شبیه سازی رشد و توسعه کالبدی شهرها با بکارگیری مدل سلول‌های خودکار فازی (FCA) مطالعه موردی: شهر اهواز

سعید زنگنه شهرکی؛ استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، ایران
مرتضی امیدی‌پور؛ دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران، ایران
یوسف تازش*؛ دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
آتنا معین مهر؛ دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۶

چکیده: استفاده از مدلهای کمی برای شبیه‌سازی رشد و توسعه فیزیکی شهرها به واسطه وجود عوامل مختلف و پیچیدگی ذاتی محیط شهری همواره با چالش‌ها و عدم قطعیت‌هایی همراه است. از جمله مدلهایی که اخیراً در این زمینه مورد استفاده قرار می گیرند مدل‌های مبتنی بر سلول‌های خودکار (CA) است که در آنها قوانین تبدیل بر اساس منطق دو ارزشی و در حالتی غیر منعطف تعریف می‌گردند. ترکیب منطق فازی با مدل سلول‌های خودکار کلاسیک امکان مدلسازی عدم قطعیت حاکم بر فرآیند شبیه‌سازی رشد شهری را از طریق تعریف قوانین تبدیل با درجات عضویت فازی فراهم می‌سازد. پژوهش حاضر مدلی از توسعه شهری را بر مبنای اصول سلول‌های خودکار و رهیافت منطق فازی ارائه نموده است. در این راستا ابتدا مهمترین شاخص‌های مؤثر بر رشد شهری و ساختار شبکه‌ای شاخص‌ها با روش دیماتل بدست آمده، سپس با کمک ساختار تهیه شده وزن هر شاخص با روش فرآیند تحلیل شبکه (ANP) محاسبه شده است. برای شبیه‌سازی رشد شهری در محدوده مورد مطالعه(شهر اهواز) برای سال ۲۰۲۰ از ۳ تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ استفاده شده است. بعد از انجام عملیات پیش‌پردازش، طبقه‌بندی تصاویر برای هر سه دوره با روش حداکثر شباهت صورت گرفته است. برای بررسی صحت نقشه‌ها در دو مرحله از شاخص کاپا استفاده شده، ابتدا نقشه‌های سال‌های مبدا طبقه‌بندی و صحت آنها با واقعیت بررسی شد و پس آن برای شبیه‌سازی نقشه سال‌های دیگراقدام شده است و مجددا صحت ارزیابی شده است. از آنجا که میزان صحت مدل برای دوره‌های دارای نقشه واقعیت قابل قبول ارزیابی شد، بنابراین برای شبیه‌سازی رشد شهری سال ۲۰۲۰ مدل رگرسیون خطی و ماتریس احتمالات تبدیل مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان دهنده صحت قابل قبول مدل ارائه شده می‌باشد. همچنین مدل بکارگرفته شده در شبیه‌سازی شهری از واقع بینی بیشتری نسبت به مدل کلاسیک CA برخوردار بوده است. در سطح محدوده مورد مطالعه نیز نتایج گواه آن است که رشد و توسعه شهر اهواز در دوره‌های مختلف در جهت خاصی توسعه نیافته بلکه کاملا جسته و گریخته و در تمامی جهات صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: سلول‌های خودکار فازی، مدلسازی، رشد شهری، سنجش از دور و GIS.

Urban Expansion and Physical Development Simulation Using Fuzzy Cellular Automata (FCA). Case Study: Ahwaz City

Saeed Zanganeh Shahraki; Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Tehran, Iran
Morteza Omidi Pour; Ph.D Student in Remote Sensing and GIS, University of Tehran, Iran
Yousef Tazesh; Ph.D. Student of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Yasuj, Iran
Atena Moenmehr; Ph.D. Student, Geography and Rural Planning, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

Abstract: The use of quantitative models to simulate the growth and physical development of cities due to the various factors and inherent complexity of the urban environment is always accompanied by challenges and uncertainties. Among the most recently used models, automated cell-based models (CAs) are defined in which conversion rules are defined based on two-value logic and in a non-flexible manner. The combination of fuzzy logic and the classic cellular automata model was made operational by defining the transition rules using the degrees of fuzzy membership. This study presented the model of urban expansion based on the fuzzy cellular automata. The most effective indicators were first selected using the DEMATEL method. The weight of each indicator was then obtained using the prepared structure by the Analytic Network Process (ANP). Three satellite images of 2003, 2007, and 2013 were used to simulate urban growth of Ahvaz in the year 2020. The selected base year was 2003. After performing preprocessing operations, the images were classified using the maximum likelihood method. The Kappa index was employed in two stages to study accuracy of the images. The images of the base year were first classified and their accuracy was examined, and then the simulation of the images of the other years was performed and their accuracy again was examined. Since the degree of accuracy of the model was considered acceptable, the linear regression model and matrix of transition probabilities were used for simulation in 2020. Results showed that the model had acceptable accuracy. It also yielded more realistic results in urban simulations compared to the classic CA method. Moreover, growth and development of Ahvaz city in different periods did not take place in any specific direction but rather was completely irregular and occurred in all directions.
Keywords: Fuzzy cellular automata, Modeling, Urban growth, Remote sensing, GIS.

نویسنده مسئول: یوسف تازش، دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران،

۱. مقدمه

شهرنشینی با ایجاد گسترده‌ترین دستکاریهای بشری در چهره طبیعی زمین، شرایط زندگی ساکنان شهری را در معرض تهدید قرارداده است. در هر حال، توسعه شهری و تغییرات الگوهای کاربری زمین باعث ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و زیست محیطی می‌گردد. این تأثیرات شامل کاهش فضاهای طبیعی، افزایش تجمع وسایل نقلیه، کاهش زمین‌های کشاورزی با توان تولید بالا، تأثیر بر زهکشه‌ای طبیعی کاهش کیفیت آب و غیره است (Pauchard et al,Bella & Irwin,2006,274). چنین عواملی به نوعی با تغییر الگوهای کاربری زمین بر اثر فعالیت‌های انسانی مرتبط‌اند، بنابراین درک چگونگی تغییرات کاربری و پوشش زمین، چه از نظر کمّیت تغییرات و چه از نظر الگوی مکانی آن به دلیل اثرات گسترده بر محیط زیست، چرخه‌های آبی، زیستگاه‌های طبیعی و مانند اینها، حیاتی به نظر می‌رسد. مدل‌ها که نمایشی از دنیای واقعی هستند، در درک این تغییرات بسیار مؤثرند. درکل، مدل‌های تغییر کاربری زمین ابزارهای مفیدی برای مواردی از این دست هستند:

- بیان مکانیسم‌های مختلف تغییرات کاربری و عوامل مؤثر بر آن مکانیسم‌ها (Batty&Longely, 1994 .686).
- بیان تأثیرات اقتصادی و زیست محیطی تغییرات کاربری زمین (Alig,1986.132).
- برآورد تأثیرات الگوهای مختلف مدیریتی بر کاربری زمین (Bockstael et al,1995,155).

درک مکانیسم فرآیند رشد شهری در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است. مدل‌های فضایی، ابزارهایی مفید برای درک فرآیند توسعه شهری، ابزار کمکی سیاست‌گذاری مدیریت و برنامه ریزی و فراهم کننده اطلاعات برای ارزیابی تاثیر شهرها بر محیط زیست می‌باشند (رضازاده و میراحمدی، ۱:۱۳۸۸). با مدلسازی سیستم پیچیده شهری، الگوهای فضایی و روندهای رشد شهری را می‌توان شبیه سازی کرد و درک بهتری از سیستم شهر به عنوان یک کل واحد، به دست آورد.

درسالهای اخیر، علاقهٔ گسترده‌ای برای بکارگیری ابزارهای مرتبط با فناوری یا تکنولوژی اطلاعات همانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS)، سنجش از دور(RS) و مدلسازی رشد شهری به عنوان سیستم‌های حامی تصمیم‌گیری[1] در زمینهٔ برنامه ریزی شهری بوجود آمده است (Yeh and Sudhira,2004, Liu and Zhou,2005, Jat et al,2008). در بسیاری از مدل‌های کمی مورد استفاده برای شبیه‌سازی رشد و گسترش شهری ویژگی‌های پیچیده فضای شهری به صورت ایستا، خطی و یا متمرکز در نظر گرفته می‌شود. در چنین حالتی مدل مناسب باید بتواند علاوه بر مدلسازی این فرآیند پیچیده عدم قطعیت حاکم را نیز مدلسازی نماید. طی دو دهه گذشته پژوهشگران مختلفی از روشهای مبتنی بر سلول‌های خودکار[2] (CA) برای شبیه‌سازی رشد و توسعه شهرها بهره جسته‌اند. مدلهای مبتنی بر CA با داشتن ویژگی‌هایی مانند فضایی بودن، داشتن دیدگاه غیرمتمرکز در برخورد با مسائل، پیوند با دیگر ابزارهای تحلیل فضایی (RS,GIS)، دارا بودن محیط بصری و سادگی نسبی در مقایسه با دیگر مدل‌های شبیه سازی شهری می‌توانند به عنوان ابزاری مناسب برای مطالعه، مدلسازی و بازنمایی فرآیندهای پیچیده شهری عمل نماید (Yun,2008.69). اگرچه چنین مدل‌هایی به دلیل ساختار خاص خود، سازگاری نسبتاً خوبی در مدلسازی پدیده‌های پیچیده شهری از خود نشان می‌دهند، با این حال نحوه بیان و ایجاد تعاملات متقابل بین عوامل دخیل در فرآیند رشد شهری (به واسطه تعریف قوانین انتقال/ تبدیل) در آنها به صورتی قطعی (دو ارزشی) تعریف می‌گردد و به مساله عدم قطعیت نیز توجه کافی نمی‌شود.

1. Support decision systems
2. Cellular automaton

با توجه به اینکه در بسیاری از مسائل شهری اطلاعات در دسترس برای فرایند برنامه‌ریزی و مدلسازی نامعین و غیر قطعی است، بنابراین موفقیت در چنین امری وابسته به اطلاعات دقیق است که در غالب موارد امکان‌پذیر نیست. از اینرو تعریف قوانین قطعی بر اساس منطق کلاسیک ریاضیاتی برای شبیه‌سازی رشد شهری در مدلهای مبتنی بر CA از واقعیت به دور است؛ زیرا که فرآیندهای پیچیده شهری به کمک روابط ساده محاسباتی قابل بیان نمی‌باشند.

در مدل CA کلاسیک شهری تشریح برخی ویژگی‌ها مانند خصوصیات زبانی به کمک قوانین انتقال قابل بیان نمی‌باشند. با بکار گیری مدل CA فازی می‌توان موانع موجود را تا حد زیادی برطرف نمود. تئوری مجموعه فازی و منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدلسازی و صورت‌بندی ابهام و عدم قطعیت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی، ابزاری بسیار کارآمد و مفید برای این منظور به شمار می‌رود (امینی فسخودی، ۴۱:۱۳۸۴). مدلها و ارقام فازی کارآیی بالایی در حل مشکلات و مسائل مربوط به محیط‌های متغیر دارند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری، در شرایط عدم قطعیت فراهم می‌سازند (جعفری خالدی، ۴۰:۱۳۸۸).

هدف پژوهش حاضر شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهری بر مبنای ترکیب مدل سلول‌های خودکار کلاسیک و رهیافت منطق فازی است. در این رابطه قابلیت ترکیب منطق فازی با مدل CA برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد فیزیکی شهر اهواز مورد آزمایش قرار خواهد گرفت. همچنین روش دیماتل به عنوان روشی به منظور گزینش و ساختاردهی به عوامل موثر بر رشد شهرها مورد استفاده قرار گرقته است.

۲.ادبیات تحقیق

هر چند افزایش جمعیت علت اولیه گسترش سریع شهرها محسوب می‌شود، ولی پراکندگی بدون برنامه آن اثرات نامطلوبی بر محیط طبیعی و فرهنگی جوامع می‌گذارد (رهنما و عباس زاده،۱۳۸۷: ۲۲). امروزه آگاهی از فرم فضایی و میزان رشد و توسعه شهرها می‌تواند یکی از عوامل مهم تاثیرگذار در میزان موفقیت برنامه‌ریزان و دست اندرکاران شهری باشد و به بهبود محیط‌های شهری کمک شایانی نماید.اهمیت این مسأله سبب شده که در سال‌های اخیر، روش‌ها و مدلهای چندی برای سنجش فرم شهری بکار گرفته شود. مدل‌ها ساختارهای ساده شده از واقعیت هستند که ویژگی‌ها و روابط خاص مورد نظر را به طور کلی ارائه می‌دهند. به دلیل اینکه مدلها از واقعیت نشأت گرفته‌اند و ویژگی‌های اصلی همان واقعیت را بازتاب می‌دهند، بایستی در دنیای واقعی قابل اجرا و کاربردی باشند (Yun,2008.69).

استفاده از مدل در پژوهش‌های شهری به مدلهای قدیمی (فون تونن، وبر، کریستالر) برمی‌گردد. مدلهای دیگری از جمله مدل قطاعی، دوایر متحدالمرکز و مدل چند هسته‌ای هریس و اولمن سه مدل قدیمی از رشد شهری و الگوهای کاربری اراضی شهری می‌باشند. این مدل‌ها مبتنی بر توسعه شهر از بخش مرکزی و تجاری به بیرون بوده و ایستا و ثابت می‌باشند و با ماهیت پویای توسعه شهری ارتباط اندکی دارند. مروری بر ادبیات مرتبط با مدلسازی رشد و توسعه شهری نشان می‌دهد که سیر استفاده از مدل در فرآیند رشد شهری پس از عبور از مدل‌های بسیار قدیمی و ایستا ذکر شده به سمت مدلهای دیگری از جمله (موران، گری، هلدرن، آنتروپی و ...) که با ماهیت شهری کمی انعطاف‌پذیرتر بوده گام برداشته و در حال حاضر سمت و سوی استفاده از مدل در حوزه مسائل شهری به مدلهای پویاتر و منعطف‌تر از قبیل (سلول‌های خودکار، رگرسیون لجستیک، شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک و ...) می‌باشد.

در این راستا در چند سال اخیر افزایش دسترسی به داده‌های سنجش از دور و بهبود قدرت تفکیک آنها و نیز قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدلسازی رشد شهری سبب شده است که محققان در سراسر دنیا از این ابزارها استفاده نمایند. همچنین استفاده ترکیبی از مدل‌های مناسب در ترکیب با GIS و سنجش از دور سبب شده که توسعه آتی شهرها در

آینده نیز شبیه سازی شود (Dietzel and clark,2008.28). پژوهش بر روی طراحی و کاربرد سلولهای خودکار به زمان پیدایش محاسبات دیجیتالی باز می‌گردد، در این زمان تورینگ[1]، ریاضیدان انگلیسی در دهه ۱۹۳۰ مفهوم "Automata" را بکار برد (Batty,1998.28). اولام دریافت که سلولهای خودکار ساده می‌توانند در مجموعه‌ای از قوانین مکانی یافت شوند. با وجود اینکه کارهای تئوریکی زیادی بعد از دهه ۱۹۷۰ و قبل از ۱۹۸۰ انجام گرفت، اما کاربردهای خاص مدل CA در مدلسازی شهری تا قبل از دهه ۱۹۸۰ اتفاق نیفتاد. ورود مدل CA محض به علم جغرافیا، بیشتر پیامد کارهای توبلر در دهه ۱۹۷۰ در دانشگاه میشیگان است؛ او حاصل مطالعات خود را در مقاله‌ای تحت عنوان "جغرافیای سلولی" در سال ۱۹۷۹ منتشر کرد (ضیائیان فیروزآبادی و همکاران: ۱۳۸۸، ۳).

منطق فازی یا منطق تار و نامعین، برای اولین بار توسط دانشمند ایرانی، پرفسور عسگر لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا ارائه شد (عطائی،۱۱:۱۳۸۹) ایشان معتقدند مدل‌های فازی برای حل مسائلی که دارای عدم صراحت و دقت می باشند بسیار مناسب‌اند (Zadeh,1965.340). به زبان ساده مجموعهٔ فازی برای حل مسائلی که به خوبی تعریف و فرموله نمی شوند به کار می‌رود. بکارگیری منطق فازی در مدل CA از طریق قوانین تبدیل فازی عملی می‌شود که در قسمت‌های بعد به بحث در مورد مبانی مدل خواهیم پرداخت.

بیشتر مطالعات اخیر در زمینه مدلسازی و شبیه‌سازی رشد شهری در شهرهای ایالات متحده، شهرهای اروپائی و در آسیا بخصوص در شهرهای در حال رشد چین صورت گرفته که از جمله می‌توان به (کلارک، هاپن و گایدوس، ۱۹۹۷، یانگ و لو ۲۰۰۳، دایتزل، ۲۰۰۴، فرانکلین، ۲۰۰۵، دایتزل و کلارک، ۲۰۰۶) اشاره کرد که مدلی را بر مبنای سلولهای خودکار برای شبیه‌سازی روند رشد شهری در نقاط مختلف جهان بکار بردند. متعاقباً برخی از محققان از قبیل (یانگ و لو ۲۰۰۳، دایتزل، ۲۰۰۴، فرانکلین، ۲۰۰۵، دایتزل و کلارک، ۲۰۰۶، ال. احمدی و همکاران، ۲۰۰۹، الخدر و همکاران،۲۰۱۳) از منطق فازی به روش‌های مختلف در تلفیق با مدل CA برای شبیه‌سازی رشد شهری بهره جستند. کیانی (۱۳۷۹) در رساله دکتری خود از مدل CA برای پیش‌بینی تغیرات کاربری اراضی در منطقه ۵ تهران استفاده کرده است. این تحقیق کمتر جنبه تکنیکی و مدلسازی داشته است. همچنین ضیائیان فیروزآبادی(۱۳۸۸) در پژوهشی الگویی را برای شبیه‌سازی دینامیک کاربری اراضی شهری با استفاده از سنجش از دور و GIS، در ترکیب با مدل سلولهای خودکار برای شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهرکرد ارائه داده است. در این تحقیق از روش زنجیره‌های مارکوف برای اخذ قوانین تبدیل استفاده شده است، نتایج این تحقیق حاکی از کاربردی بودن مدل CA برای شبیه‌سازی و مدلسازی توسعه شهرها می‌باشد.

۳. اهداف تحقیق

هدف نهایی از انجام این تحقیق ترکیب و تلفیق داده‌های مکانی با GIS و سنجش از دور جهت شبیه سازی توسعه فیزیکی شهر اهواز و تحلیل رشد شهر در آینده می‌باشد. درون این هدف اهداف فرعی نیز به شرح زیر موردتوجه واقع شده‌اند:

- معرفی روش دیماتل به عنوان روشی به منظور گزینش و ساختاردهی به عوامل موثر بر رشد شهرها
- ترکیب منطق فازی و مدل CA کلاسیک در شبیه‌سازی رشد شهرها

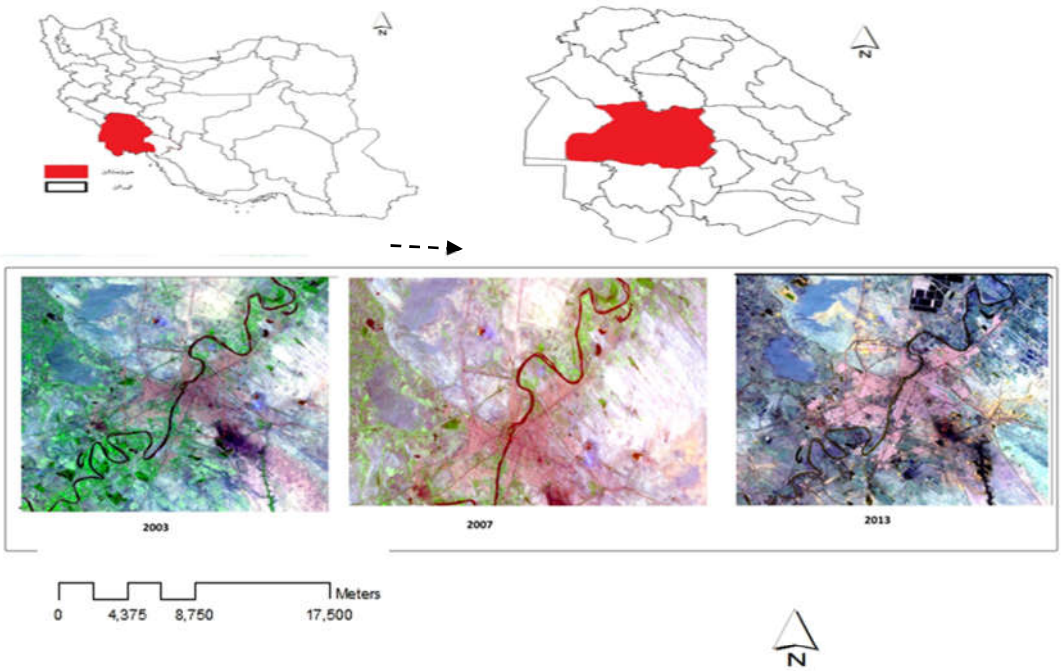
۴. مواد و روش‌ها

۴-۱. محدوده مورد مطالعه

اهواز بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ هفتمین شهر وسیع ایران پس از تهران، مشهد، اصفهان،تبریز، شیراز و کرج می‌باشد. جمعیت آن نیز در سرشماری سال ۱۳۹۵ بالغ بریک میلیون و ۳۰۲ هزار نفر بوده که اهواز را در جایگاه هفتمین شهر پرجمعیت ایران قرار می‌دهد. براساس تقسیمات اداری شهرداری این شهر دارای ۸ منطقه می‌باشد.

1. Alan Turing

موقعیت جغرافیایی این شهر (در ۳ سال ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) در شکل شماره ۱ ارائه شده است. امروزه شهرهای بزرگ و از جمله اهواز با مشکلات بسیاری مانند گسترش فضایی روز افزون، افزایش جمعیت، آلودگی زیست محیطی، کمبود خدمات و زیربناهای شهری، عدم تعادل در تخصیص سرانه‌های شهری، اسکان غیررسمی و حاشیه‌نشینی دست به گریبان است. بخش مهمی از این مشکلات به طور مستقیم به نحوه استفاده از زمین‌های شهری و رشد و توسعه کالبدی این شهر بر می گردد.



شکل (۱): نقشه موقعیت شهر اهواز

منبع: سازمان مسکن و شهرسازی استان خوزستان

جدول (۱): داده‌های چند زمانه سنجش از دور استفاده شده

ردیف	سال	نام ماهواره	نوع سنجنده	شماره ردیف و گذر	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک رادیومتریک
۱	۲۰۰۳	لندست ۷	ETM+	p165-r038	۳۰متر	۸
۲	۲۰۰۷	لندست۷	ETM+	p165-r039	۳۰متر	۸
۳	۲۰۱۳	لندست ۸	OLI	p165-r040	۳۰متر	۱۶

۴-۲. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است که ترکیبی از رهیافت‌های توصیفی- تحلیلی کمی در بخش های مختلف آن مورد استفاده قرار گرفته است. در مراحل مختلف پژوهش از روشهای گوناگونی برای تحقق اهداف تحقیق بهره جسته شده است. از ابزار مصاحبه و پرسشنامه (زمینه یابی) به منظور شناسایی شاخص‌های موثر بر رشد و توسعه شهری و همچنین بررسی میزان تاثیر آنها با استفاده از روش دیماتل و فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) استفاده شده است. همچنین از روش همبستگی برای بررسی شدت و میزان رابطه بین افزایش جمعیت و رشد شهری استفاده شده است. داده‌های پایه نیز حاصل پردازش تصاویر ماهواره‌ای بوده است که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۲-۱. داده‌ها مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق از تصاویر چند زمانه سنجش از دور (شامل تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ برای بررسی

روند تغیرات کاربری‌ها و برای شبیه‌سازی نهایی استفاده شده که مشخصات آنها در جدول (۱) ذکر شده است.

از سال ۲۰۰۳ به بعد تصاویر دریافتی از سنجنده +ETM به دلیل از کار افتادن اصلاح کننده خط پرواز(SLC) دارای گپ بوده است. میزان این گپ در حدود یک پیکسل در مرکز تصویر تا ۱۲ پیکسل در لبه‌ها می‌باشد. برای پر کردن این شکاف از الگوریتم ارائه شده توسط سازمان زمین شناسی و سازمان فضایی امریکا با عنوان الگوریتم Gap-Fill استفاده شده است. به منظور بهبود تصاویر ماهواره لندست ۷ اصلاح خط اسکن و پرکردن شکاف‌ها از نرم افزار ارائه شده توسط سازمان زمین شناسی امریکا استفاده شده است.

نحوه کار بدین گونه است که برای میانیابی پیکسل‌های فاقد ارزش در گپ‌ها از تصاویر مشابه و میانگین پیکسل‌های مجاور استفاده شده است. علاوه بر موارد ذکر شده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰، نقشه ۱/۲۵۰۰ شهری و همچنین تصویر مربوط به ماهواره quick bird به دلیل قدرت تفکیک مناسب برای تعریف کلاسهای آموزشی در طبقه‌بندی تصاویر مربوطه استفاده شده است. سایر داده‌ها عمدتاً در محیط نرم افزار ArcGIS و از طریق توابع تحلیلی تهیه شده‌اند که در واقع داده‌های مربوط به فاکتورهای موثر در رشد و توسعه شهر اهواز می‌باشند که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

۴-۲-۲. روش کار

تصاویر ماهواره مورد نیاز از سازمان زمین‌شناسی امریکا (USGS) اخذ شده‌اند. در تهیه هر سه تصویر اخذ شده سعی بر آن بوده که وضعیت اتمسفر هوا از پایداری مناسب برخوردار باشد. برای بازسازی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده از روش متعادل سازی هیستوگرام استفاده شده است. هر چند که تصاویر اخذ شده از کیفیت بالایی برخوردار بودند (LEVEL1) ولی به منظور اطمینان بیشتر تصحیحات هندسی به روش تابع چند جمله‌ای درجه اول برای هر سه تصویر استفاده شده است. از شاخص OIF و فاکتور I برای بدست آوردن ترکیب بهینه تصاویر رنگی کاذب استفاده شده است. در نهایت از ترکیب باندی ۱، ۴، ۷ به این منظور استفاده شده است. تعداد کلاسهای طبقه‌بندی در ابتدا ۵ کلاس (اراضی کشاورزی، باغات، اراضی ساخته‌شده، پهنه‌های آبی و اراضی بایر) و در مرحله بعد با ترکیب کلاس‌ها تمام سطح منطقه به دو کلاس شهری و غیر شهری تقسیم شده است. این کار از آن جهت بوده که هم دقت روش طبقه بندی افزایش یابد افزایش یابد و هم اینکه خروجی مدل نیز به صورت نقشه‌های اراضی ساخته شده و ساخته نشده برای سال‌های آتی می‌باشد. پیکس سایز تمامی داده‌های بکار گرفته در این پژوهش ۳۰ متر در نظر گرفته شده است. طبقه‌بندی تصاویر ۳ گانه در نرم افزار ENVI 4.7 انجام شده است. برای انجام طبقه‌بندی از روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت و در انتخاب نمونه‌های آموزشی سعی گردیده که این نمونه‌ها به طور پراکنده در کل تصویر پخش شده باشند تا طبقه‌بندی از دقت بالایی برخوردار باشد.

نکته قابل توجه در طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای داشتن نمونه‌های آموزشی صحیح از پدیده‌ها و عوارض زمینی می‌باشد که می‌تواند نتایج طبقه بندی را کاملا تحت تاثیر قرار دهد. برای ارزیابی دقت روش طبقه‌بندی از ضرایب کلی و شاخص کاپا استفاده شده است. میانگین دقت کلی و شاخص کاپا در ۳ تصویر طبقه‌بندی شده به ترتیب ۹۸,۹۰۴۱ و ۰,۹۸۶۰ بوده است. مدل ارائه شده در این پژوهش به طور کلی شامل۳ بخش اصلی می‌باشد. در بخش اول با استفاده از تکنیک دیماتل مهمترین و تاثیر گذارترین فاکتورهای موثر در رشد شهری انتخاب شدند. سپس نقشه‌های مورد نیاز برای هر کدام از فاکتورها در محیط GIS تهیه شده و درجات عضویت فازی به هر فاکتور واگذار می‌شود. درگام بعد وزن‌های بدست آمده از روش ANP برای اعمال میزان اثرگذاری هر کدام از فاکتورها در نقشه‌های بدست آمده ضرب می‌شود و نقشه‌های وزن‌دار تهیه می‌شود. نقشه‌های وزن دار فاکتورها نیز با یکدیگر تلفیق شده و نقشه تناسب (شایستگی) اولیه اراضی بدست می‌آید. در بخش دوم

ماتریس احتمال تبدیل که در واقع همان نقشه نهایی تناسب اراضی می‌باشد تهیه می‌شود. پس از طبقه بندی ۳ تصویر ماهواره‌ای اخذ شده و تلفیق کلاس‌ها، این ماتریس در نرم افزار Matlab با فرمت acscll تهیه شده است (از طریق محاسبه تعداد سلول‌هایی که در دو مرحله ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ تغیر پیدا کرده‌اند). نقشه‌های تهیه شده در این دو بخش ورودی مدل نهایی می‌باشند. در بخش آخر اجزای مدل سلول‌های خودکار به صورت یک سری از قوانین تبدیل فازی در مدل CA ارائه شده و برای بدست آوردن میزان شیب تغیرات از روش رگرسیون خطی استفاده شده است و نقشه شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۰ ارائه شده است.

شکل (۲): مدل مفهومی تحقیق

هر مسأله را بر اساس یک سری از معیارها می‌توان مورد بررسی قرار داد. معیارهای ارزیابی برای یک مسأله خاص ممکن است از طریق بررسی ادبیات مربوطه، مطالعات تحلیلی و پیمایش عقاید و آرای افراد حاصل شده باشد (عزیزی و برنافر،۱۳۹۱: ۳)بعد از بررسی ادبیات موضوع و اخذ مهمترین شاخص‌ها از تکنیک دیماتل برای تهیه ساختار پژوهش استفاده شده است. در واقع در این مرحله هدف غربال سازی شاخص‌ها و بدست آوردن تاثیر گذارترین شاخص‌ها در رشد شهری می‌باشد. سپس از روش ANP برای وزن دهی به فاکتورهای غربال شده استفاده شده است. با مرور تحقیقات صورت گرفته در زمینه رشد و توسعه شهری مهمترین فاکتورهای موثر بر رشد و توسعه کالبدی شهرها به شرح جدول زیر شناسایی شده‌اند.

جدول (۲): فاکتورهای موثر بر رشد و توسعه شهرها

نام شاخص	(Al-Kheder et al., 2008)	(Caruso et al., 2005)	(Barredo et al., 2003, 2004)	(White and Engelen, 2000)	(Deadma, 1993)
فاصله از جاده‌ها	*	*	*	*	*
فاصله از مرکز شهر	*				
نوع و جنس خاک					*
خدمات شهری	*	*			
اراضی مخاطراه آمیز					
شیب زمین	*				
ارتفاع	*				
منطقه بندی			*	*	*
زیرساخت‌های شهری			*	*	
تراکم جمعیت	*	*			

۵. معرفی مدل سلولهای خودکار فازی شهری (FCA)

مطابق اصول نظریه سلول‌های خودکار وضعیت سلول‌ها در یک مجموعه فازی شهری در زمانی خاص با وضعیت خود سلول در برهه زمانی قبل و وضعیت سلول مجاورش از طریق مجموعه‌ای از قوانین تبدیل مشخص می‌شود. این قوانین تبدیل اولیه به منظور مدلسازی توسعه یک سیستم شهری بر مبنای مفهوم مجموعه فازی قابل استفاده است

(Liu,2008.173). از آنجا که منطق فازی در مدل CA کلاسیک از طریق قوانین تبدیل عملی می‌گردد، ابتدا به معرفی مدل CA، اجزای آن و تفاوت‌های آنها پرداخته می‌شود. سلولهای خودکار یک سیستم پویای مجزاست که در آن فضا به سلول‌های فضایی منظم تقسیم می‌شود و زمان نیز در مراحل جداگانه پیش می‌رود. وضعیت هر کدام از سلول‌ها بر اساس یک سری از قوانین تبدیل به‌روز می‌شود، یعنی وضعیت هر سلول در زمان مشخص براساس وضعیت خود سلول، وضعیت سلول‌های همسایه و قوانین تبدیل به روز می‌شود (Wolfram,1982.125).

۱,۵. اجزای مدل سلول‌های خودکار عبارتند از:

الف) سلول:

در یک فضای دو بعدی(m*n) سلول یک واحد پایه فضایی را تشکیل می‌دهد. شبکه دو بعدی سلول‌ها شکل بسیار متداولی از یک سلول خودکار است که در مدلسازی توسعه شهری و بررسی تغیرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین فضای سلولی قابلیت آن را دارد که به اشکال دیگری همچون شکل موم عسل و یا حتی اشکال ۳ بعدی تبدیل شود(Wu, 1996. 82).

ب) وضعیت:

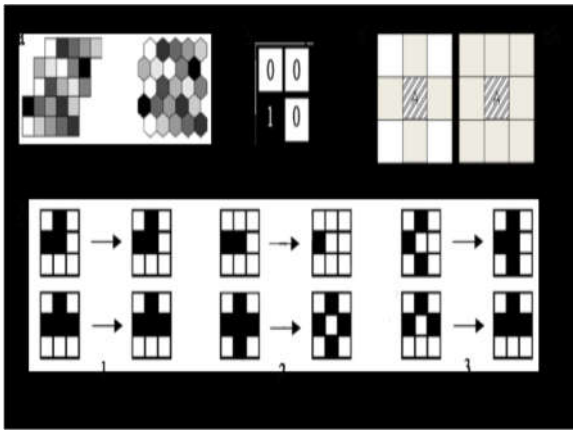
وضعیت نشان دهنده ویژگی‌های سیستم است. هر سلول در هر وقفه زمانی تنها می‌تواند یک وضع از مجموع وضع‌های موجود را داشته باشد. این وضعیت می‌تواند عددی برای نشان دهنده یک ویژگی باشد.

ج) همسایگی:

به مجموعه‌ای از سلول‌ها اطلاق می‌شود که که سلول مورد نظر با آن تعامل دارد. در یک فضای دو بعدی، دو نوع همسایگی اصلی وجود دارد، همسایگی فون نویمان (چهارسلولی) که شامل شمال، جنوب، شرق و غرب در همسایگی سلول مورد نظر می‌باشد و همسایگی مور(هشت سلولی) که بجز سلول‌های تعریف شده توسط نویمان سلول‌های شمال غربی، شمال شرقی، جنوب غربی و جنوب شرقی را نیز شامل می‌شود.

د) قوانین تبدیل:

که نشان می‌دهد چگونه یک سلول در واکنش به وضعیت کنونی خودش و وضعیت سلول‌های اطرافش تغییر می‌کند، این قوانین روند مدلسازی سیستم را نشان می‌دهد و در موفقیت مدلسازی بسیار تاثیرگذار است (White,1997.52). در مدل سلولهای خودکار فازی قوانین تبدیل به صورت غیرقطعی تعریف می‌شود. برای مثال فرض کنید این قانون که در مدل CA کلاسیک زمینی با شیب بالاتر ۲۰ درصد دو وضعیت مطلق قابل توسعه و غیرقابل توسعه دارد، در صورتی که در مدل فازی CA به انواع کلاس‌های شیب زمین درجات عضویت مختلفی اختصاص داده خواهد شد و توسعه یک سلول با شیب‌های مختلف به وسیله درجه عضویت پایین‌تر محدود می‌شود نه اینکه امکان توسعه این سلول امکان‌پذیر نمی‌باشد.

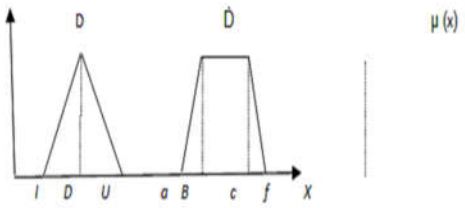


شکل (۳): اجزای مدل سلول‌های خودکار (ماخذ: Lee, Lei & Wu, 2009)

زمان: توسعه شهری فرآیندی است که در مکان و در طول زمان اتفاق می‌افتد. وضعیت تمامی سلول‌ها با گذشت زمان به روز می‌شود. زمان در مدل CA به صورت گسسته تعریف می‌شود. تعداد سال‌های‌مورد نیاز برای اینکه سلولی به طور کامل به یک وضعیت شهری برسد، با سرعت توسعه در ارتباط است. این مورد به فاکتورهای موثر بر رشد شهری مرتبط است که منجر به تنوع در الگو و سرعت توسعه در زمان و مکان می‌شود. مدل سلول‌های خودکار فازی را می‌توان بر اساس رابطه زیر نمایش داد:

رابطه شماره (۱): $S\,t+_1= f(s_t\ , N, T)$

که در آن $S\,t+_1$ وضعیت سلول در زمان $t+_1$ و S_T وضعیت هر سلول در زمان t می‌باشد، T نیز مجموعه‌ای از قوانین تبدیل فازی می‌باشد (singh,2003.132). در موارد کاربردی برای اعمال قوانین تبدیل به دلیل مشکلات و پیچیدگی زیاد محاسبات فازی، از اعداد خاص فازی و به صورت مثلثی و ذوزنقه‌ای به شکل زیراستفاده می‌شود:



شکل (۴): اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای

در شکل بالا عدد فازی مثلثی D به این شکل تعریف می‌شود: D={l,d,u} که l و d و u به عنوان کرانه پایین، کرانه میانی و کرانه بالا، به ترتیب بیانگر کمترین ارزش ممکن، مورد انتظارترین ارزش و بیشترین ارزش ممکن است. در این حالت تابع عضویت $\mu_D(x)$ به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_D(x)=\begin{cases}0\ ; & x\le l\\ (x-1)/(d-1); & l<x\le d\\ (u-x)/(u-d); & d<x\le u\\ 0\ ; & x>u\end{cases}$$

در محیط نرم افزار ArcGIS برای اعمال درجه عضویت متغیرها از تابع Fuzzy membership استفاده می‌شود و یا اینکه خود کاربر بر اساس عملگرهای شرطی و انجام برخی توابع به تعریف درجه عضویت‌های گوناگون می‌پردازد.

۶. بکارگیری تکنیک دیماتل به منظور گزینش مهمترین شاخص‌های تاثیر گذار[1]

تکنیک دیماتل در اواخر سال ۱۹۷۱، عمدتاً برای بررسی مسائل بسیار پیچیده بوجود آمد. اهداف استراتژیک و عینی از مسائل جهانی، به منظور دسترسی به راه‌حل‌های مناسب مدنظر قرار گرفت و از خبرگان در زمینه‌های علمی، سیاسی، اقتصادی و عقیدتی برای قضاوت و نظرخواهی استفاده می‌گردد. در نهایت آنچه از دیماتل حاصل می‌گردد ساختاردهی به یکسری از اطلاعات است، بطوریکه شدت ارتباطات را به صورت امتیازدهی مورد بحث قرار داده و ساختار کلی یک مساله تصمیم را شناسایی می‌کند (اصغرپور، ۲۷:۱۳۷۷). از آنجا که گراف‌های جهت‌دار روابط عناصر یک سیستم را بهتر می‌توانند نشان دهند، لذا این تکنیک مبتنی بر نمودارهایی است که می‌تواند عوامل درگیر را به دو گروه علت و معلول تقسیم نماید و رابطه میان آن‌ها را به صورت یک مدل ساختاری قابل درک درآورد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۲).

قضاوت خبرگان در مقایسه‌های زوجی این روش، ساده بوده و نیازمند آگاهی ایشان از چگونگی فرایند دیماتل نیست؛ اما کیفیت نظر و گستره بینش آنها از جوانب گوناگون مسئله در نتیجه حاصل از روش دیماتل، بسیار اثر گذار است و باید آگاهی کافی از مسئله داشته باشند (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۹۲: ۶). بعد از جمع‌آوری آرا خبرگان از طریق پرسشنامه[2]، برای شناسایی روابط میان معیارها و ساختارسازی از روش دیماتل استفاده شده است. در این رابطه از کارشناسان خواسته شد تا بر اساس طیف ۵ مقیاسی زیر به مقایسه زوجی شاخص‌ها بپردازند.

جدول (۳): طیف مقیاس زوجی شاخص‌ها

بدون تاثیر	تاثیر خیلی کم	تاثیر کم	تاثیر زیاد	تاثیر خیلی زیاد
۰	۱	۲	۳	۴

(۰): عامل A بر B تاثیری ندارد.

(۱): عامل A بر B کمی تاثیر می‌گذارد.

(۲): عامل A بر B موثر است.

(۳): عامل A بر B تاثیر نسبتاً زیادی دارد.

(۴): عامل A بر عامل B به شدت تاثیرگذار است.

1. Decision Making Trial And Evaluation

۲. تعداد ۵ نفر از دانشجویان دکتری مرتبط با موضوع تحقیق مقایسات زوجی را انجام داده‌اند.

برای بررسی میزان شدت روابط ابتدا ماتریس ارتباط مستقیم (M) بر اساس نظرات کارشناسان تشکیل شده است. برای یکپارچه سازی نظرات کارشناسان از روش میانگین ساده نظرات استفاده شده است. در گام دوم ماتریس ارتباط مستقیم (M) را با استفاده از رابطه (N = K*M) نرمال می‌کنیم. که در این فرمول k به صورت زیر محاسبه می‌شود. ابتدا جمع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه می‌شود. معکوس بزرگترین عدد سطر و ستون k را تشکیل می‌دهد.

رابطه شماره۲: $$k = \frac{1}{max \sum_{j=1}^{k} a_{ij}}$$

در مرحله بعد ماتریس T بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید، ماتریس I در این فرمول ماتریس واحد می‌باشد.

رابطه شماره۳: $$T = N \times (I - N)^{-2}$$

در گام پایانی این مطالعه، حد آستانه از طریق محاسبه میانگین عناصر ماتریس T تعیین شده است. از آنجا که ماتریس T اطلاعات مربوط به چگونگی اثرگذاری یک عامل بر عامل دیگر را فراهم می‌کند، تصمیم‌گیرنده باید یک مقدار یا حد آستانه‌ای برای فیلترکردن برخی آثار جزئی (بسیار کم تاثیر) تعیین کند. نتیجه نهایی این مرحله با میانگین ۰,۷۵ به منظور حذف عناصر با شدت ارتباط کم اعمال شده است. نتایج به شرح ماتریس زیر می‌باشد، که در آن عدد صفر حاکی از عدم تأثیرگذاری عامل سطر بر عامل ستونی است و در مقابل عدد یک از تأثیرگذاری عامل سطر بر عامل ستونی حکایت می‌کند. در واقع نمودار علی به شرح زیر ایجاد می‌گردد.

جدول (۴): مقایسه زوجی شاخص‌ها

نام شاخص	فاصله از راه‌ها	فاصله از مرکز شهر	نوع و جنس خاک	خدمات شهری	اراضی مخاطره آمیز	شیب زمین	ارتفاع	منطقه بندی	تراکم
فاصله از راهها	۰	۴	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰
فاصله از مرکز شهر	۳	۰	۰	۲	۱	۱	۰	۰	۲
نوع و جنس خاک	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۰	۰	۱
خدمات شهری	۱	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
اراضی‌مخاطراه آمیز	۰	۱	۱	۰	۰	۳	۰	۱	۳
شیب زمین	۰	۰	۲	۰	۱	۰	۳	۱	۰
ارتفاع	۰	۰	۲	۱	۰	۱	۰	۱	۱
منطقه بندی	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۲	۰	۲
زیرساخت‌های شهری	۱	۱	۱	۰	۰	۲	۱	۱	۱
تراکم جمعیت	۲	۴	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۰

جدول (۵): حد آستانه از طریق محاسبه میانگین عناصر ماتریس T

نام شاخص	فاصله از راه‌ها	فاصله از مرکز شهر	نوع و جنس خاک	خدمات شهری	اراضی مخاطره آمیز	شیب زمین	ارتفاع	منطقه بندی	تراکم
فاصله از راها	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰
فاصله از مرکز شهر	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰
نوع و جنس خاک	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
خدمات شهری	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
اراضی مخاطراه آمیز	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
شیب زمین	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
ارتفاع	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
منطقه بندی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زیرساخت‌های شهری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تراکم جمعیت	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰

*مراحل مربوط روش دیماتل در نرم افزار MATLAB انجام شده است.

۷. وزن دهی به شاخص‌ها با روش فرآیند تحلیل شبکه (ANP)

یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم گیری‌های چند معیاره، فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP[1] است. این روش گسترش یافته روش AHP است. در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وابستگی‌ها به صورت خطی (از پایین به بالا یا برعکس) است. حال اگر وابستگی دو طرفه باشد، یعنی وزن شاخص‌ها به گزینه‌ها و وزن گزینه‌ها به شاخص ها وابسته باشد، مساله از حالت سلسله مراتبی خارج شده و تشکیل یک شبکه را می‌دهد که دیگر نمی‌توان قوانین و فرمول‌های روش AHP را به کار برد. باید در استفاده از روشAHP اندکی محتاط بود زیرا کلیه مسائل و مشکلات برنامه ریزی لزوما دارای ساختار سلسله مراتبی نیستند. این محدودیت عمده AHP باعث شد که ابداع کننده آن توماس ساعتی روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای را ارائه و معرفی کند که در آن ارتباط پیچیده بین و میان عناصر تصمیم از طریق جایگزینی ساختار سلسله مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته شود (زبر دست،۱۳۸۹: ۸۳). فرایند تحلیل شبکه‌ای را در چارچوب مراحل زیر می‌توان خلاصه کرد:

الف) ساخت مدل و تبدیل مساله به یک ساختار شبکه‌ای: موضوع/ مساله باید به طور آشکار و روشن به یک سیستم منطقی، مثل یک شبکه ترسیم شود. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان از طریق طوفان مغزها و یا هر روش دیگری همچون گروه اسمی و یا روش دلفی بدست آورد (در این تحقیق از طریق تکنیک دیماتل). در این مرحله موضوع یا مساله مورد نظر به یک ساختار شبکه‌ای که در آن گره‌ها به عنوان خوشه‌ها مطرح هستند، تبدیل می‌شوند[2].

ب) تشکیل ماتریس مقایسه دو دویی و تعیین بردارهای اولویت: مشابه مقایسه دو دویی که در روش AHP انجام می‌شود، عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها، بر اساس میزان اهمیت آنها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. تصمیم گیران در مورد مقایسه‌های دو دویی عناصر و یا خود خوشه‌ها دو به دو باید مقایسه کنند. علاوه بر این، وابستگی‌های متقابل بین عناصر یک خوشه نیز باید دو به دو مورد مقایسه قرار گیرند. تاثیر هر عنصر بر عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل ارائه است.

ج) تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد: برای دست یابی به اولویت‌های کلی، در یک سیستم با تاثیرات متقابل، بردارهای اولویت داخلی (یعنیW های محاسبه شده) در ستونهای مناسب یک ماتریس وارد می‌شود. در نتیجه یک سوپر ماتریس(ماتریس تقسیم شده) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، بدست می‌آید. در مرحله بعد سوپر ماتریس موزون از طریق ضرب سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالایز کردن ماتریس موزون، سوپر ماتریس ازنظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود. در مرحله سوم و نهایی سوپر ماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی حاصل شود (از طریق تکرار) یا به عبارت دیگر تا زمانی که تمامی عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند محاسبه می‌شود.

د) محاسبه وزن‌ها: در مرحله آخر از سوپرماتریس حد نرمالایز شده وزن‌های هر کدام از شاخص‌ها اخذ خواهد شد. به دلیل ساختار پیچیده روش ANP تمامی مراحل بالا در نرم افزار SUPRT DECITION انجام شده است. نتایج حاصل شده به شرح زیر می‌باشد.

1. Analytical network process

۲. خوشه‌ها بدست آمده و روابط بین آنها از روش دیماتل اخذ شده است.

جدول (۶): اوزان بدست آمده برای شاخص‌ها

نام شاخص	وزن
فاصله از راهها	۰,۳۴۲۳
فاصله از مرکز شهر	۰,۱۳۶
نوع و جنس خاک	۰,۰۹۸۲
خدمات شهری	۰,۱۳۴۵۳
اراضی مخاطره آمیز	۰,۱۳۲۱
شیب زمین	۰,۰۲۱۶۴
تراکم جمعیت	۰,۱۳۵۳۲

ماخذ: یافته‌های تحقیق

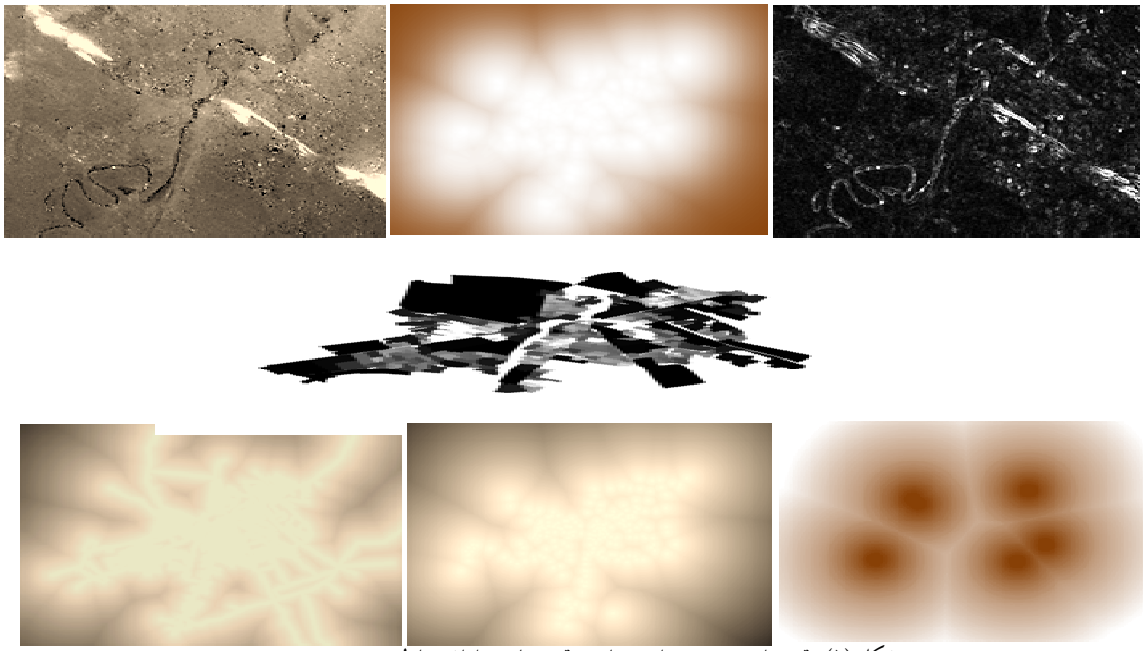
۸. تهیه نقشه تناسب اراضی اولیه

بعد از تهیه وزن شاخص‌ها برای بدست آوردن نقشه تناسب اراضی اولیه با تهیه نقشه‌های فاکتور و با کمک توابع تحلیلی در محیط GIS همه فاکتورها درجه عضویت مختلف از صفر تا یک گرفتند سپس این نقشه‌ها با استفاده از رابطه زیر با هم تلفیق شدند و نقشه تناسب اولیه اراضی بدست آمد.

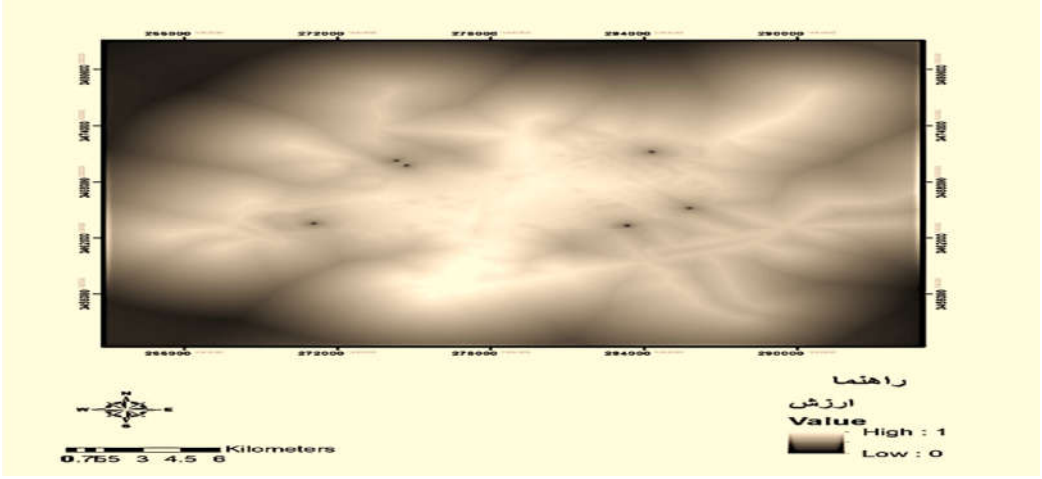
رابطه شماره ۴:

$$PMAP= \sum_1^n W_1 * S_1 + W_2 * S_2 + \cdots + W_N * S_n$$

در این رابطه S ارزش هر سلول در هر نقشه فاکتور و W وزن هر فاکتور می‌باشد، $\sum_1^n W_n * S_n$ نیز مجموع ارزش‌های هر سلول حاصل از تلفیق وزن‌ها در تمامی شاخص‌ها است.



شکل (۵): نقشه‌های ورودی برای محاسبه نقشه تناسب اراضی اولیه



شکل (۶): نقشه‌های تناسب اراضی اولیه

۹. محاسبه نقشه تناسب اراضی نهایی

در این بخش از مدل، نقشه نهایی تناسب (شایستگی) اراضی به وسیله محاسبه ماتریس احتمال تبدیل سلول‌ها و احتمال وزنی مشخص می‌شود. ورودی این نقشه تصاویر طبقه‌بندی شده مربوط به ۳ دوره ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ می‌باشند که در واقع در این مرحله ضریب تبدیل سلول‌هایی که در وضعیت غیر شهری می‌باشند و با شدت و ضعف مختلف میل به توسعه دارند مشخص خواهد شد. برای محاسبه ماتریس احتمال تبدیل مستقیم، همه سلول‌های تبدیل(تمامی سلول‌هایی که در دوره قبل در وضعیت غیرشهری بوده و در زمان حال به سلول شهری تبدیل شده‌اند) و سلول‌های موجود در هر کلاس مشخص می‌شوند، سپس احتمال تبدیل مستقیم بر اساس رابطه زیر مشخص می‌شوند. در این رابطه M_n تعداد سلول‌های تبدیل و S_n تعداد سلول‌هایی می‌باشد که در کلاس n قرار دارد. $p_n(direct)$ نیز احتمال مستقیم در سطر و ستون در نقشه تناسب اراضی اولیه می‌باشد. در نهایت ماتریس احتمال تبدیل و ماتریس احتمال وزنی با اعمال رابطه زیر با هم ترکیب شده و نقشه شایستگی اراضی نهایی بدست می‌آید. در این رابطه Ω اثر همسایگی است(در این تحقیق از همسایگی مور استفاده شده) که به تعداد سلول‌هایی که در یک وضعیت شهری در اطراف سلول هدف می‌باشند وابسته است. تعداد سلول‌های تبدیل در سال شبیه‌سازی شده به وسیله محاسبه رگرسیون بدست آمده است. ابتدا ضریب همبستگی پیرسون (PCC) جمعیت محدوده مورد مطالعه و تعداد سلول‌های که در یک وضعیت شهری قرار داشتند محاسبه شده است. مقدار ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰,۹۷ بوده که نشان دهنده ارتباط قوی و مستقیم بین این متغیرها می‌باشد. سپس بر اساس مقدار PCC که نشان دهنده همبستگی قوی بین جمعیت و انتقال سلول‌ها می‌باشد، یک مدل رگرسیون خطی برای پیش‌بینی تعداد سلول‌های شهری در سال ۲۰۲۰ استفاده شده است.

جدول (۷): پیش‌بینی سلول‌های تبدیل در سال شبیه‌سازی شده

سال	مقادیر ورودی در مدل
۲۰۰۳	۷۰۰۰۰۰
۲۰۰۷	۸۰۰۰۰۰
۲۰۱۳	۱۲۰۰۰۰۰
۲۰۲۰	۲۱۵۲۲۵

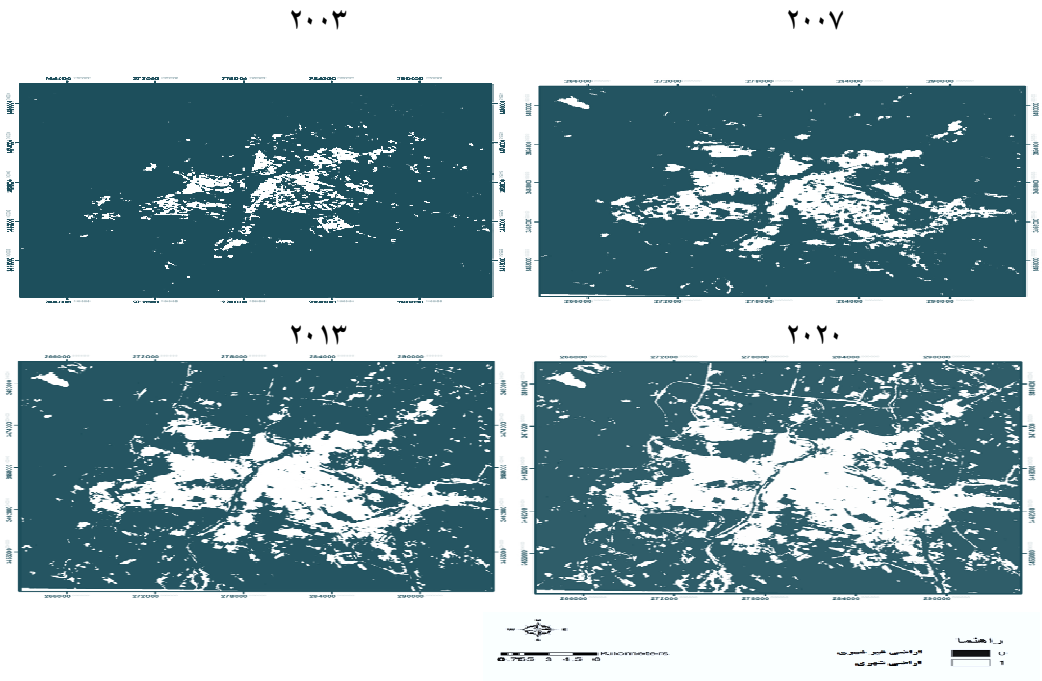
۱۰- عملیاتی کردن اجزای مدل سلول‌های خودکار فازی در شبیه‌سازی

در بخش‌های قبل در مورد اجزای مدل CA بحث شد در این بخش به عملیاتی کردن این اجزا در مدل نهایی به شرح زیر می‌پردازیم: یک شکل مربعی از سلول‌ها در این تحقیق در اندازه ۳۰ متر در محیط GIS تعریف شده است. برای هر سلول ۳ وضعیت در نظر گرفته شده است. وضعیت با مقدار ۱ نشان دهنده یک سلول شهری، وضعیت با مقدار صفر بیانگر سلول‌های محدودکننده و وضعیت غیر شهری درجه عضویت بین صفر و ۱ تعیین شده است. برای در نظر گرفتن مجاورت از همسایگی مور استفاده شده است. قوانین تبدیل فازی نیز به شرح زیر می‌باشد:

- اگر سلولی به فاکتورهای مؤثر بر رشد شهر با درجه عضویت بالا نزدیک باشد احتمال بیشتری برای تبدیل به وضعیت شهری را دارد.
- سلول‌هایی که در مجاورت سلول‌های شهری قرار دارند از شانس بیشتری برای تبدیل شدن به یک وضعیت شهری برخوردارند.
- اگر سلولی در وضعیت شهری باشد، وضعیت این سلول در دوره شبیه‌سازی شده تغییر نمی‌کند.
- اگر سلول دریک وضعیت محدود شده باشد(رودخانه، پادگان نظامی و....)، وضعیت این سلول در دوره شبیه‌سازی شده به یک سلول شهری تغییر نمی‌کند. برای شبیه‌سازی رشد شهری در محدوده مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار MATLAB برنامه‌ای تدوین شده و شبیه‌سازی صورت گرفته است. ابتدا از نقشه طبقه بندی شده سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷

برای شبیه‌سازی سال ۲۰۱۳ استفاده شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی سال ۲۰۱۳ با نقشه واقعی سال ۲۰۱۳ از طریق محاسبه شاخص کاپا ارزیابی شده و از آنجا که نتایج حاصل از شبیه سازی با دقت ۰٫۸۹۵ (سازمان زمین‌شناسی آمریکا میزان دقت بالاتر از ۰٫۸۵۵را قابل قبول می‌داند) بود به شبیه‌سازی رشد شهری برای سال ۲۰۲۰ پرداخته شده است.

همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود در طول دوره‌های مختلف رشد شهر اهواز به صورت جسته و گریخته و در تمام جهات بوده است. از مهمترین دلایل این امر می‌توان به عدم وجود محدودیت‌های طبیعی، فرهنگ استفاده از مسکن و عدم نظارت بهینه شهرداری در این زمینه اشاره کرد.



شکل (۷): دوره‌های مختلف رشد شهر اهواز

۱۱. نتیجه گیری

گسترش بی‌رویه اراضی شهری از مهمترین مسائل و معضلات برای مدیران و برنامه‌ریزان شهرها در سطوح گوناگون می‌باشد. امروزه آگاهی از فرم فضایی و میزان رشد و توسعه شهرها می‌تواند یکی از عوامل مهم تاثیرگذار در میزان موفقیت برنامه ریزان و دست‌اندرکاران شهرها باشد و به بهبود محیط‌های شهری کمک شایانی نماید. در این تحقیق تلاش شد تا با بکارگیری مدل سلول‌های خودکار فازی، رشد کالبدی شهر اهواز برای سال ۲۰۲۰ شبیه‌سازی شود. از آنجا که مدل CA کلاسیک بخاطر برخی محدودیت‌ها و عدم واقع‌گرایی به شکل بهینه نمی‌تواند دید جامعی از رشد یک شهر ارائه دهد، در این تحقیق با بکارگیری فاکتورهای مختلف، بدست آوردن ضریب اهمیت آنها و اعمال قوانین تبدیل فازی در مدل CA کلاسیک، از یک رویکرد فضایی واقع‌بینانه برای شبیه‌سازی و مدلسازی رشد فیزیکی شهر اهواز استفاده شده است. در مقایسه با مدل‌های شهری دیگری که بر مبنای سلول‌های خودکار هستند، در فرآیند توسعه شهری این مدل دارای مزایایی می‌باشد. مهمترین مسئله‌ای که در کاربرد این رهیافت در مدلسازی تغییرات کاربری اراضی شهری وجود دارد، استخراج قوانین تبدیل مدل می‌باشد؛ که امری پیچیده و مشکل است. پیش بینی مدل، نشان داد که روند رشد و توسعه کالبدی شهر و شهرگرایی سریع در

کلانشهر اهواز به صورت کاملا نامنظم و در تمامی جهات محدوده شهری اتفاق افتاده است. از مهمترین دلایل این امر می‌توان به عدم وجود محدودیت‌های طبیعی، فرهنگ استفاده از مسکن و عدم نظارت بهینه شهرداری در این زمینه اشاره کرد. آنچه که در مدلسازی رشد شهری مهم می‌باشد در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف تا حد امکان و همچنین تاثیر دادن ضریب اهمیت آن می‌باشد، که به دلیل قابلیت‌های روش دیماتل در زمینه محاسبه ساختار و روابط علت و معلولی می‌تواند به عنوان یک ابزار کمکی در کنار مدل‌های رشد و توسعه شهرها قرار گیرد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که در صورت وجود داده‌های با کیفیت بالاتر و همچنین در نظر گرفتن فاکتورهای بیشتر در رشد شهر می‌توان به شبیه‌سازی واقع بینانه‌تری از رشد شهرها دست یافت. پیشنهاد می‌شود برای تحقیقات آتی روشهای بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی با روش‌های موجود نیز مقایسه شود و با در نظر گرفتن دقت هر کدام از این مدل‌ها به بهینه‌سازی شبیه سازی‌های شهری دست یافت.

منابع:

۱. آذر، عادل و فرجی، حجت (۱۳۸۷)، علم مدیریت فازی، تهران، انتشارات مرکز مطالعات و بهره‌وری ایران.

۲. آقاابراهیمی، بابک و همکاران(۱۳۸۷)،" ارزیابی چالش‌های شرکت‌های ایرانی در پروژه‌های نفت و گاز به روش " DEMATEL"، دوره ۲۴، شماره ۴۵،صفحه ۱۲۱-۱۲۹،

۳. اصغربور، محمدجواد (۱۳۷۷)، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

۴. امینی فسخودی، عباس(۱۳۸۴)، کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه ریزی و توسعه منطقه ای، شماره ۱۷،

۵. رضازاده، راضیه و میراحمدی، مهرداد(۱۳۸۸)؛ "مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه‌سازی رشد شهری"، نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش، سال چهارم، جلد ۴ ، شماره ۱،

۶. ضیائیان فیروزآبادی و همکاران(۱۳۸۸)،"سنجش از دور(RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) و مدل سلول‌های خودکار (CA) به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغیرات کاربری اراضی شهری"، مجله علوم محیطی سال هفتم، شماره اول.

۷. عطایی، محمد(۱۳۸۹)، تصمیم گیری چند معیاره فازی، شاهرود، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

۸. فرجی سبکبار، حسنعلی و همکاران(۱۳۹۲)،" ارزیابی مکان استقرار شعب بانک‌ها و مؤسسه‌های مالی و اعتباری منطقه ۶ شهر تهران با استفاده از روش دیماتیل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای"، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۵، شماره ۳،

۹. قدسی پور، سید حسن (۱۳۸۵)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تهران، انتشارات دانشگاه امیر کبیر تهران، چاپ پنجم.

۱۰. مهندسین مشاور عرصه(۱۳۸۹)، طرح راهبردی توسعه و عمران شهر اهواز، سازمان مسکن و شهرسازی استان خوزستان، مرحله اول، مقطع دوم، جلد سوم.

11. Alig, R.J., 1986, Econometric Analysis of the Factors Influencing Forest Acreage Trends inthe Southeast, Forest Science, 32, 119–134

12. Batty, M., Longley, M., 1994, Urban Modeling in Computer-Graphic and GeographicInformation System Environments, Environment and Planning B, 19, 663–688

13. Batty, M. 1997. Cellular automata and urban form: a primer. Journal of the American Planning Association 63: 266–74.

14. Dietzel, C. and Clarke, K. C. 2006. The effect of disaggregating land use categories in cel- lular automata during model calibration and forecasting. Computers, Environment, and Urban Systems 30: 78–101.

15. Pauchard, A., Aguayo, M., Peña, E., Urrutia. R., 2006, Multiple Effects of Urbanization onthe Biodiversity of Developing Countries: The Case of a Fast-growingMetropolitan Area (Concepción, Chile), Biological Conservation, 127:272-281.

16. Singh, A. K. (2003) Modelling land use land cover changes using cellular automata in a geo-spatial environment. M.Sc Thesis, International institute for geo-information science and earth observation.

17. Sui, D. and Hui, Z., 2001, Modeling the Dynamics of Landscape Structure in Asia's Emerging Desakota egions: a Case Study in Shenzhen, Landscape and Urban Planning 53.

18. White, R., Engelen, G. and Uljee, I. 1997. The use of constrained cellular automata for

high- resolution modelling of urban land-use dynamics. Environment and Planning B 24: 323–43

19. Wolfram, S. 1994. Cellular automata and complexity: collected papers. Reading, MA: Addison-Wesley.

20. Zadeh L.A.,1965, Fuzzy sets". Information and Control 8: 338–353.