

# شبیه‌سازی و تحلیل الگوی رشد شهری کلان‌شهر اهواز با استفاده از مدل ترکیبی مارکوف-سلول‌های خودکار (Markov-CA)

آرمان خواجه برج سفیدی<sup>۲</sup>

علی سلطانی<sup>۳</sup>

استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز

کلیدواژگان: سلول‌های خودکار، ارزیابی چندمعیاری، تخصیص چندهدفی زمین، زنجیره‌های مارکوف، گسترش شهری.

۱. این تحقیق برگرفته از رساله کارشناسی ارشد رشته شهرسازی گرایش برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای آرمان خواجه برج سفیدی تحت عنوان شبیه‌سازی رشد شهری با استفاده از روش سلول‌های خودکار نمونه موردی: کلان‌شهر اهواز به راهنمایی دکتر علی سلطانی است که در بهمن‌ماه ۱۳۸۷ در دانشکده هنر و معماری دانشگاه شیراز ارائه و دفاع شده است.

۲. دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، نویسنده مسئول.

armankbs@gmail.com

3. soltani@shirazu.ac

4. sprawl

۵. تک:

J. Cheng and I. Masser,  
"Urban Growth Pattern  
Modelling".

این روش، حاکی از انطباق ۸۵ درصدی با واقعیت و بیانگر پیروزی کلان‌شهر اهواز از الگوی رشد پراکنده است.

## ۱. مقدمه

پدیده گسترش پراکنده شهری<sup>۱</sup> نوعی تغییر کاربری زمین محسوب می‌گردد. کیفیت ویژه این پدیده به علت نیروهای محرکه (اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، و کالبدی)، روابط و فرایندهای متقابل بین اجزاء آن است.<sup>۲</sup> با وجود اینکه مناطق شهری کوچک‌ترین نسبت سطح کره زمین را تشکیل می‌دهند، اما گسترش شهرها، نسبت به دیگر انواع تغییرات کاربری زمین، باعث تغییرات بزرگی در محیط شده است به طوری که پیامدهای نامطلوبی را در محیط پدید آورده است. افزایش آلودگی محیط زیست، افزایش سطوح نفوذپذیر، کاهش زمین‌های کشاورزی، اتلاف وقت ناشی از دوری محل کار نسبت به محل سکونت، کاهش ارتباطات اجتماعی، افزایش هزینه‌های ناشی از پخش بودن منابع، ادغام مناطق روستایی با بافت‌های شهری، و افزایش هزینه زیرساخت‌های

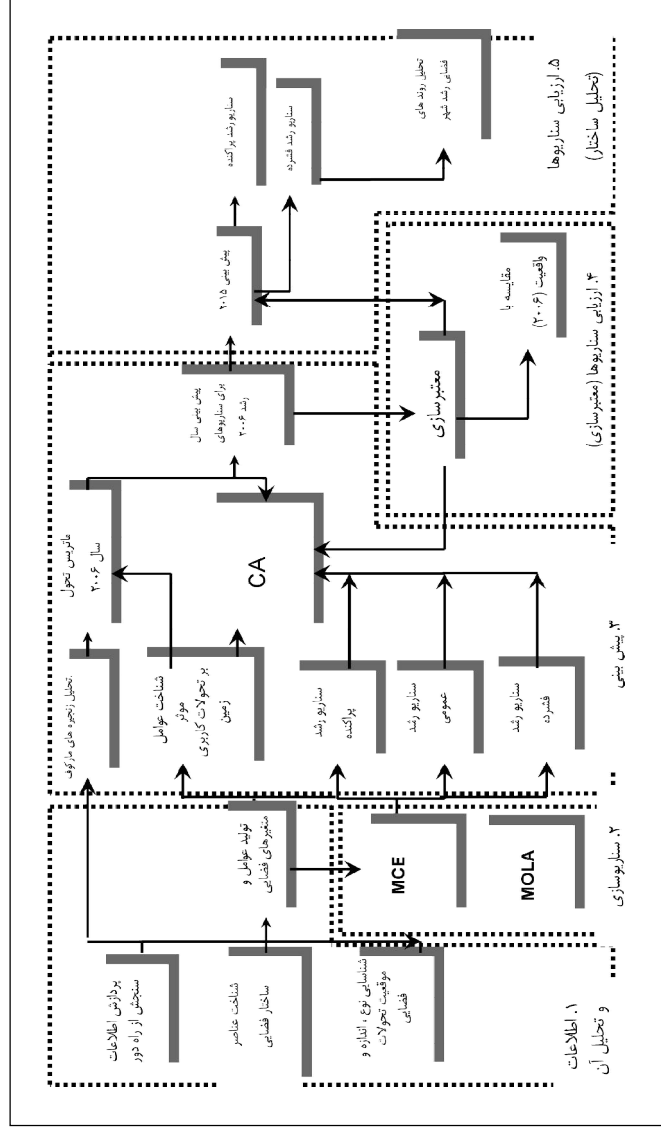
چکیده  
برنامه‌ریزی فعالیتی برای هدایت آینده است. بنا بر این به‌شدت به گذشته و حال مقید شده است. از طرفی دیگر برنامه‌ریزان همواره خواستار ابزاری بوده‌اند که قابلیت‌های تحلیل، حل مسئله و تصمیم‌گیری آن‌ها را افزایش دهد. مدل‌سازی شهری ابزاری برای افزایش قدرت تحلیل تصمیم‌سازان و برنامه‌ریزان است که می‌تواند در خدمت علمی‌تر کردن فرایند برنامه‌ریزی قرار گیرد و پیش‌بینی تحولات فضایی راه به مثابه بازتاب همه متغیرهای اقتصادی-اجتماعی، اکاهی دهد. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به صورت سری‌های زمانی وضعیت تحولات کاربری زمین در کلان‌شهر اهواز بررسی گردید و از طریق ارزیابی چندمعیاری، با تشخیص متغیرهای مؤثر بر تحول، سناریوهای مختلف گسترش شهر ساخته شد. در ادامه از طریق مدل ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار، تحولات کاربری زمین در سال ۲۰۰۶ پیش‌بینی گردید. پس از معتبرسازی نتایج مدل‌سازی، وضعیت گسترش شهری در افق ۲۰۲۰ پیش‌بینی شد. پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهر اهواز با

شهری نمونه‌هایی از بازتاب‌های این پدیده به‌شمار می‌روند. یکی از راه‌های شناخت و درک پویایی رشد پراکنده شهری استفاده از روش شبیه‌سازی است که به روش‌های مختلفی قابل انجام است. مدل‌سازی از طریق سلول‌های خودکار CA یکی از روش‌هایی است که به دلیل پویایی و انعطاف مناسب می‌تواند برای مدل‌سازی تحولات کاربری زمین و رشد شهری استفاده شود.

هدف از این مطالعه شبیه‌سازی، پیش‌بینی گسترش شهری و ساخت و ارزیابی سناریوهای رشد آینده شهر اهواز، از طریق روش سلول‌های خودکار، است. بدین منظور در ابتدا با استفاده از اطلاعات زمانی کاربری زمین که از برداش تصاویر ماهواره‌ای (مربوط به سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۲) به دست آمده، موقعیت و اندازه تحولات فیزیکی محدوده کلان‌شهر اهواز شناسایی شد. در ادامه با بررسی متغیرهای برآمده از استخوان‌بندی اصلی شهر و نیز موقعیت و اندازه تحولات مذکور، متغیرهای مؤثر بر تحول هریک از کاربری‌ها، که در واقع کشف قانونمندی‌های حاکم بر گسترش شهر است، تشخیص داده شد. ترکیب این متغیرها با استفاده از ابزار ارزیابی چندمعیاری به تولید سه سناریوی محتمل برای گسترش فیزیکی،

### پرسش‌های تحقیق

۱. آیا مدل ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار، با سطح اطمینان قابل قبولی برای شبیه‌سازی رشد شهری در کلان‌شهر اهواز، مناسب است؟
۲. رشد شهری در کلان‌شهر اهواز تحت تأثیر نیرووهایی است که بازتاب آن رشد پراکنده را موجب شده یا رشد فشرده؟



ت ۱. فرایند تحقیق، مأخذ: نگارنده.

شامل سناریوی رشد پراکنده، سناریوی رشد فشرده، و سناریوی رشد عمومی، انجامید و از طریق تحلیل تخصصی چندهدفی زمین، تضاد بین کاربری‌های همسو برطرف گردید. قوانین تحول منتج از فرایند مذکور، از طریق سلول‌های خودکار برای گام‌های زمانی بعدی (۲۰۰۶)، شبیه‌سازی شد. در ادامه از شاخص‌های کمی و تحلیل روند نیروهای محرکه فضایی رشد، به منظور مقایسه نتایج پیش‌بینی با واقعیت و تحلیل چگونگی گسترش در دوره پیش‌بینی استفاده گردید (ت ۱).

روش مذکور در کلان‌شهر اهواز، که از نظر گسترش شهری وضعیت خاصی در آن طی سالیان اخیر تجربه شده است، به کار گرفته شد. وجود مراکز عظیم صنعتی و خدماتی، شبکه‌های شریانی و تأسیسات مهم نفتی گسترش شهری محسوس را در بیست سال اخیر در این شهر رقم زده است، به طوری که به نظر می‌رسد دسترسی‌های منتهی به شهر تأثیر محسوس‌تری نسبت به مراکز شهری داشته‌اند. محدوده مطالعاتی این تحقیق کلان‌شهر اهواز و روستاهای بلافاصل آن در مساحتی بالغ بر ۵۴۰ کیلومتر مربع است (ت ۲). بنا بر این سوال اصلی این تحقیق به دو سوال مهم پاسخ می‌دهد:

آیا مدل ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار، با سطح اطمینان قابل قبولی برای شبیه‌سازی رشد شهری در کلان‌شهر اهواز، مناسب است؟

رشد شهری در کلان‌شهر اهواز تحت تأثیر نیروهای است که بازتاب آن رشد پراکنده را موجب شده یا رشد فشرده؟

## ۲. مبانی نظری و پیشینه

### ۱.۲. تاریخچه

تاریخچه مدل‌سازی شهری کاملاً با میزان درک از سیستم‌های شهری مرتبط است. در آغاز به شهرها نوعی پدیده اجتماعی و طبیعی به جای یک سیستم بهم پیوسته انگاشته می‌شد. در نتیجه مدل‌های شهری به صورت توصیفی و ایستا ساخته شدند، ولی

این مدل‌ها فاقد توانایی لازم برای پیش‌بینی علمی بودند. مدل‌سازی شهری در اواخر دهه ۱۹۵۰ و ابتدای دهه ۱۹۶۰ در کشورهای آمریکایی و اروپای غربی به شکوفایی رسید. مدل لاری<sup>۷</sup> در ۱۹۶۴ طراحی شد و برای اولین بار در فرایند برنامه‌ریزی شهری باب شد. پس از آن و در دهه ۱۹۷۰ به دلیل انتقادات گسترده به کارآمدی مدل‌های شهری بزرگ‌مقیاس، توان آن‌ها برای برنامه‌ریزی و تسهیل تصمیم‌گیری زیر سؤال رفت. در واقع، این مدل‌ها برای اثبات انعکاس‌پذیری کافی و عوامل غیرخطی در سیستم‌ها و زیرسیستم‌های شهری کافی نبودند و توانایی‌های محدودی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تحولات شهری داشتند. از دهه ۱۹۹۰ نسل جدیدی از مدل‌های شهری متولد شد که رویکرد آن‌ها انتقال از حالت ماکرو به میکرو، از کل‌نگر به جزئ‌نگر، از ایستا به پویا، از خطی به غیرخطی، از بالا-پایین به پایین-بالا، از ساختاری به فرایندی، از فضا به فضا-زمان بوده است.<sup>۸</sup> بنا بر این ابعاد فضا-زمان از طریق تئوری سیستم‌های پیچیده در مدل‌سازی نوین شهری شرکت داده شد. در روش‌های مبتنی بر پیچیدگی، سطح بالاتری از درک الگوهای فضایی-زمانی تغییرات کاربری زمین، نسبت به دیگر روش‌ها عرضه می‌شود.<sup>۹</sup>

### ۲.۲. مفهوم CA

یکی از روش‌هایی برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شود، روش سلول‌های خودکار است که وان نیومن<sup>۱۱</sup> آن را ساخت و اولین بار تابلر<sup>۱۱</sup> آن را در مطالعات فضایی به کار بست. ولفرام<sup>۱۲</sup> CA را نوعی سیستم پویا و غیرخطی، در ابعاد گسسته فضا و زمان تعریف کرد و نشان داد که در این سیستم می‌توان ساختارهای بسیار پیچیده‌ای تولید کرد که برای کشف جنبه‌های نظری پویایی و تحول مناسب باشد.<sup>۱۳</sup> سلول‌های خودکار در واقع نوعی مدل اکتشافی هستند که برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرایندهای فضایی پیچیده به

۶. منظور از همسوی کاربری‌ها برای یک سلول این است که یک سلول نسبت به دو یا چند کاربری تمایل به تبدیل داشته باشد. به طور مثال سلول‌های مجاور راه‌های اصلی برای تبدیل به کاربری صنعتی و سکونت همسوی تلقی می‌شوند.

7. Lowry model  
ت.ک:

8. Couclelis, "Cellular Worlds, A Framework for Modelling Micro-Macro Dynamics".  
ت.ک:

9. M. Batty and P. Longley, "Fractal cities: a Geometry of Form and Function".  
ت.ک:

۱۰. J. Von Neumann, "Theory of Self-Reproducing Automata".  
ت.ک:

۱۱. W. Tobler, "Cellular Geography".  
ت.ک:

۱۲. S. Wolfram, "Universality and Complexity in Cellular Automata".  
ت.ک:

13. R. White and G. Engelen, "Cellular Automata Modelling of Fractal Urban Landuse Patterns: Forecasting Change for Planning Applications".

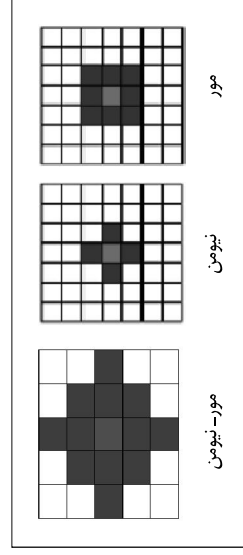
گسترش شهری و تغییرات کاربری زمین نمونه‌ای از تحولات سیستم شهری هستند و از اجزای متعددی تشکیل شده‌اند. از آن جایی که این اجزا در مقیاس‌ها و سلسله‌مراتب مختلفی بر هم مؤثرند، بنا بر این رابطه بین اجزا غیرخطی است. توانایی رفتار مدل‌های سلول‌های خودکار با خصوصیت خودتنظیمی و غیرخطی بودن روابط اجزای سیستم‌های شهری و همچنین انطباق مناسب نتایج پیش‌بینی با واقعیت موجب مقبولیت آن برای تحلیل سیستم‌های شهری شده است. به طور کلی سلول‌های خودکار دارای پنج جزء اصلی هستند:

الف. شبکه<sup>۱۵</sup>: فرایند شبیه‌سازی روی شبکه‌ای از سلول‌ها در فضای دو بعدی اجرا می‌شود. خصلت طبیعی شبکه این است که همه سلول‌ها هم‌شکل و هم‌اندازه‌اند.

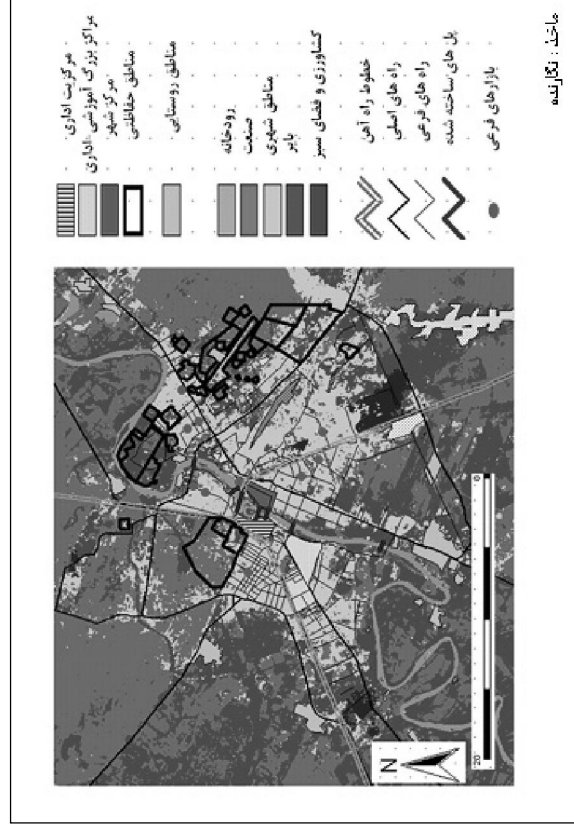
ب. وضعیت<sup>۱۶</sup>: هر سلول در شبکه تنها می‌تواند یک وضعیت از مجموعه وضعیت‌های تعریف‌شده (مانند صنعتی، مسکونی، و...) را در یک گام زمانی داشته باشد.

ج. همسایگی<sup>۱۷</sup>: شکل همسایگی یک سلول، وضعیت سلول را در آن گام زمانی نشان می‌دهد. در واقع در مدل‌سازی با CA وضعیت سلول در گام زمانی بعدی ( $t+1$ )، تحت تأثیر وضعیت همسایه‌هایش و وضعیت خودش در گام زمانی  $t$  دارد. همسایگی می‌تواند انواع متفاوتی داشته باشد که همسایگی مور، نیومن، و همسایگی مور-نیومن از آن جمله‌اند (ت ۳).

د. گام‌های زمانی: به فواصل زمانی گفته می‌شود که می‌تواند به تفکیک انواع واحدهای زمانی با توجه به هدف و نوع اطلاعات در دسترس تنظیم گردد.



کار می‌روند، چرا که می‌توانند ویژگی‌های اصلی سیستم‌های پیچیده، مانند خودتنظیمی، رفتار غیر خطی و معلول را هم در بعد فضا و هم در بعد زمان تولید کنند، به بیانی ساده‌تر مدل CA سیستم کلان را از طریق اثرات متقابل درونی بین سلول‌ها (اجزا) شبیه‌سازی می‌کند، بنا بر این از این مدل‌ها، برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات آینده یا روندهای توسعه، توصیف، و ارزیابی بازتاب‌های توسعه آتی استفاده می‌شود.<sup>۱۸</sup> خودتنظیمی به‌عنوان مهم‌ترین خصوصیت سیستم‌های پیچیده و CA، به این موضوع اشاره دارد که ساختارهای پیچیده در سطح کلان معلول ارتباطات و اثرات متقابل اجزا در سطح خرد است به طوری که اجزای سیستم و قوانین ارتباطی آن‌ها موجب می‌شوند که سیستم همواره برای رسیدن به تعادل در حرکت باشد. ساختارهای شهری نیز ویژگی خودتنظیمی دارند؛ اصل آسانه کالا و خدمات، صرفه‌جویی‌های ناشی از مقیاس و تجمع، رابطه بین میزان دسترسی و توزیع کاربری‌ها نمونه‌هایی از خصوصیت‌های خودتنظیمی ساختارهای شهری هستند.



۱۴. مانند شبیه‌سازی آتش‌سوزی در جنگل (ک: K.C. Clarke et al, "A Self-Modifying Cellular Automaton of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area" تغییر کاربری زمین (ک: R. White, and G. Engelen, "Cellular

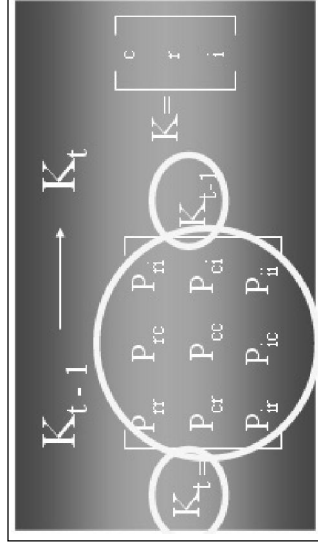
ت ۲ (بالا). کاربری زمین و استخوان‌بندی اصلی کلان‌شهر اهواز در سال ۲۰۰۶، مأخذ: نگارنده. ت ۳ (پایین). همسایگی و انواع آن، مأخذ:

Cheng and Masser, "Urban Growth Pattern Modelling".

- Automata Modelling of Fractal Urban Landuse Forecasting Change for Planning (Applications), مدل‌های تغییر آب‌وهوا، تغییر سکوکت‌گاه‌های روستایی، مدل‌سازی گسترش شهری  
 M. Batty et al, "From Cells to Cities", Batty, Met al, "Fractal Cities: A Geometry (of Form and Function", مدل‌سازی پویای پوشش سبز (کد: Silvertown et al, "Cellular Automaton Models of Interspecific Competition for Space- The Effect of Pattern on Process"  
 15. Grid  
 16. State  
 17. Neighborhood  
 18. Transition rules  
 ۱۹. نک: J. Cheng and I. Masser, ibid.  
 ۲۰. نک: Thomas Houet, "Modelling and Projection Land-Use and Land-Cover ..."  
 ۲۱. نک: Y. Wang and X. Zhang, "A Dynamic Modelling Approach to ..."

ت ۴. چگونگی کار زنجیره‌های مارکوف، مأخذ: Eastman, "Ildrisi Kilimanjaro, Guide to GIS and Image Processing".

**۴.۲. ترکیب زنجیره‌های مارکوف و CA**  
 پونتوس و مالانسن<sup>۲۲</sup>، تحلیل زنجیره‌های مارکوف را با CA و ارزیابی چندمعیاری (MCE)، برای بالا بردن قابلیت پویایی فضایی مدل به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در ماساچوست<sup>۲۳</sup> مرکزی، ترکیب کردند و به این ترتیب نقص وارد بر مدل مجرد مارکوف را تا حد زیادی برطرف کردند.<sup>۲۴</sup> یکی از مزیت‌های اصلی مدل مارکوف- سلول‌های خودکار (M-CA) این است که اطلاعات سنسچس از راه دور<sup>۲۵</sup> و سیستم اطلاعات جغرافیایی را به راحتی می‌توان در این مدل وارد کرد.<sup>۲۶</sup> در روش M-CA تحلیل زنجیره‌های مارکوف با محاسبه ماتریس احتمالات زمانی تحول<sup>۲۷</sup>، میزان تحولات بین کاربری‌ها و پویایی زمانی تحولات را کنترل می‌کند. روش ارزیابی چندمعیاری یکی از روش‌های تصمیم‌گیری فضایی<sup>۲۸</sup> برای تهیه نقشه‌های قابلیت زمین در هر طبقه از کاربری زمین است و بدین وسیله موقعیت فضایی احتمالات پیش‌بینی شده کنترل می‌شود. ماتریس احتمالات تحول عملکرد سلول‌های خودکار را کنترل می‌کند. در واقع این ماتریس قانون تحول کلان<sup>۲۹</sup> و تصاویر برآمده از تحلیل چندمعیاری قوانین تحول درونی<sup>۳۰</sup> هستند. به طوری که عملکرد این قوانین تا زمانی ادامه می‌یابد که ماتریس تحول کلان از نظر اندازه تحولات اجازه دهد. این حالت در مدل M-CA مشابه این واقعیت است که سیاست‌های کلان، ارتباطات متقابل درون سیستم شهر را محدود می‌کنند،



هه قوانین تحول<sup>۳۱</sup>: در مدل CA، تغییر وضعیت سلول در گام زمانی بعدی بر اساس وضعیت فعلی آن و همسایه‌هایش تحت قوانین خاصی تعیین می‌شود. قوانین تحول قلب سلول‌های خودکار هستند، زیرا منطق فرایندهایی که در حال مدل‌سازی هستند را به نمایش می‌گذارند، بنا بر این این قوانین پویایی فضایی منطق تحول را در ابعاد زمان و فضا تعیین می‌کنند. قوانین تحول متغیرهای مؤثر بر توسعه شهری را در مدل‌های CA منعکس می‌کنند در نتیجه می‌توانند جمع وسیعی از عوامل طبیعی و اقتصادی- اجتماعی را شامل شوند. اصولاً تفاوت اصلی مدل‌های مبتنی بر CA تفاوت در نوع همسایگی و قوانین تحول است.<sup>۳۲</sup>

### ۳.۲. زنجیره‌های مارکوف

یکی از روش‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین، زنجیره‌های مارکوف است که از ریاضیات کاربردی نشأت گرفته است.<sup>۳۰</sup> زنجیره‌های مارکوف بر این فرض استوار است که تحول کاربری زمین در آینده به وضعیت تحول آن در گذشته وابسته است.<sup>۳۱</sup> این تحلیل بر مطالعه تحول انواع پوشش گیاهی متمرکز است و اخیراً در مدل‌سازی گسترش، تغییرات کاربری زمین، و ارزیابی اثرات تحولات بر اکوسیستم در مقیاس‌های مختلف منطقه‌ای و شهری به کار گرفته شده است.

فرایند مارکوف به ماتریس واحدی بر اساس تحول کاربری بین دو تصویر می‌رسد، سپس به تعداد سال‌های افق پیش‌بینی، ماتریس را در خود ضرب می‌کند. برای این تحقیق شکل ریاضی بررسی فوق به ترتیب زیر است:

$$K = P \wedge n \rightarrow TPM = P \wedge m$$

K: ماتریس احتمالی تحول بین دو زمان

P: ماتریس احتمال پایه

TPM: ماتریس احتمالات تحول برای افق پیش‌بینی

«ت ۴» شکل کلی عملکرد مارکوف است.

### ۳. شبیه‌سازی گسترش شهری کلان‌شهر اهواز

#### ۱.۳. اطلاعات و تحلیل آن

به منظور شبیه‌سازی گسترش شهری کلان‌شهر اهواز، فرایند کار به صورت آنچه در «ت ۲» نمایش داده شده است، طی شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱، ENVI4 تهیه گردید، در نتیجه روند تحولات، همانندی در نرم‌افزار ENVI4 مشاهده شد. استفاده از تحلیل مشخص<sup>۳۱</sup> و پس از پردازش تصاویر<sup>۳۲</sup> با استفاده از تحلیل زنجیره‌های مارکوف، احتمالات تحول برای شبیه‌سازی کاربری زمین در زمان ۲۰۰۶ بر اساس وضعیت دوره قبل (۱۹۹۱-۲۰۰۲) اندازه‌گیری و بدین ترتیب همه تحولات بین کاربری‌ها را نظر فضایی شناسایی شد (ت ۶). در ادامه، بر اساس موقعیت و میزان تحولات، موقعیت استقرار کاربری‌ها، استخوان‌بندی اصلی شهر، و فرایندهای حاکم بر تحول همه کاربری‌ها، متغیرهای مؤثر بر تحول هر کاربری شناسایی شدند.

#### ۲.۳. تحلیل MCE و MOLA

در مرحله بعد برای تعیین میزان قابلیت برای هر طبقه از کاربری زمین از تحلیل ارزیابی چندمعیاری<sup>۳۳</sup> البته با توجه ویژه به کاربری شهری استفاده شد. در این تحقیق همه توابع مذکور از طریق نرم‌افزار 15 IDRISI انجام گرفته است

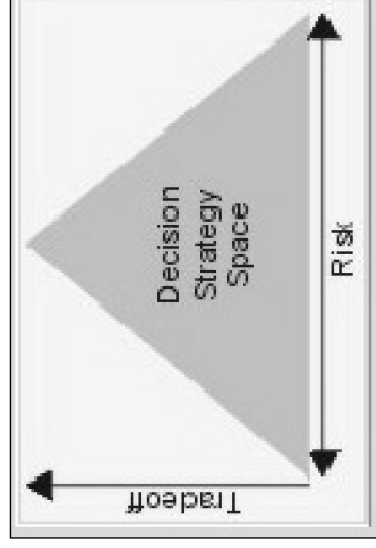
در این تحلیل سه سناریو ساخته شد. سناریوها در نوع و وزن

کشاورزی	بایر	سکونت	صنعتی	آب
۰/۱۵۰۳	۰	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۲۵	۰/۸۳۸۴
.	.	۰/۰۰۲۴	۰/۰۹۳۱	۰/۰۰۴۵
۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۵	۰/۹۲۹۸	۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۰۸
۰/۰۸۲۵	۰/۷۵۸۵	۰/۱۵۶۸	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۵
۰/۶۶۲۶	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۵۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۵۰

بنا بر این مدل نسبت به سایر مدل‌های CA برتری دارد<sup>۳۴</sup>.

ارزیابی چندمعیاری از طریق میانگین مرتب‌شده وزنی<sup>۳۵</sup>، امکان انتخاب سطح ریسک<sup>۳۶</sup> و مبادله<sup>۳۷</sup> را می‌دهد (ت ۴). مبادله به معنی امکان معاوضه امتیاز پایین قابلیت یک عامل با امتیاز بالای دیگر عامل است. مقدار تخصیص داده شده مبادله<sup>۳۸</sup> کاملاً با سطح ریسک ارتباط معکوس (ت ۵) دارد<sup>۳۹</sup>.

همچنین برای تدقیق قابلیت تحول در هر سلول از تحلیل تخصیص چندمعیاری زمین (MOLA) استفاده شد. تحلیل MOLA برای رفع تضاد بین کاربری‌های همسو به کار می‌رود، به این صورت که سلول n با احتمال p برای کاربری شهری نسبت به سلول n+1 ام با همان احتمال در کاربری دیگر در اولویت است. بنا بر این در گام زمانی بعدی این سلول به سلول شهری تبدیل خواهد شد. این تحلیل با در نظر گرفتن اهمیت نسبی طبقات کاربری زمین با یکدیگر و اندازه لازم برای هر طبقه، سلول‌های با بالاترین احتمال را از خروجی تحلیل ارزیابی چندمعیاری جدا می‌کند و به این ترتیب تضاد بین طبقات کاربری زمین را حل می‌کند. بنا بر این تحلیل یکپارچه، MCE، MOLA و CA پویایی فضایی تحولات را کنترل می‌کند.<sup>۴۰</sup>



R.G. Pontius and J. Malanson, "Comparison of the Structure and Accuracy of ...", 23. Massachusetts

Henriquez et al, "Monitoring and Modeling the Urban Growth of two Mid-sized Chilean Cities". 25. RS

H. Li and J.F. Reynolds, "Modeling Effects of Spatial Pattern, ..."

27. Matrix of time transition probabilities

J. Melczewski, "GIS-based Land-use Suitability Analysis: A Critical Overview".

29. Global Transition Rule

30. Local Transition Rule

۳۱. ارتباطات متقابل درونی ناشی از عملکرد CA در سطح درونی توسط ماتریس احتمالات تحول محدود می‌شود، به این شکل که تحول سلول‌ها در سطح درونی تا جایی ادامه می‌یابد که ماتریس تحول کلان اجازه می‌دهد.

ت ۵ (است). مثلث استراتژی تصمیم‌گیری، مأخذ: J.R. Eastman, "Idrisi Kilimanjaro, Guide to GIS and Image Processing".

ت ۶ (چپ). ماتریس احتمالات تحول (۱۹۹۱-۲۰۰۲). مأخذ: نگارنده.

32. OWA: Ordered Weight Average

33. Risk Level

34. Trade off

نک: ۳۵

J.R. Eastman, "Idrisi

Killimanjaro, Guide to GIS and Image Processing".

ت ۷. فرآیند تحلیل MCE، مأخذ: نگارنده.

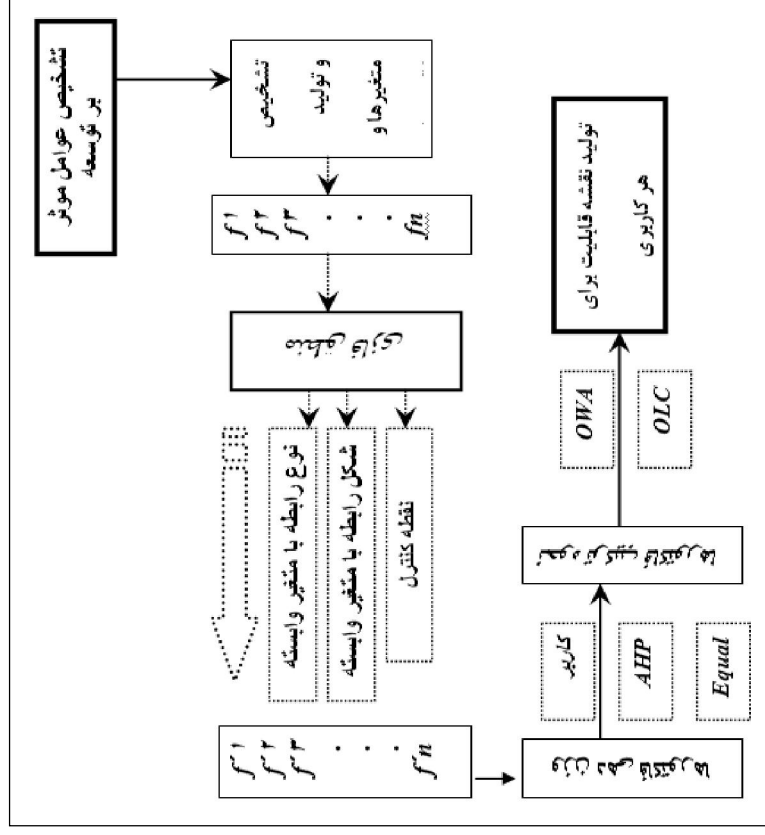
کشاورزی شامل اراضی ساخته‌شده و اراضی صنعتی، مناطق حفاظتی صنعت نفت، و متغیرهای تحول این کاربری شامل دوری از مرکز شهر، فاصله از رودخانه، مجاورت با مرداب، و اراضی کشاورزی مرغوب شناخته شدند و عامل بوستان‌های بزرگ درون شهری با توجه به هزینه‌های ساخت آن بدون تغییر تشخیص داده شدند. متغیرهای محدودکننده تحولات مربوط به کاربری بایر، شامل رودخانه و مرداب، اراضی ساخته‌شده و صنعتی، کاربری‌های بزرگ آموزشی و اداری و عوامل تحول این کاربری از متغیرهای دوری از جاده‌های دسترسی و اصلی، دوری از مرکز شهر و بازارهای فرعی، و فاصله از روستاها و شهرک‌های اقماری تشکیل شده‌اند (ت ۹). در خصوص مناطق

متغیرهای به‌کاررفته‌شده در کاربری شهری اختلاف دارند.<sup>۳۳</sup> برای کاربری شهری سناریوی رشد پراکنده، نیروهای مؤثر بر پراکندگی مانند فاصله از سکونتگاه‌های روستایی، مجاورت با راه‌های اصلی و ... در اولویت قرار گرفت و بالعکس برای سناریوی رشد فشرده فاصله از مرکز شهر مرکز فرعی در نظر گرفته شد. برای سناریوی رشد عمومی اولیوی لحاظ نشد. «ت ۷» روند MCE را در این مطالعه بیان می‌کند.

### ۳.۳. قوانین تحول

برای کاربری شهری دو نوع محدودیت در نظر گرفته شد: محدودیت‌های طبیعی شامل مرداب، باتلاق، رودخانه، کوه، و... محدودیت‌های مدیریتی شامل مناطق حفاظتی چاه‌های نفت، مناطق نظامی، شهرک‌های سازمانی<sup>۳۴</sup>، کاربری‌های بزرگ‌مقیاس. برای دو سناریوی رشد فشرده و پراکنده هر دو نوع محدودیت و برای سناریوی رشد عمومی فقط محدودیت طبیعی در نظر گرفته شد. نتایج نهایی حاصل از تحلیل MCE برای کاربری شهری به تفکیک شامل یک تصویر احتمالی بین ۰ تا ۲۵۵ است؛ ۰ نشان‌دهنده فقدان قابلیت و ۲۵۵ نشان‌دهنده حداکثر قابلیت است (ت ۸-a). همچنین تحلیل MOLA برای کاربری شهری در شکل «ت ۸-b» به صورت یک تصویر بولین نشان داده شده است.

برای تحول صنعتی، متغیرهای دوری از مرکز شهر (با توجه به عامل قیمت زمین)، مجاورت با خطوط راه‌آهن، مجاورت با راه‌های منطقه‌ای و مجاورت با صنایع موجود (با توجه به اصل صرفه‌جویی‌های ناشی از تجمع) در نظر گرفته شد. محدودیت‌های این کاربری مشابه محدودیت‌های گسترش شهری است. در تمرکز بر قابلیت کاربری رودخانه، با توجه به موقعیت تحولات این مناطق و میزان آن، تنها از عامل مجاورت با رودخانه استفاده شد و مناطق صنعتی و سکونت‌عامل توسعه این کاربری به حساب آمدند. محدودیت کاربری



تصویر پیش‌بینی شده و واقعی به کار می‌روند<sup>۴۸</sup>. معتبرسازی از طریق شاخص کاپا، شامل یک روند تحلیل جامع آماری است و امکان پاسخ به دو سؤال مهم را می‌دهد: اولاً میزان صحت انطباق دو تصویر از نظر کمیت سلول‌ها<sup>۴۹</sup> در هر طبقه چگونه است؟ ثانیاً میزان صحت انطباق دو تصویر از نظر مکان سلول‌ها<sup>۵۰</sup> در هر طبقه چگونه است؟

امکان معتبرسازی در دقت‌های متفاوت از طریق این روش امکان‌پذیر است. شاخص کاپا می‌تواند مقادیری بین صفر و یک را داشته باشد؛ صفر مبین تصادفی بودن انطباق و یک نشان‌دهنده انطباق کامل است.<sup>۵۱</sup>

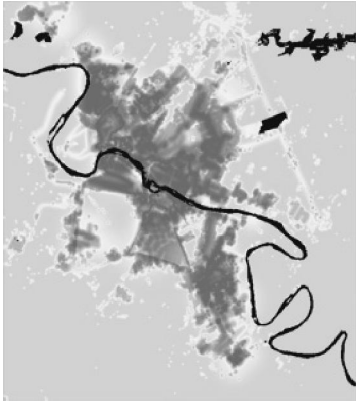
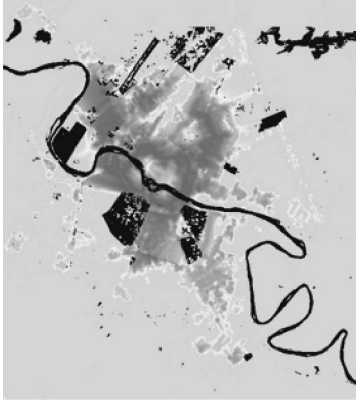
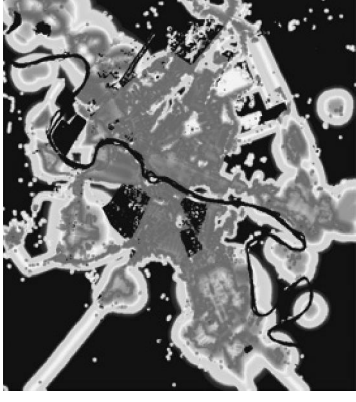



حفاظتی مانند شهرک‌های مسکونی نفت، قائم، و ارتش، به دلیل انطباق اکثر فعالیت‌های آن با طرح از پیش تعیین شده قوانین خاصی تدوین گردید، به طوری که کاربری طرح تحت تأثیر زمان قرار نمی‌گیرد و ثابت می‌ماند.

### ۴.۳. معتبرسازی

به منظور تعیین میزان صحت پیش‌بینی (معتبرسازی)، با استفاده از شاخص انطباق کاپا<sup>۴۹</sup>، کاربری زمین پیش‌بینی شده ۲۰۰۶ با کاربری واقعی همان سال مقایسه شد. این شاخص یکی از انبوه شاخص‌های آماری است که برای اندازه‌گیری اختلاف بین

۲۶ در حقیقت با این تحلیل مشخص می‌شود که باید برای محاسبه احتمال نهایی سلول و نیز برای تحول از مبادله بین همه متغیرها استفاده شود و با بیشتر از متغیرهایی که برای سلول احتمال بالاتری را رقم زده‌اند.

ت ۸. نقشه‌های قابلیت برای کاربری شهری؛ قوانین تحول خرد: a. نتایج خروجی MJCE؛ b. نتایج تحلیل MOLA؛ مأخذ: نگارنده.

a	 <p>سناریوی رشد عمومی</p>	 <p>سناریوی رشد فشرده</p>	 <p>سناریوی رشد پراکنده</p>
b	 <p>سناریوی رشد عمومی</p>	 <p>سناریوی رشد فشرده</p>	 <p>سناریوی رشد پراکنده</p>



#### ۴. تحلیل نتایج مدل سازی

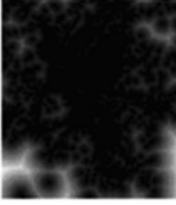
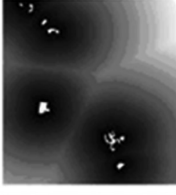
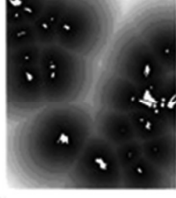
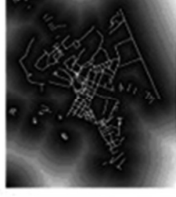
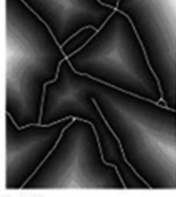
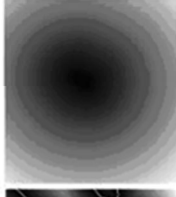
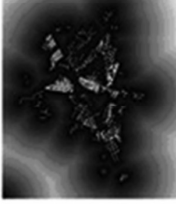
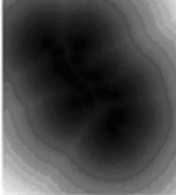

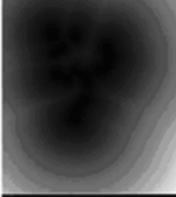
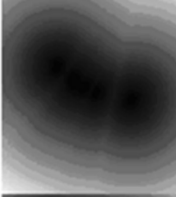
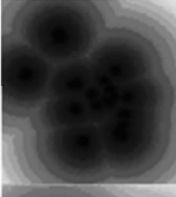
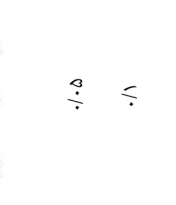
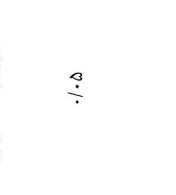
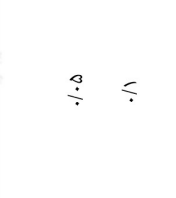
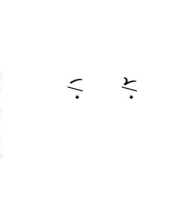

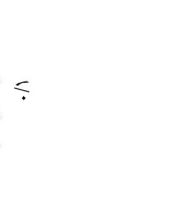
تحلیل زنجیره‌های مارکوف نشان داد که قسمت عمده تحولات، تحول بابر به سکونت است که عمده آن در مناطق جنوب غربی کلان‌شهر اهواز و در امتداد مسیرهای حمل‌ونقل رخ داده است. در رشد صنعتی روند ثابتی دنبال می‌شود. زمین‌های کشاورزی اطراف شهر، به‌خصوص زمین‌های مرغوب اطراف رود کارون در حال کاهش است.

نتایج پیش‌بینی از طریق مدل CA-M، برای هر سه سناریوی

رشد در «ت ۱۰» نمایش داده شده است؛ از آنجا که طول دوره پیش‌بینی چهار سال است، طبیعی است که سناریوهای رشد تفاوت چندانی با هم نداشته باشند. میزان تحولات با توجه به مشترک بودن ماتریس احتمالات تحول برای هر سه سناریو یکی است، اما موقعیت فضایی تحولات به دلیل اختلاف در تحلیل MCE و MOLA متفاوت است. دو سناریوی رشد فشرده و پراکنده در حدود ۴۰۰ هکتار با هم تفاوت دارند. این اختلاف در سناریوی رشد پراکنده بیشتر در حاشیه و در نزدیکی مسیرهای

Malczewski, ibid.

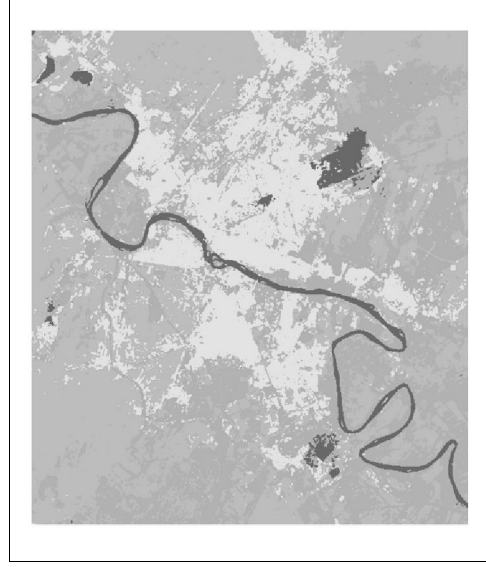
ت ۹. متغیرهای وزن متغیرهای در سناریوهای رشد؛ مأخذ: نگارنده.

متغیر							فاصله از مرکز شهر
	س. ر. پراکنده	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۳	فاصله از راه‌های شریانی
	س. ر. عمومی	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲۵
	س. ر. فشرده	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲
متغیر							فاصله از بیمارستان
	س. ر. پراکنده	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	فاصله از مراکز فرعی
	س. ر. عمومی	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	فاصله از مراکز فرعی
	س. ر. فشرده	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	فاصله از مراکز فرعی
							تراکم جمعیت
س. ر. پراکنده	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	فاصله از راه‌های بزرگ
س. ر. عمومی	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	فاصله از راه‌های ارتباطی
س. ر. فشرده	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	فاصله از مراکز فرعی

است، نمایان شده است. در بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ رشد شهری به طور محسوسی در شهر اهواز افزایش یافته است؛ مساحت کاربری شهری از ۴۸۳۷ هکتار در سال ۱۹۹۱ به ۹۵۱۹ هکتار (دوبرابر) در سال ۲۰۰۲ و ۱۲۵۰۴ هکتار (۲/۶ برابر) افزایش یافته است.

اصلی صورت گرفته و در سناریوی رشد فشرده در فواصل میانی و در زمین‌های بایر درون شهر پیش‌بینی شده است (ت ۱۰).

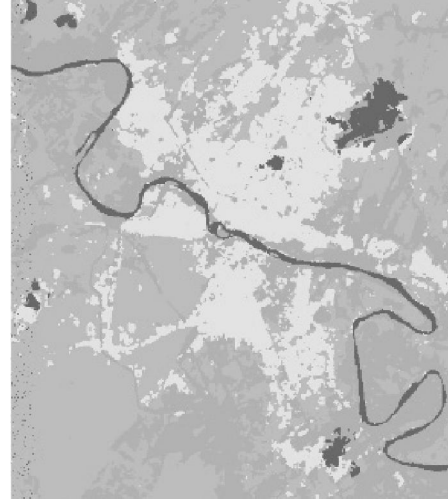
الگوی رشد شهری جدید در شکل گسترش پراکنده، حتی در فواصل دور از مرکز شهر و در جایی که تأثیر جاذب سکونتگاه‌های روستایی و مسیرهای دسترسی کاملاً برجسته



کاربری زمین ۲۰۰۶



کاربری زمین در سناریوی گسترش پراکنده ۲۰۰۶



کاربری زمین در سناریوی گسترش عمومی



کاربری زمین در سناریوی گسترش فشرده ۲۰۰۶

۳۸. یک روش فازی چندصفحه‌ای است که به هر گزینه یک مجموع وزنی را در ازای متغیرهای مرتب‌شده از نظر ارزش اختصاص می‌دهد. در این فن با یک ترکیب میانگین وزنی که در نیمه (اه بین سطح رسک و مبادله) قرار دارد، امکان عملیات پیوسته تجمیع بین اشتراک و اجتماع فازی فراهم می‌شود (برای مطالعات بیشتر نک: Eastman, ibid). این روش یک قاعده تصمیم‌گیری برای استفاده است، به این منظور که فرایند ترکیبی معیارها را با هم هماهنگ می‌کند. وزن‌های مرتب‌شده در کل مجموعه به طور کلان اثر نمی‌گذارد، بلکه به صورت یکسکسل به یکسکسل در امتیاز نهایی قابلیت مؤثر واقع می‌شوند.

۳۹. ممکن است یک سلول برای تحول به دو یا چند طبقه، تمایل به تحول در گام زمانی بعدی داشته باشد. 40. Wang and Zhang, ibid; Silvertown et al, ibid.

۴۱. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای Landsat TM مربوط به سال ۱۹۹۱، Landsat ETM مربوط به سال ۲۰۰۲ و تصاویر ۲۰۰۶ ماهواره ASTER استفاده شد. بیشترین همانندی در پردازش این تصاویر به منظور تهیه نقشه‌های کاربری زمین با نرم‌افزار ENVI انجام شد. همچنین از نقشه‌های مربوط به طرح جامع ۱۳۶۵ و تصاویر ماهواره‌ای IKONOS به تفکیک ۱ متر و مشاوره با برخی از مسئولین برای افزایش دقت نقشه‌های به‌دست‌آمده استفاده گردید.

ت ۱۰. کاربری پیش‌بینی شده و واقعی در سال ۲۰۰۶، ماخذ: نگارنده.

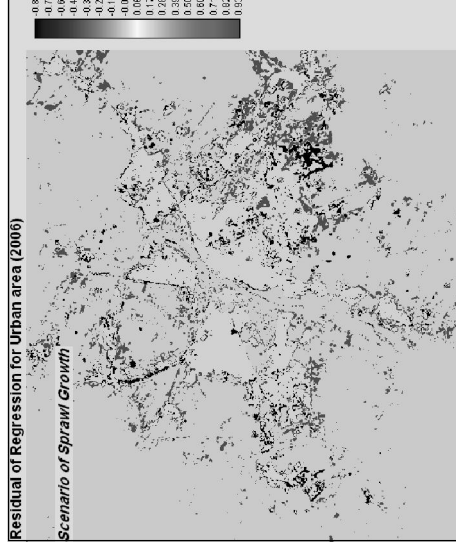
۱۴۲. اجرای CA در این تحلیل بدین شرح هستند: اندازه سلول: ۳۰ متر در ۳۰ متر، همسایگی: همسایگی توسعه یافته مور و نیوس ۵ سلول در ۵ سلول شبکه یا توجه به مقیاس مورد نظر که هم متغیرهای شامل استخوان بندی را بتوان در نظر گرفت و هم متغیرهای مربوط به بستر طبیعی و حوزه نفوذ شبکه در مساحتی بالغ بر ۵۳۰/۱۴ کیلومتر مربع (۱۱۷۶ سلول در ۱۱۲۷ سلول) تشخیص داده شد. قوانین تحول در دو سطح در بالا تشریح شده‌اند.

ت ۱۱ (بالا): باقی مانده‌ها در کاربری شهری پراکنده، مأخذ: نگارنده.  
ت ۱۲ (پایین): روند تحول اثر نیروهای محرکه بر رشد شهر در دوره واقعی ۱۹۹۱-۲۰۰۶ و دوره پیش‌بینی ۲۰۰۶-۲۰۲۰، مأخذ: نگارنده.

عمومی (۰/۸۰) است، که این مقدار از اعتبار برای مدل‌سازی قابل قبول است.<sup>۵۴</sup> تفاوت محسوس بین سناریوی رشد عمومی با دو سناریوی دیگر برای کاربری بایر و کشاورزی، به علت اثر تفاوت تصویر قابلیت کاربری شهری بر کاربری‌های دیگر از طریق فرایند MOLA، است. با توجه به تفاوت فوق و تفاوت چند درصدی شاخص کاپا، سناریوهای رشد فشرده و پراکنده در ادامه تحلیل می‌شوند. باقی مانده‌ها در سناریوی رشد پراکنده در «ت ۱۱» نشان داده شده‌اند.

«ت ۱۲» فرایند رشد شهری را نسبت به نیروهای محرکه فضایی در طول زمان نشان می‌دهد. سطر اول رابطه فاصله تدریجی از مرکز شهر را با رشد شهر بیان می‌کند؛ بیش از نیمی از رشد شهری در طول دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶، در فاصله بیش از ۳ کیلومتر نسبت به مرکز شهر، رخ داده است از طرفی دیگر روند تغییر در کل دوره مشاهده شده حاکی از رخداد رشد شهری در فواصل دورتری نسبت به این مرکز است. در سناریوی رشد

سنخش اعتبار مدل یا استفاده از دو شاخص کاپا<sup>۵۵</sup> و رگرسیون لجستیک<sup>۵۶</sup> امکان می‌پذیرد. این شاخص برای سناریوی رشد پراکنده (حدوداً ۰/۸۵) حاکی از انطباق قوی‌تر این سناریو نسبت به دو سناریوی رشد فشرده (۰/۸۳) و رشد



نوع نیروی محرکه	۱۹۹۱-۲۰۰۲	۲۰۰۲-۲۰۰۶	سناریوی پراکنده (۲۰۰۶-۲۰۲۰)	سناریوی فشرده (۲۰۰۶-۲۰۲۰)
مرکز شهر				
مراکز فرعی				
مراکز روستایی				
شهرک‌های اقماری				

ارتباط معناداری با فاصله از سکونتگاه‌های روستایی دارد؛ روند رشد شهری حاکی از نزدیک شدن آن به این سکونتگاه‌ها دارد و سناریوی رشد پراکنده این رابطه را نسبت به سناریوی رشد فشرده مستحکم‌تر نشان می‌دهد.

## ۵. نتیجه گیری

حداقل طی پانزده سال گذشته (۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶) در گسترش شهری کلان‌شهر اهواز، بزرگ‌ترین شهر حوزه جنوب غرب کشور، روندی پراکنده را دنبال شده است. از بررسی نتایج ذیل نتایج می‌شود:

۱. مدل‌سازی با سلول‌های خودکار و به طور خاص مدل M-CA حاکی از انطباق ۸۵٪ رشد شهر در سال ۲۰۰۶

بوده است .

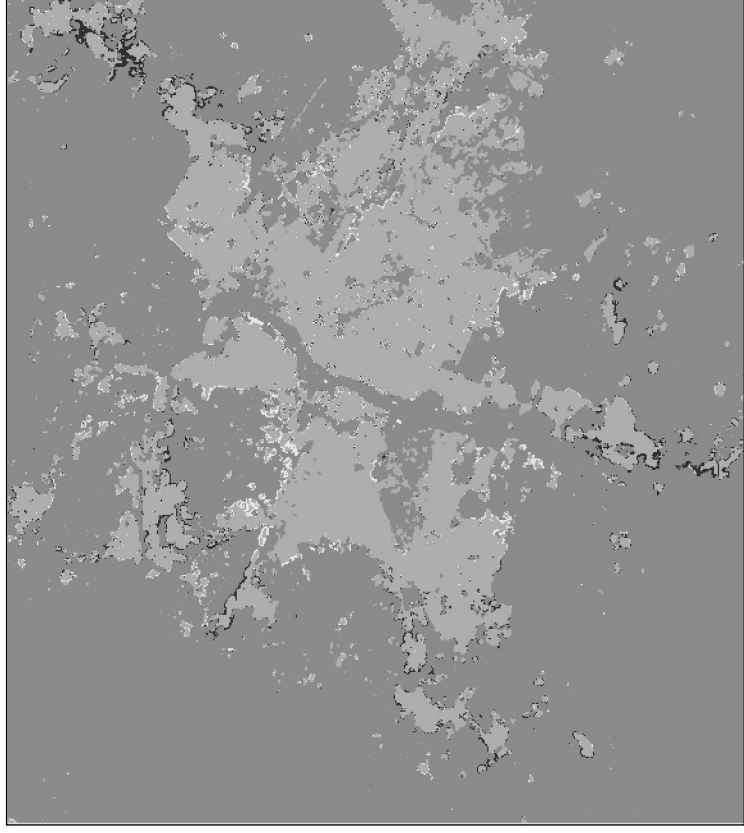
۲. تحلیل الگوی شهرنشینی در اهواز نشان می‌دهد که در طول زمان از اهمیت مرکز شهر کاسته شده و به شدت تأثیر محورهای دسترسی افزوده شده است. به بیانی دیگر نوعی جانشینی در الگوی ساختاری رشد شهر در حال وقوع است؛ بر قدرت نیروهای مؤثر بر پراکندگی (سکونتگاه‌های روستایی و مسیرهای دسترسی) افزوده شده و از اهمیت نیروهای مؤثر بر فشردگی (مرکز شهر و مراکز فرعی) کاسته شده است. بازتاب فضایی این روند که سناریوی رشد پراکنده گوید آن است، حاکی از این است که رشد شهری به سمت پراکنده شدن تمایل دارد. ۳. در طول دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ رشد شهر به تدریج به سکونتگاه‌های روستایی نزدیک‌تر شده است. این مسئله در هر دو سناریوی رشد پراکنده و فشرده (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵) تأیید می‌شود با این تفاوت که ادغام روستاها در بافت شهری در سناریوی رشد فشرده با تأخیر بیشتری نسبت به سناریوی رشد پراکنده پیش‌بینی شده است. قرارگیری روستاها در درون بافت شهری پیامدهای

پراکنده برای دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ (ت ۱۲) رشد شهر در فواصل دورتری نسبت به دوره‌های گذشته در نظر گرفته شده است. روند حاکم بر رابطه بین مراکز فرعی و رشد شهر به نوعی مشابه یکدیگر است؛ در دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۲ رشد شهر وابستگی محسوسی نسبت به فاصله از مراکز فرعی دارد، در ادامه (دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶) رشد شهر در فواصل دورتری نسبت به این مراکز صورت گرفته است. در سناریوی رشد پراکنده قسمت اعظم رشد شهری در فاصله دورتری نسبت به دوره قبل رخ داده، در صورتی که اهمیت مراکز فرعی در سناریوی رشد فشرده برای رشد شهر نمایان شده است.

رشد شهر در دوره‌های مشاهده‌شده ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۲ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ و پیش‌بینی‌شده (۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰) مطابق با «ت ۱۳».

۴۳. این تحلیل درحقیقت ترکیب همه متغیرها و محدودیت‌ها برای هر طبقه از کاربری است که برای این منظور از منطق فازی بهره می‌گیرد. ۴۴. وزن متغیرها از طریق رگرسیون لجستیک فضایی (SLR) و نیز با توجه به ماهیت سناریو و نیز بررسی رابط > بین متغیر وابسته و <

ت ۱۳. وضعیت کاربری شهری در سناریوی گسترش فشرده و پراکنده در سال ۲۰۲۰ و اختلاف و اشتراک دو سناریو، مأخذ: نگارنده.



مستقل در طول زمان و استفاده‌های برآمده از تئوری‌های اقتصادی تعیین شد.

۴۵. لازم به ذکر است که تحلیل M-CA، ساخت متغیرهای سناریوهای گسترش و معیشت‌سازی از طریق توابع مدل‌سازی در نرم‌افزار IDRISI Andes 15 صورت گرفته است.

۴۶. در شهر اهواز شهرک‌هایی هست که به طور مستقیم از سوی نیروهای بزرگ اقتصادی-سیاسی مانند شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، شرکت ملی حفاری ایران، کارخانه فولاد، لشکر ۹۲ رزمی ارتش، دانشگاه اهواز و علوم پزشکی چندی‌شاپور ساخته و نظارت می‌شوند. این شهرک‌ها بر اساس طرح از پیش تعیین شده ساخته شده و ویژگی منحصر به فرد آن‌ها تراکم کم، تغییرناپذیری، و قابل فروش نبودن آن‌ها است.

47. KIA: Kappa Index of Agreement

۴۸. روش‌های دیگر مانند شاخص عملکرد نسبی (Relative Operative Characteristic) و رگرسیون لجستیک فضایی (SLR) نیز برای این منظور به کار می‌روند. برای مطالعات بیشتر نک: Eastman, ibid.

49. Quantity of cells

50. Location of cells

51. Pantius, 2002

۵۲. این روش را به‌نازگی Gil Pontius در دانشگاه کلارک ساخته است. معیشت‌سازی از طریق شاخص Kappa شامل یک روند تحلیل جامع آماری است که ۱۵ آماره را تولید می‌کند که هر کدام

پیش‌بینی شده سیاست مسکن ارزان‌قیمت در درون بافت نیز توصیه می‌شود.

## ۶. پیشنهادهایی برای تحقیقات بعدی

۱. با توجه به اینکه در مدل M-CA بازتاب همه سیاست‌های

کلان در نهایت در ماتریس احتمالات تحول در نظر گرفته می‌شود، بنا بر این پیشنهاد می‌شود که ابزارها و تحلیل‌های دقیق‌تری مانند متغیرهای کنترل در ساخت مدل رگرسیون در ارتباط با این مسئله در اختیار کاربر قرار گیرد تا ماتریس احتمالات تحول با دقت و صحت بیشتری تشکیل گردد.

۲. یکی از مهم‌ترین ضعف‌های مدل M-CA این است که در آن وضعیت آنی از طریق تعمیم روندهای گذشته

پیش‌بینی می‌شود. بنا بر این لازم است که قبل و بعد از استفاده از مدل، نتایج مدل‌سازی با متغیرهایی برآمده از وضعیت قطعی‌تر (متغیرهایی که احتمال رخداد آن‌ها در فضا قطعی به نظر می‌رسد) ارزیابی شوند تا اعتبار مدل هم از نظر شاخص‌های کمی و آماری و هم از نظر وضعیت‌های محتمل آینده بررسی شود.

## نرم‌افزارهای استفاده‌شده در تحقیق

تحلیل MCE، تحلیل Markov-CA، تحلیل IDRISI ANDES 15	تحلیل MOLA، ساخت متغیرهای مکوس و تحلیل فاززی، معیشت‌سازی از طریق Kappa Index و رگرسیون لجستیک
پردازش اطلاعات سنجش از راه دور	ENVI 4
ساخت متغیرهای تحقیق و تغییر فرمت	ARC GIS 9.3

کالبدی و اقتصادی-اجتماعی خاصی را به دنبال دارد که، یکی از آن‌ها به همراه تقلیل زمین‌های کشاورزی، حاشیه‌نشین شدن این مناطق نسبت به فرایندهای اقتصادی-اجتماعی شهر است، زیرا به یکباره شهر مسئول انطباق با آن خواهد بود.

۴. نزدیکی شاخص کاپا برای دو سناریوی رشد فشرده و رشد پراکنده نشان‌دهنده این مهم است که هم نیروهایی که بازتاب فضایی آن‌ها فشرده‌گی رشد را در شهر رقم زده و هم نیروهای متناظر پراکنده‌گی در شهر اهواز اعمال می‌شوند. از طرفی دیگر، تحلیل روند الگوی رشد شهر مشخص کرد که در طول دوره مشاهده‌شده ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۶ از شدت اهمیت نیروهای فشرده‌گی کاسته شده و به قدرت تأثیر نیروهای پراکنده‌گی افزوده شده است. بنا بر این می‌توان گفت که هر دو نوع نیرو موجودند، اما روند نشان از جانشینی این دو نیرو به نفع نیروهای پراکنده‌گی دارد.

۵. پیش‌بینی رشد شهری از طریق سناریوی رشد شهری پراکنده در سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که اکثر رشد در محورهای ورودی و خروجی اتفاق می‌افتد و این رشد در مناطق جنوبی شامل گلستان و آخراصفالت و قسمت‌هایی از شمال منطقه کوروش با شدت بیشتری پیش‌بینی شده است. از طرفی، با توجه به میزان قابل توجه مناطق ساخته‌شده در درون بافت می‌بایست سیاست‌هایی را در زمینه توسعه فضایی اتخاذ کرد تا سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و مردمی در ساخت‌وساز رشد درونگرا را ترغیب کند و بدین ترتیب از پراکنده شدن هر چه بیشتر شهر جلوگیری شود. از طرفی دیگر، با توجه به ارزانی مناطق

## منابع و مآخذ

خواجه برج سفیدی، آرمان، *شبهه‌سازی رشد شهری با استفاده از روش سلول‌های خودکار نمونه‌موردی: کلان‌شهر اهواز*. رساله کارشناسی ارشد شهرسازی، استاد راهنما: علی سلطانی، شیراز: دانشگاه شیراز، دانشکده هنر و معماری، بهمن ۱۳۸۷.

Batty, M. & P. Longley. "Fractal Cities: A Geometry of Form and Function", Academic Press, 1994.

Batty, M. & Y. Xie. "From Cells to Cities", in *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1994, 21: 31-48.

Cheng, J. "Modelling Spatial and Temporal Urban Growth", *Enschede. NL ITC*, 2003, 2003.

Cheng, J. & I. Masser. "Urban Growth Pattern Modelling": a case study of Wuhan city, PR China. *Landscape and Urban Planning*, 62/4(2003), pp. 199-217.

Clarke, K.C & S. Hoppen & L. Gaydos. "A Self-Modifying Cellular Automaton of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area", in *Environment and Planning B*, 24 (1997), pp. 247-261.

Congalton, R. G. & K. Green. "Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data", CRC Press, Boca Raton, FL, 1999.

Couclelis, H. "Cellular Worlds, A Framework for Modelling Micro-Macro Dynamics", in *Environment and Planning A*, 17(1985), pp. 585-596.

Eastman, J. R. ("Ildrisi Kilimanjaro, Guide to GIS and Image Processing", Clark University Edition. 328, 2006.

Henriquez, C. & G. Azocar, G & H. Romero. "Monitoring and Modeling the Urban Growth of two Mid-sized Chilean Cities". *Habitat International* 30 (2006), pp. 945-964.

Houet, Thomas. "Modelling and Projection Land-Use and Land-Cover Change (LULCC) with a Cellular Automata in Considering Landscape Trajectories: An Improvement for Simulation of Plausible. Future States", in *EAReI eProceedings*, 5(2006), pp. 63-74.

Li, H. & J.F Reynolds. "Modeling Effects of Spatial Pattern, Drought, and Grazing on Rates of Rangeland Degradation: A Combined Markov and Cellular Automaton Approach", in *D. A. Scale, Remote Sensing and GIS*, 1997, pp. 211-230.

Malczewski, J. "GIS-based Land-use Suitability Analysis: A Critical Overview", in *Progress in Planning*, 62 (2004), pp. 3-65.

Pontius, R.G. "Statistical Methods to Partition Effects of Quantity and Location During Comparison of Categorical Maps at Multiple Resolutions", in *Photogram Metric Engineering & Remote Sensing*, 68(10) (2002), pp. 1041-1049.

Pontius, R. G. and J. Malanson. "Comparison of the Structure and Accuracy of two Land Change Models", in *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2) (2005), pp. 243-265.

Silvertown, J. & S. Holtier & J. Johnson and P. Dale. "Cellular Automaton Models of Interspecific Competition for Space-The Effect of Pattern on Process", in *Journal of Ecology*, 80 (1992), pp. 527-534.

Tobler, W. "Cellular Geography", in S. Gale & G. Olsson (Eds) *Philosophy in Geography*, vol. 9. Reidel, Dordrecht, 1979, pp. 379-386.

Von Neumann, J. "Theory of Self-Reproducing Automata". University of Illinois Press, Illinois. Edited and completed by A.W. Burks, 1966.

Wang, Y & X. Zhang. "A Dynamic Modelling Approach to Simulate Socioeconomic Effects on Landscape Changes", in *Ecological Modelling*, 140(2001), pp. 141-162.

White, R. & G. Engelen et al. "Cellular Automata Modelling of Fractal Urban Landuse Patterns: Forecasting Change for Planning Applications", in *8<sup>th</sup> European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, Budapest, 1993.

Wolfram, S. "Universality and Complexity in Cellular Automata", *Physica D* 10 (1984), pp. 1-35.

→ بنوعی بیانگر میزان انطباق و عدم انطباق تصویر شبهه‌سازی شده و واقعی هستند. این آمارها برای هر سطح کیفیت محاسبه می‌شوند. سطح کیفیت که بیان‌کننده میزان دقت در معتبرسازی است، شامل تعریف ماتریس محاسبه مثلا،  $1 \times 1$ ،  $2 \times 2$ ، ...،  $N \times N$  است.

۵۳. یکی از روش‌ها برای تعیین میزان انطباق مدل‌سازی، به‌کارگیری روش رگرسیون لجستیک است. به این صورت که متغیر وابسته تصویر واقعی گسترش شهری سال ۲۰۰۶ و تنها متغیر مستقل، تصویر شبهه‌سازی شده سال ۲۰۰۶ است که البته این روش برای سه سناریوی گسترش اعمال شده است. فرض اساسی و پایه در این روش این است که احتمال رخداد (برای متغیر وابسته (تصویر واقعی) به صورت فرمول زیر است:

$$P(Y = 1|X) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)}$$

به طوری که P متغیر وابسته 1 باشد، X متغیر مستقل است و به صورت  $X = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_k); x_0 = 1$  طرح می‌شود که البته در اینجا تنها متغیر مستقل، تصویر شبهه‌سازی شده است.

B. شامل ضرایب تخمین است که روش رگرسیون لجستیک در پی بهترین انتخاب برای این ضرایب است تا بهترین انطباق یا شباهت را بدین وسیله برقرار کند و به صورت  $B = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_k)$  نوشته می‌شود.

54. Congalton and Green, 1999.

