کمتر از ۰٫۵ به صفر تبدیل خواهند شد. رابطه مدل رگرسیون لجستیک به شکل زیر است.

$$p(y = 1|X) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)}$$

در این رابطه P احتمال متغیر واسطه که مقدار آن یک است، X متغیرهای مستقل را تشکیل می‌دهد و B پارامترهای برآورد شده می‌باشند، به گونه‌ای که برای خطی کردن مدل معمولاً تبدیل زیر اعمال می‌گردد که از آن به عنوان تبدیل لجستیک یاد می‌شود:

$$P' = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right)$$

تمامی مقادیر را می‌توان بین مثبت و منفی بی‌نهایت فرض کرد؛ ما می‌توانیم مدل رگرسیون خطی استاندارد را به صورت زیر نیز به دست آوریم و سپس خروجی این مدل، میزان احتمال تغییر کاربری را با توجه به متغیر وابسته در آینده را نشان می‌دهد.

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

**زنجیره مارکوف:** الگوی مارکوف را در سال ۱۹۰۷، فردی روسی به نام آندری آندریویچ مارکوف ارائه کرد (Balzter, 2000: 141). به کارگیری مدل زنجیره مارکوف، احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین زمان t0 و t1 محاسبه می‌شود (Sang et al., 2011: 940). زنجیره مارکوف بیان‌کننده توالی متغیرهای تصادفی مانند x1, x2, x3, ... است. اگر مجموعه‌ای از حالات را به صورت رابطه: S = {S1, S2, S3, ..., Sr} داشته باشیم، رابطه ذیل چگونگی به دست آمدن Pij را نشان می‌دهد:

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^r p_{ik} p_{kj}$$

در این الگو، دو نقشه مربوط به دو دوره زمانی به صورت ماتریسی با یکدیگر مقایسه می‌شوند، به طوری که بر اساس بیشترین احتمال پیش‌بینی می‌شود که هر پیکسل در هر کلاس با چه احتمالی در همان کلاس می‌ماند یا به کلاس دیگر تبدیل می‌شود. روش زنجیره مارکوف، تصاویر پهنه‌بندی کاربری زمین را تحلیل می‌کند و یک خروجی به شکل ماتریس احتمالی تغییرات و یک تصویر خروجی از تغییرات را برای سال چشم‌انداز ارائه می‌دهد (Khammar & Namazi, 2017: 85).

**اتوماسیون سلولی:** مدل اتوماسیون سلولی قابلیت خود را در ایجاد الگوهای مختلف فضایی نشان داده‌اند. این مدل‌ها را می‌توان به سه کلاس اصلی تقسیم کرد. دسته اول مدل‌هایی که بر روی مدل‌های استاتیک اقتصادی و مکانی شکل گرفته‌اند. دسته دوم مدل‌های پویای شهری هستند. دسته سوم مدل‌های شبیه‌سازی اتوماسیون سلولی، عامل مبنای هستند که دربرگیرنده شبیه‌سازی رشد شهری، شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین و غیره می‌باشند. اتوماسیون سلولی متشکل از عناصر زیر است (barredo et al., 2003: 150):

الف) شبکه سلولی: شامل شبکه مستطیل شکلی از سلول‌های مربع شکل هستند که هر ناحیه اندازه مختص به خود را دارد. درواقع فضایی که اتوماسیون سلولی در آن وجود دارد، شبکه سلولی نام دارد و در طول زمان تکامل و تغییر می‌یابد (Rezazadeh, mirahmadi, 2009: 48).

ب) وضعیت سلول: حالتی است که هر سلول در فرآیند تکامل می‌تواند داشته باشد. در مدل اتوماسیون سلولی هر چه تعداد وضعیت کمتر باشد، طبیعتاً آن مدل ساده‌تر خواهد بود. وضعیت سلول در مدل اولیه خود غالباً دارای وضعیت بولین یا صفر و یک هستند (white & engelen, 2000: 386).

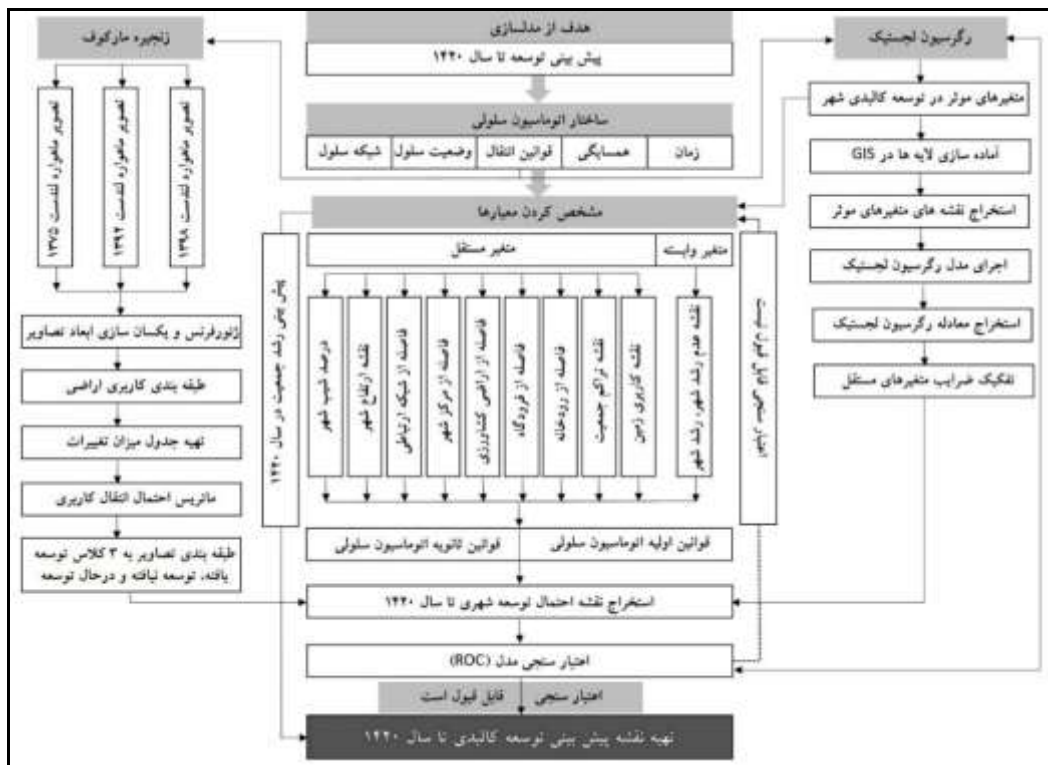
ج) همسایگی سلول: دربردارنده خود سلول و تعدادی سلول دیگر در شعاع خاصی از سلول مورد آزمایش است (Rezazadeh, mirahmadi, 2009: 48).

د) تأثیر همسایگی: سلول‌هایی که از این همسایگی دورتر هستند، تأثیر کمتری در سلول مرکزی ارزیابی شده دارند و همین‌طور هر چه این همسایگی نزدیک‌تر باشد، تأثیر بیشتری را خواهد گذاشت (barredo et al., 2003: 150).

ه) قوانین انتقال: به عنوان موتور اصلی تغییرات در مدل اتوماسیون سلولی رفتار سلول‌ها را طی فرآیند تکامل، در مراحل زمانی مختلف، مشخص و وضعیت آینده سلول را مشخص می‌کنند این قوانین، طرز عمل سیستم واقعی را منعکس می‌کنند، پویایی

سیستم در اثر تجزیه سیستم‌ها به عناصر ساده خواهد بود (Chopard et al., 1996: 2332; Nagel, Schreckenburg, 1992: 2226).

در این تحقیق تلاش می‌شود تا با به‌کارگیری مدل اتوماسیون سلولی، رشد کالبدی شهر همدان برای سال ۱۴۲۰ شبیه‌سازی گردد. پس از تبیین ساختار اتوماسیون سلولی متغیرهای وابسته و مستقل تدوین گردید و نهایتاً نقشه احتمال توسعه شهری استخراج گردید. در پژوهش حاضر از رگرسیون لجستیک جهت بررسی نقش هر متغیر در فرآیند توسعه شهری همدان با تدوین متغیرهای مؤثر در توسعه کالبدی و ماده‌سازی لایه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی به تفکیک ضرایب متغیرهای مستقل استفاده شد؛ و همچنین از زنجیره مارکوف برای ارزیابی تغییرات سلول‌ها در طول زمان با توجه به جمعیت ادوار مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سه دوره زمانی و طبقه‌بندی کاربری اراضی به سه کلاس توسعه‌یافته، توسعه‌نیافته و درحال توسعه بکار گرفته شده است. شکل (۱) مراحل شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر همدان با استفاده از اتوماسیون سلولی، زنجیره مارکوف و رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد.



شکل ۱. مراحل شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر همدان

## قلمرو و جغرافیایی پژوهش

شهر همدان یکی از شهرهای غربی و کوهستانی ایران و مرکز شهرستان و استان همدان است. این شهر در دامنه کوه الوند و در بلندی ۱۹۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است و از شهرهای سردسیر ایران به شمار می‌آید. همدان قدیمی‌ترین شهر ایران و از کهن‌ترین شهرهای جهان است. شهرستان همدان، از شمال به شهرستان‌های رزن و کبودآهنگ، از جنوب به تویسرکان و ملایر، از شرق به استان مرکزی و از غرب به شهرستان بهار محدود می‌شود.

## یافته‌ها و بحث

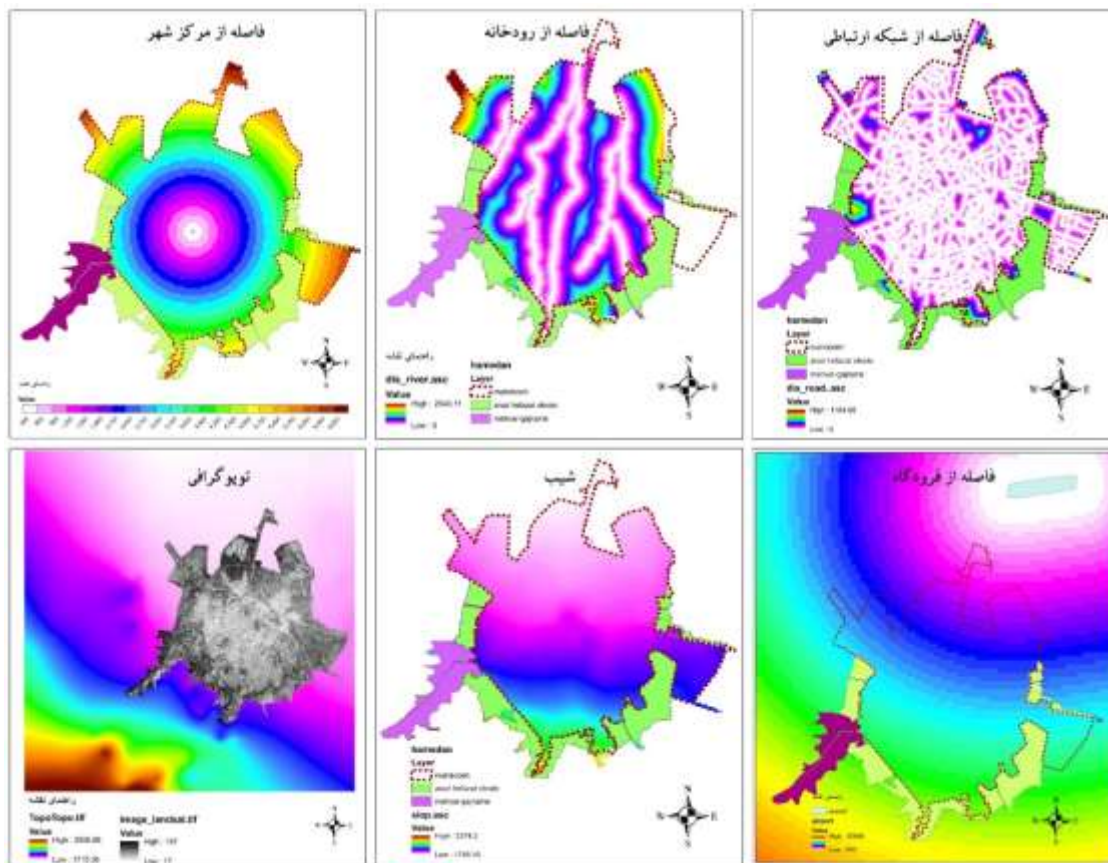
تحلیل تأثیر متغیرهای مختلف در رشد کالبدی شهر همدان با استفاده از رگرسیون لجستیک: داده‌هایی که برای اجرای این مدل مورداستفاده قرار گرفت شامل نقشه‌های کاغذی، نقشه‌های رقومی و همچنین نقشه‌های شهری شهر همدان که توسط نگارنده تهیه شده است (جدول ۲). بیشتر داده‌های موجود آماده ورود به محیط GIS نبودند که GIS ready گردیدند. سرانجام، بر اساس

عوامل دخیل در رشد شهر در منطقه مورد مطالعه ورودی‌های مدل به صورت زیر انتخاب گردید. پس از تبدیل لایه‌ها به فرمت رستری، تابع تحلیلی فاصله از هر یک از آن‌ها را به دست آمد.

جدول ۲. متغیرهای مؤثر در توسعه کالبدی شهر

ردیف	متغیر	متغیر مؤثر در رشد شهر	ماهیت	علامت اختصاری
A <sub>1</sub>	مستقل	ارتفاع	پیوسته	Dem
A <sub>2</sub>		شیب شهر	پیوسته	Slope
A <sub>3</sub>		فاصله از شبکه ارتباطی	پیوسته	road
A <sub>4</sub>		فاصله از مرکز شهر	پیوسته	center
A <sub>5</sub>		فاصله از اراضی کشاورزی	پیوسته	agriculture
A <sub>6</sub>		فاصله از فرودگاه	پیوسته	airport
A <sub>7</sub>		فاصله از رودخانه	پیوسته	river
A <sub>8</sub>		تراکم جمعیت	پیوسته	Density
A <sub>9</sub>		کاربری زمین	گسسته	Landuse
۱۰	وابسته	عدم رشد شهر ۱. رشد شهر (شهری) ۰. گسسته (بولین)		

متغیر وابسته، رشد شهر یا عدم رشد شهر به وجود آمده طی ۳۳ سال اخیر و پیش‌بینی رشد در آینده را مشخص می‌نماید و متغیرهای مستقل، فاکتورهای متعدد مؤثر در رشد شهر (ارتفاع، شیب شهر، شبکه ارتباطی، مرکزیت شهر، اراضی کشاورزی، فرودگاه، فاصله از رودخانه، تراکم جمعیت و کاربری زمین) می‌باشد.



شکل ۲. تولید لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای مؤثر در توسعه کالبدی شهر

نتایج اجرای مدل رگرسیون لجستیک: اجرای مدل رگرسیون لجستیک برای کاربری شهر در دوره زمانی ۱۳۷۵-۱۳۹۸ با متغیرهای مذکور، به ایجاد معادله جدول (۳) منجر شد. نتایج معادله رگرسیون لجستیک نشان داده از ۹ متغیر مورد بررسی ضرایب ۳ عامل ارتفاعات، شبکه ارتباطی و اراضی کشاورزی در طی سال‌های اخیر رابطه منفی را رشد شهر داشته‌اند.

جدول ۳. معادله مدل رگرسیون لجستیک

دوره زمانی	معادله حاصل از رگرسیون
۱۳۷۵-۱۳۹۸	$\text{Logit (BOOLEAN - LANDUSE)} = -0.923651 * \text{dem} + 0.862597 * \text{slope} - 1.025893 * \text{road} + 3.652147 * \text{center} - 0.017214 * \text{agriculture} + 0.752415 * \text{airport} + 0.014582 * \text{river} + 2.521041 * \text{density} + 1.963251 * \text{Landuse}$

این معادله نشان می‌دهد هر یک از متغیرها با یک ضریب مشخص که به‌عنوان میزان اثر متغیر بر رشد شهر است، در معادله حضور دارند. ضرایب مثبت نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته و ضرایب منفی نشان‌دهنده ارتباط معکوس بین این متغیرهای هستند. جدول (۴) ضرایب هر یک از متغیرها را در مدل رگرسیون لجستیک برای رشد شهری نشان می‌دهد.

جدول ۴. تفکیک ضرایب متغیرهای مستقل در مدل رگرسیون لجستیک

متغیر	ضریب
ارتفاعات	-0.923651
شیب	0.862597
شبکه ارتباطی	-1.025893
فاصله از مرکز	3.652147
کشاورزی	-0.017214
فاصله از فرودگاه	0.752415
فاصله از رودخانه	1.014582
تراکم	2.521041
کاربری زمین	1.963251

تحلیل تغییرات کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف: در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی که تاکنون اجرا گردیده‌اند، از تصاویر ماهواره‌ای برای به‌روزرسانی نقشه‌های شهری استفاده شده است. تصاویر سنجنده‌های ماهواره لندست جهت پردازش، از سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS) اخذ شدند. بدیهی است ملاک عمل انتخاب تصاویر، تصویربرداری در روز، بدون ابر و ماه‌هایی از سال که پوشش گیاهی در حالت حداکثر بودند، بوده است. در این تحقیق از سه تصویر چند زمانه مطابق با جدول ۵ استفاده گردیده است.

جدول ۵. داده‌های چند زمانه سنجش از دور استفاده شده

ردیف	ماهواره	سنجنده	تفکیک مکانی	تفکیک رادیومتریک
۱	تصویر ماهواره‌ای لندست ۱۳۷۵	ETM	۳۰ متر	۸ بیت
۲	تصویر ماهواره‌ای لندست ۱۳۹۲	OLI\TIRS	۳۰ متر	۱۶ بیت
۳	تصویر ماهواره‌ای لندست ۱۳۹۸	OLI\TIRS	۳۰ متر	۱۶ بیت

منبع: USGS وب‌سایت زمین‌شناسی آمریکا، ۱۳۹۲، ۱۳۹۸

پس از برش تصاویر ماهواره‌ای طبق محدوده شهر، به‌منظور تعیین کاربری‌های موجود در شهر همدان و مناطق پیرامونی محدوده؛ با استفاده از روش طبقه بنده نظارت‌شده در نرم‌افزار ARCGIS 10.7 و IDRISI Selva 17 تصاویر موردنظر طبقه‌بندی شدند و سپس امکان تفکیک طبقات مختلف کاربری میسر گردید. به‌منظور صحت سنجی نقشه‌های تولیدشده از تصاویر ماهواره‌ای دریافتی، میزان دقت کلی و کاپا برای نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده در جدول (۶) نشان داده شده است. دقت کمتر تصویر ماهواره‌ای ۱۳۷۵، دو علت دارد، اول این‌که سنجنده TM در مقایسه با سنجنده OLI\TIRS از کیفیت کمتری برخوردار است و دوم این‌که قدرت تفکیک رادیومتریک در تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۷۵ نسبت به سال‌های بعدی پایین‌تر است.



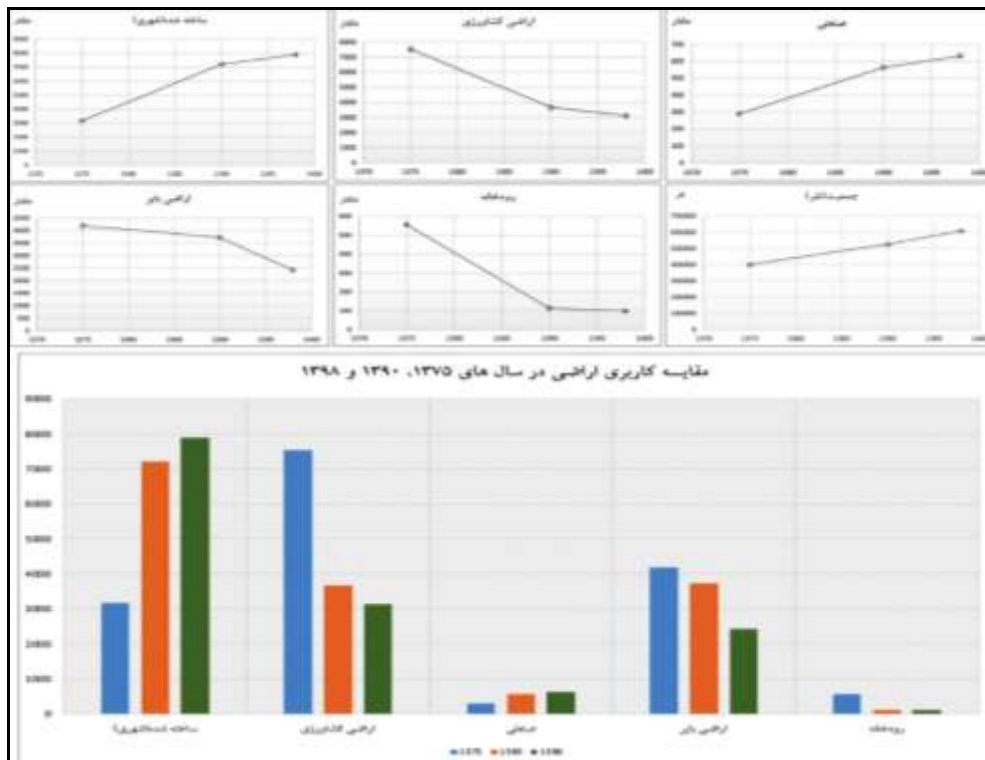
جدول ۶. میزان کاپا و صحت سنجی نقشه‌های ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده

ردیف	سال تصویر ماهواره‌ای	میزان کاپا	میزان دقت کلی
۱	۱۳۷۵	۰/۷۸	۰/۸۰
۲	۱۳۹۰	۰/۹۲	۰/۹۳
۳	۱۳۹۸	۰/۹۲	۰/۹

طبق جدول (۷) نتایج طبقه‌بندی تصاویر نشان می‌دهد ۱۴۰۹۸۳ سولول معادل ۳۱۷۲ هکتار از سطح کل منطقه در سال ۱۳۷۵ را مناطق ساخته‌شده (شهری) تشکیل می‌دهند و ۱۲۵۶۵ هکتار از سطوح را مناطق غیرشهری تشکیل داده‌اند. در سال ۱۳۹۸ تعداد ۳۵۰۹۴۲ سولول معادل ۷۸۹۶ هکتار از مساحت منطقه را کاربری شهری شکل داده است و ۶۲۷۲ هکتار را مناطق غیرشهری تشکیل داده‌اند. مساحت اراضی کشاورزی از ۷۵۳۲ هکتار در سال ۱۳۷۵ به ۳۶۷۱ هکتار در سال ۱۳۹۰ و نهایتاً ۳۱۲۵ هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده است. مساحت رودخانه‌ها در شهر همدان از ۵۵۶ هکتار در سال ۱۳۷۵ به ۹۸ هکتار در سال ۱۳۹۸ رسیده است. دو علت را می‌توان برای این موضوع متصور بود اولاً اینکه در طول این دوره با وقوع خشک‌سالی و کاهش بارندگی بسیاری از این رودخانه‌ها یا بسیار کم آب و یا خشک‌شده‌اند، ثانیاً مدیران به سمت پوشاندن رودخانه‌ها گرایش پیدا کردند؛ بنابراین بخش عمده‌ای از این ۴۵۸ هکتار، به کاربری ساخته‌شده (شهری) تبدیل شده است.

جدول ۷. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به تفکیک کاربری

شاخص‌ها	۱۳۷۵		۱۳۹۰		۱۳۹۸	
	سولول	مساحت	سولول	مساحت	سولول	مساحت
ساخته‌شده (شهری)	۱۴۰۹۸۳	۳۱۷۲	۳۲۰۱۴۲	۷۲۰۳	۳۵۰۹۴۲	۷۸۹۶
اراضی کشاورزی	۳۳۴۷۶۴	۷۵۳۲	۱۶۳۱۵۵	۳۶۷۱	۱۳۸۸۱۹	۳۱۲۵
صنعتی	۱۲۸۸۹	۲۹۰	۲۵۰۲۲	۵۶۳	۲۸۰۴۴	۶۳۱
اراضی بایر	۱۸۶۰۹۷	۴۱۸۷	۱۶۵۵۵۵	۳۷۲۵	۱۰۷۴۶۷	۲۴۱۸
رودخانه	۲۴۷۲۰	۵۵۶	۲۸۲۵	۱۱۳	۳۴۵۶	۹۸
جمعیت (نفر)	۴۰۱۲۸۱		۵۲۵۷۹۴		۶۰۷۳۱۱	



شکل ۳. مقایسه کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۸

زنجیره مارکوف، تغییرات ایجادشده در منطقه مورد مطالعه را برحسب زمان نشان می‌دهد. با توجه به ماتریس احتمال می‌توان نتیجه گرفت رشد مناطق شهری همچنان ادامه خواهد داشت و اراضی بایر و کشاورزی به سمت مناطق شهری سوق داده خواهند شد. جدول (۸) ماتریس احتمال تبدیل کاربری‌ها با استفاده از تحلیل زنجیره ماروف در سال پیش‌بینی ۱۴۲۰ نشان می‌دهد.

جدول ۸. ماتریس احتمال تبدیل کاربری‌ها با استفاده از تحلیل زنجیره ماروف در سال ۱۴۲۰

کاربری	ساخته شده (شهری)	اراضی کشاورزی	صنعتی	اراضی بایر	رودخانه
ساخته شده (شهری)	۰/۷۲۲	۰/۰۱۳	۰/۱۴۲	۰/۱۲۲	۰/۰۰۱
اراضی کشاورزی	۰/۳۱۱	۰/۴۵۴	۰/۰۸۸	۰/۱۴۵	۰/۰۰۲
صنعتی	۰/۰۷۳	۰/۰۰۵	۰/۹۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱
اراضی بایر	۰/۱۹۱	۰/۰۶۱	۰/۱۶۶	۰/۵۷۳	۰/۰۰۹
رودخانه	۰/۰۷۶	۰/۰۳۵	۰/۰۱۳	۰/۲۵۱	۰/۶۲۵

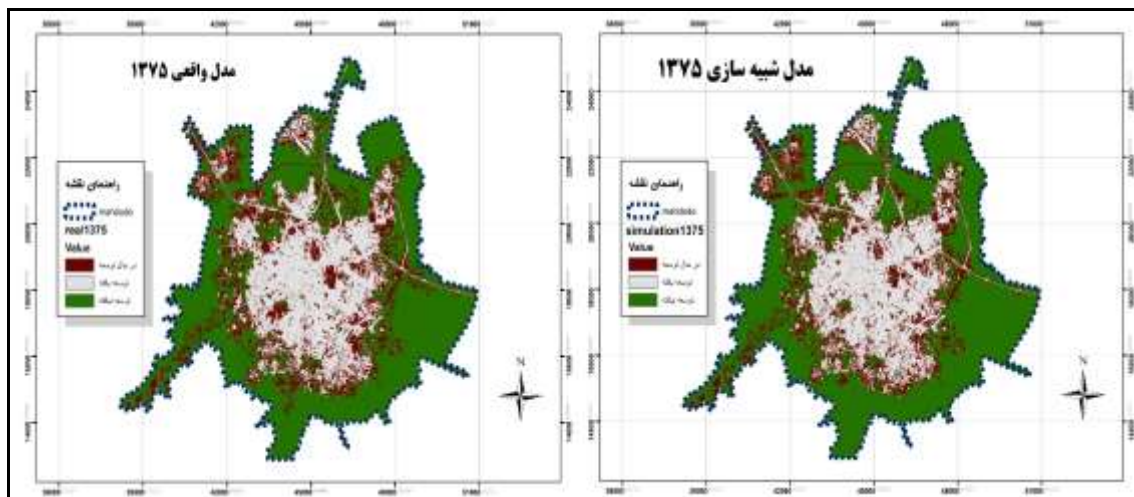
قوانین تبدیل در اتوماسیون سلولی: به منظور تعریف قوانین انتقال در توسعه شهری، فرآیند توسعه شهری غیرقابل برگشت است؛ چنانچه یک سلول به طور کامل شهری شود در وضعیت شهری باقی خواهد ماند. جدول (۹) امکان تبدیل وضعیت‌های سلول از منطقه غیرشهری تا درحال توسعه و سپس شهری از زمان ۱ به زمان ۲ را نمایش می‌دهد.

جدول ۹. تبدیل گذارهای شهری از مناطق غیرشهری به محدوده درحال توسعه و شهری

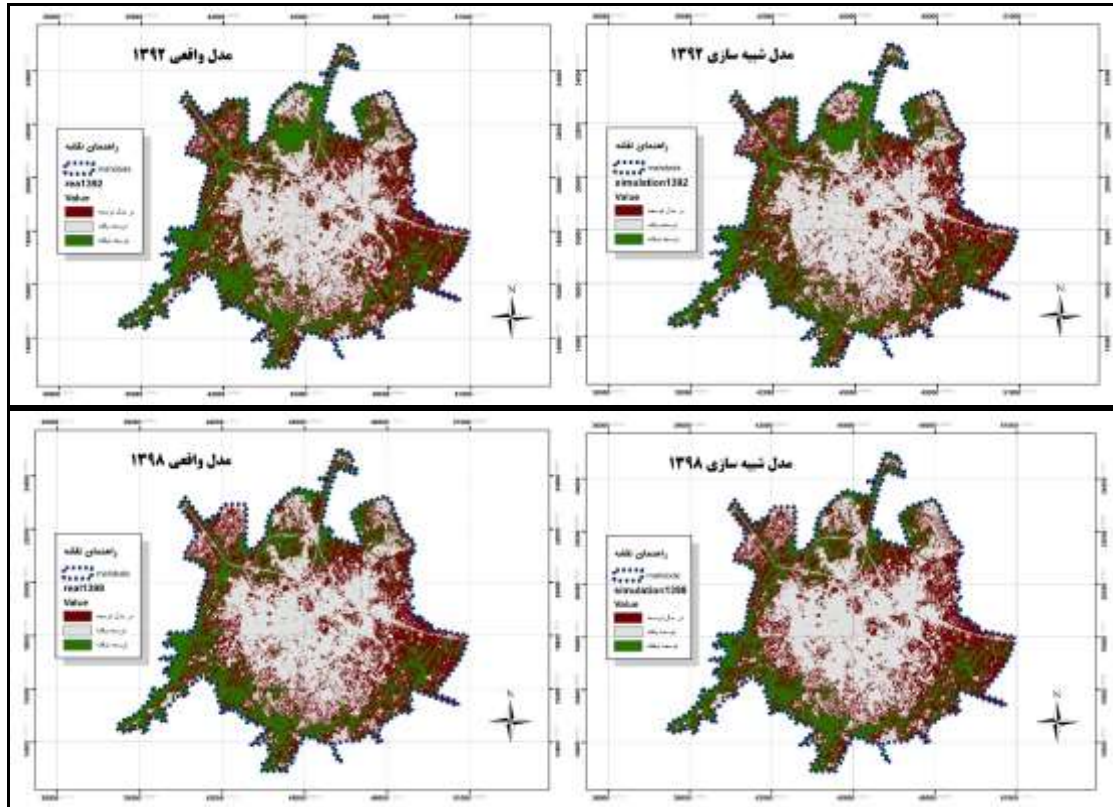
شهری	درحال توسعه	غیرشهری	زمان ۱ زمان ۲
غیرشهری	اتفاق نمی‌افتد	بدون تغییر در وضعیت	غیرشهری
درحال توسعه	اتفاق نمی‌افتد	امکان تغییر در وضعیت وجود دارد	درحال توسعه
شهری	بدون تغییر در وضعیت	امکان تغییر در وضعیت وجود دارد	شهری

منبع: جباری و احمدی، ۱۳۹۱: ۱۶۲

باید به این نکته توجه داشت که متغیرهای مؤثر در توسعه شهری به صورت بولین نخواهند بود. این متغیرها می‌توانند در تأثیرگذاری بر روی توسعه شهری قوی، متوسط یا ضعیف عمل کند. بر اساس مطالعات فوق و خروجی‌های محاسبات صورت گرفته در رگرسیون لجستیک زنجیره مارکوف، مدل سازی رشد شهر سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ انجام گرفت که در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ آورده شده است.



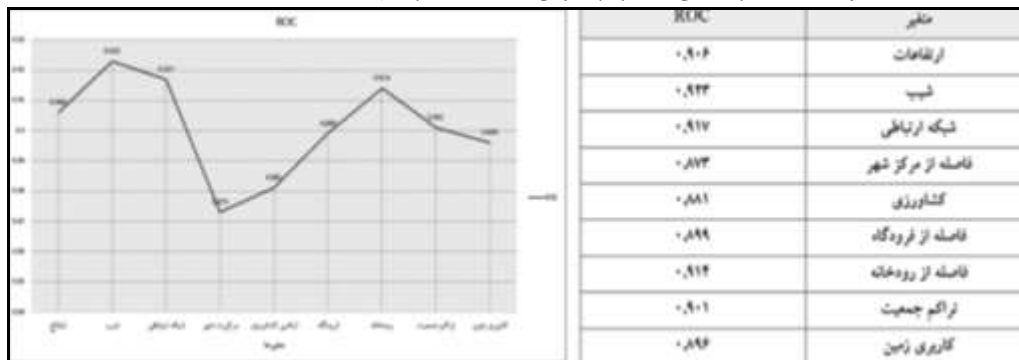
شکل ۴. مدل سازی رشد شهر سال ۱۳۷۵



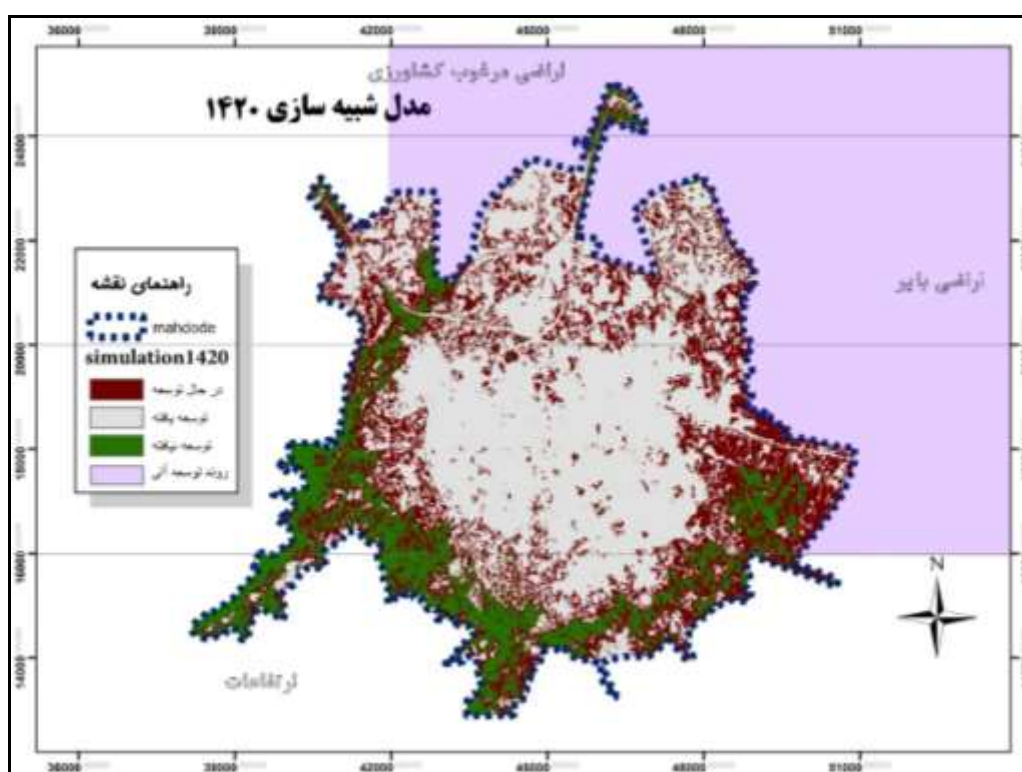
شکل ۵. مدل‌سازی رشد شهر سال ۱۳۹۸

اعتبارسنجی با استفاده از روش ROC: به منظور صحت‌سنجی مدل‌سازی حاضر، رشد شهر در سال ۱۳۹۸ شبیه‌سازی گردید. مقایسه و همپوشانی نقشه پیش‌بینی‌شده برای سال ۱۳۹۸ و نقشه واقعی موجود شهر نیز بیانگر تطابق بالایی بین دو نقشه وجود دارد و تا حد بالایی صحت مدل‌سازی را تأیید می‌کند. اگرچه این مدل‌سازی پیش‌بینی آینده کالبدی شهر را انجام می‌دهد اما شناخت عواملی که بیشترین تأثیر را در توسعه کالبدی شهری دارند برای برنامه‌ریزی آتی شهر بسیار مؤثر است از این جهت از روش ROC برای این هدف استفاده شده است. مقدار ROC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. ۱ نشان‌دهنده تطابق کامل و ۰/۵ نشان‌دهنده تطابق اتفاقی است با توجه به نتایج به‌دست‌آمده میزان ROC برای این مدل ۰/۹۰۹ به دست آمد که نشان می‌دهد تطابق مناسبی بین متغیر وابسته و متغیر مستقل برقرار است. پس از مدل‌سازی کلی مجموع متغیرهای مستقل، مدل به تفکیک متغیرهای مستقل دوباره به مرحله اجرا درآمده و میزان تأثیر هر کدام از متغیرها در رشد شهری سنجیده می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱۰ مشخص است در مدل‌سازی رگرسیون لجستیک متغیر مرکزیت شهر (۰/۸۷۳) و اراضی کشاورزی (۰/۸۸۱) دارای بیشترین تفاوت با میزان‌های ROC متغیرهای دیگر می‌باشند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که متغیر مرکزیت شهر و اراضی کشاورزی دارای بیشترین تأثیر در رشد شهری همدان طی ۲۳ سال اخیر داشته است.

جدول ۱۰. اعتبارسنجی مدل رگرسیونی با حذف متغیرهای مستقل (۱۳۷۵-۱۳۹۸)



سنجش توسعه کالبدی شهر همدان در دوره ۱۳۹۸-۱۴۲۰: با استفاده از مدل ترکیبی اتوماسیون سلولی و زنجیره مارکوف و رگرسیون لجستیک توسعه کالبدی برای سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی گردید. از نقشه شکل ۷ می‌توان نتیجه گرفت گرایش به توسعه بیشتر از جهت شمال و شرق خواهد بود. در شمال محدوده شهر همدان زمین‌هایی با خاک حاصلخیز و مرغوب جهت کشاورزی واقع شده‌اند، نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد روند توسعه شهر به سمت این مناطق به از بین رفتن زمین‌های کشاورزی منجر و روند گذشته همچنان ادامه خواهد داشت؛ اما اراضی که در شرق محدوده شهری هستند اراضی مناسبی برای توسعه تشخیص داده شده‌اند.



شکل ۶. شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر همدان در دوره ۱۳۹۸-۱۴۲۰

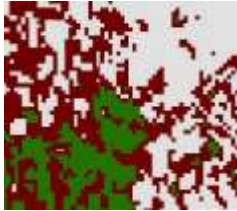
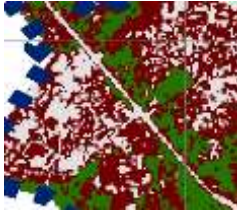
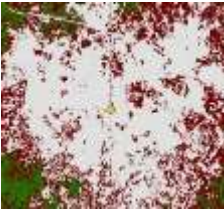

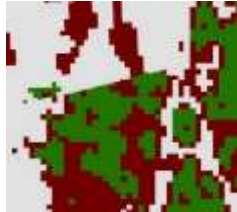
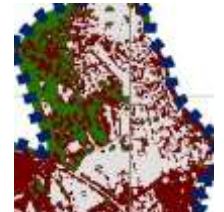
## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد متغیرهایی که به ترتیب در روند توسعه کالبدی شهر همدان نقشی مثبت داشته‌اند عبارت‌اند از مرکزیت شهر (۳/۶۵۲۱)، تراکم جمعیتی (۲/۵۲۱۰)، کاربری زمین (۱/۹۶۳۲)، فاصله از رودخانه (۱/۰۱۴۵)، شیب زمین (۰/۸۶۲۵) و فاصله از فرودگاه (۰/۷۵۲۴) بوده‌اند و همچنین متغیرهایی که به ترتیب در این روند نقشی منفی داشته‌اند عبارت‌اند از شبکه ارتباطی (۱/۰۲۵۸)، ارتفاعات (۰/۹۲۳۶) و فاصله از اراضی کشاورزی (۰/۱۷۲) بوده‌اند.

نتایج فوق نشان می‌دهد که مساحت مناطق ساخته‌شده (شهری) در سال ۱۳۷۵ در مقایسه با ۱۳۹۰ بیش از دو برابر شده است و در مقایسه با سال ۱۳۹۸ تقریباً ۲/۵ برابر شده است. به طوری که تعداد سلول در سال ۱۳۷۵، ۱۴۰۹۸۳ می‌باشد این مقدار در سال ۱۳۹۵ به ۳۲۰۱۴۲ افزایش یافته و در سال ۱۳۹۸ به ۳۵۰۹۴۲ رسیده است. از طرف دیگر رشد جمعیت در طول این ۲۳ سال ۱/۴۸ برابر شده است. این مسئله نشان می‌دهد نسبت رشد مناطق شهری از نسبت رشد جمعیت در شهر همدان به شدت پیشی گرفته است که این امر وقوع رشد میان افزا و توسعه فشرده را در سال‌های مذکور منتفی کرده است. اعداد به‌دست‌آمده حاصل از خروجی‌های نقشه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد بخشی از این افزایش مناطق ساخته‌شده با از بین رفتن اراضی کشاورزی حاصل شده است به طوری که مساحت این اراضی در انتهای دوره در مقایسه با ابتدای دوره تقریباً به نصف کاهش پیدا کرده است. ممکن است علت این موضوع صرفاً گسترش شهر نبوده باشد و علل مختلفی از قبیل افت شدید منابع آبی، عدم صرفه اقتصادی کشاورزان، دگرگونی ساختار کشاورزی سنتی و رو آوری به کشاورزی صنعتی و عوامل متعدد دیگر داشته باشد اما

این تحولات نشان‌گر این است که با ادامه این روند در دهه‌های آتی، محدوده شهر همدان به محیطی عمدتاً ساخته‌شده تبدیل خواهد شد به طوری که تغییرات با شدت بیشتری اتفاق خواهد افتاد و شهر همدان در افق پیش‌بینی، با کمبودهای شدید فضاهای سبز و اراضی کشاورزی مواجه خواهد شد که این تحولات، علاوه بر تخریب منابع زیست‌محیطی، تغییرات شدید اکولوژیکی را نیز به بار خواهد آورد. پس از چند مرتبه تکرار شبیه‌سازی در دوره‌های مختلف و واکاوی و تحلیل نقشه‌های مذکور در شهر همدان ۶ مورد زیر استنتاج گردید. البته این موارد در شهر همدان به وجود آمده‌اند و قابل‌تعمیم به سایر شهرها نخواهد بود؛ به عبارت دیگر هر شهر بر اساس ویژگی‌های خود در چگونگی رشد منحصر به فرد است. در جدول (۱۱) به آن‌ها اشاره گردیده است.

جدول ۱۱. نتایج اخذ شده از اجرای مدل‌سازی در شهر همدان

نتایج	لب مرزها سلول‌های در حال توسعه شکل می‌گیرند.	بر اساس رشد جاده شهر هم توسعه یافته است.	توسعه پیرامون مرکز به شدت فعال بوده است.
تصویر			
نتایج	پیرامون مناطق شهری، مناطق در حال توسعه شکل می‌گیرند.	احتمال کمی دارد مناطق شهری مستقیماً به مناطق غیرشهری متصل شوند.	توسعه شهر پیرامون شهرک‌های داخلی اتفاق افتاده است.
تصویر			

وجه اشتراک نتیجه این تحقیق با تحقیق‌های دیگر در بازدهی بالای این رویکرد در توسعه کالبدی شهر را نشان می‌دهد. بدیهی است هر چه متغیرهای مورد استفاده بیشتر و واقعی‌تر باشند نتایج نیز به واقعیت نزدیک‌تر خواهند بود. نتایج پژوهش‌های مبتنی بر مطالعه موردی عدم همسویی نتایج در شهرها را نشان می‌دهند. شهرها به واسطه شرایط جغرافیایی، اجتماعی، کالبدی و غیره تفاوت‌های زیادی باهم دارند بنابراین نتایج تحقیق در هر شهر ممکن است متفاوت باشد. به عنوان مثال توسعه پیرامون مرکز در شهر همدان به شدت فعال بوده اما ممکن است در شهر دیگر این موضوع برقرار نباشد به همین دلیل است که شهرها به عنوان یک نظام پیچیده شناخته می‌شوند به طوری که متغیرهای بسیار زیادی در روندها و فرآیندهای آن مؤثر بوده و این متغیرها نیز دائماً بر روی هم اثر می‌گذارند که بر پیچیدگی آن‌ها می‌افزاید. با این تفاسیر درک جامعی از شهر با برنامه‌ریزی سنتی طبیعی است که امکان‌پذیر نخواهد بود. این نظام پیچیده با استفاده از مدل‌ها ساده‌شده و در پی آن قابل‌درک و مدیریت می‌شوند؛ بنابراین گذار از برنامه‌ریزی سنتی به برنامه‌ریزی نوین بر مبنای مدل‌سازی‌های مبتنی بر زمان در برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و مدیریت شهری نیازمند تغییر بنیادین در نوع نگاه برنامه‌ریزان شهری است که این امر مستلزم اعتماد ایشان به قدرت رویکردهای نوین در تهیه برنامه‌های شهری است.

### تقدیر و تشکر

این پژوهش مستخرج از رساله دکتری شهرسازی در گرایش برنامه‌ریزی شهری بوده که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین از آن دفاع شده است.

## منابع

- جباری، محمد کاظم و احمدی، سیمین. (۱۳۹۱). مدل سازی توسعه شهری با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و اتوماتای سلولی. زنجان: آذر کلک.
- غلامی، یونس؛ باعقدیه رودی، نصراله؛ خلجی، نسرین و حیاتی، سلمان. (۱۳۹۶). توسعه پایدار شهری با تاکید بر الگوی رشد هوشمند، تهران: عارف
- کرم، امیر؛ حجه فروش نیا، شیلا و حکیمی، حمید رضا. (۱۳۸۹). مدلسازی فضایی توسعه شهری با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، مطالعه موردی: شهر کرد. مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۰(۱۱)، ۴۱-۶۴.
- Balster, H. (2000). Markov Chain Models for Vegetation Dynamics. *Ecological Modeling*, 126, 139–154.
- Barredo, J. I. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 64, 145–160.
- Cheng, J. (2003). Modelling Spatial and Temporal Urban Growth. PhD Thesis. International institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC). The Netherlands.
- Chopard, B., Luthi, P.O., & Quelo, P-A. (1996). Cellular automata model of car traffic in a two-dimensional street network. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 29(10), 2325–2336.
- Fang, S., Z Gertner, G., Sun Z., & A. Anderson, A. (2005). The impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl. *Landscape and urban planning*, 73, 294- 306.
- Hathout, S. (2002). the use of GIS for monitoring and predicting urban growth in east and west ST paul, Winnipeg, maintoba. Canada, *journal of environmental management*, 66, 229-238.
- Khammar, G, & Namazi, B. (2017). Prediction and simulation of spatial-physical development pattern of the city of Chabahar, in the horizon of the year 1420 (2041), using RS and automated cells models. *journal of spatial planning*, 7(2), 78-94. (In Persian)
- Liao, J, Shao, G, Wang, C, Tang, L, Huang, Q, & Qiu, Q. (2019). Urban sprawl scenario simulations based on cellular automata and ordered weighted averaging ecological constraints, *Ecological Indicators*, 107.
- Liu, Y., & Phinn, S. R. (2003). Modelling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(6), 637-658.
- Majedi, H., Zebardast, E., & Mojarabi Kermani, B. (2018). The Analysis of Factors Affecting Urban Growth in Urmia, Using Logistic Regression. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 10(21), 377-392. (In Persian)
- Mirkatooli, J., ghadami, M., mahdian, M., & mohamadi, S. (2011). Study and survey of trend and physical- space expansion of Babolsar city with using Shannon's Entropy and Holdern models. *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 6(16), 115-133 (In Persian)
- Mundia, C. N., & Aniya, M. (2005). Analysis of land use/cover changes and urban expansion of Nairobi city using remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 26(13), 2831–2849.
- Nagel, K., & Schreckenburg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique*, 2, 2221-2229.
- Natale, V., & Junquera, Z. (2015). Assessment of the Conservation Status of Natural and Semi-Natural Patches Associated with urban Areas through Habitat Suitability Indices. *International journal environmental research*, 9, 495-504.
- Park, S., Jeon, S., Kim, S. & Choi, C. (2011). Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea. *Landscape and urban planning*, 99(2), 104-114.
- Rahnama, M., & Abaszadehm G. (2010). A comparative study and analyzing compactness/sprawl ratio in the metropolitan cities of Mashah and Sydney. *Journal of Geography and Regional Development*, 4(6), 101 – 128. (In Persian)
- Rezazadeh, R., & Mirahmadi, M. (2009). Cellular automata model, a new approach in urban growth simulation. *Journal of education*, 4(1), 47-55. (In Persian)
- Rolando, E., Caravantes, D., & Sanchez-flores, E. (2010). Water transfer effects on peri-urban landuse/landcover: a case study in a Semi- Arid region of Mexico. *Applied geography*, 31(2), 413-425.
- Sang, L., Zhang, Ch., Yang, J., & Wenju Yun, D. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3), 938-943.
- Syphard, D., Clarke, C., & Franklin, J. (2005). Using a cellular automaton model to forecast the effects of urban growth on habitat pattern in southern California. *Ecological Complexity*, 185–203.
- Tayyebi, A., & DarrelJenerette, G. (2016). Increases in the climate change adaption effectiveness and availability of vegetation across a coastal to desert climate gradient in metropolitan Los Angeles, CA, USA. *Science of the Total Environment*, 548–549, 60–71.

- Wang, H., He, S., liu, H., Dai, L., Pan, P., hong, S., & Zhang, W. (2012). Simulating urban xpansion using a cloud-based cellular automata model: A case study of Jiangxia, Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning*, 30(4), 591-611.
- Weerakoon, K. (2017). Analysis of spatio-temporal urban expansion using GIS integrated urban gradient analysis; Colombo District, Sri Lanka. *American Journal of Geographic Information System*, 6(3), 83-89.
- White, R., & Engelen, G. (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. Computers. *Environment and Urban Systems*, 24(5), 383-400.
- Xu, T., & GAO, J. (2019). Directional multi-scale analysis and simulation of urban expansion in Auckland, New Zealand using logistic cellular automata, Computers. *Environment and Urban Systems*, 78(2), 101390
- Yu, D., yanxu, l., & Bojie, f. (2019). Urban growth simulation guided by ecological constraints in Beijing city: Methods and implications for spatial planning. *Journal of Environmental Management*, 243, 402-410.
- Yu, W., Zang, Sh., Wu, Ch., liu, W., & Na, X. (2011). analyzing and modeling land use land cover change(LUCC) in the daqing city. *china, applied Geography*, 31(2), 600-608.
- Zhou, l., dang, X., Sun, Q., & Wang, S. (2020). Multi-scenario simulation of urban land change in Shanghai by random forest and CA-Markov model. *Sustainable Cities and Society*, 107, 2411-2502.

#### How to cite this article:

Hajibabaei, S., Ziari, K., & Zakerhaghighi, K. (2020). Measuring the Effective Variables on Urban Expansion and Physical Development Simulation of Hamadan City. *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 17(1), 49-62.

ارجا به این مقاله:

حاجی بابایی، سعید؛ زیاری، کرامت‌الله؛ و ذاکر حقیقی، کیانوش. (۱۴۰۱). سنجش متغیرهای مؤثر در گسترش شهر و شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهر همدان. فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، ۱۷(۱)، ۴۹-۶۲.