پیش بینی رشد و توسعه شهرستان بندرگز با استفاده از مدل اتوماتای سلولی‌فازی (FCA)

علیرضا دنیائی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶

چکیده:

رشد شهری نتیجه اثرات فیزیکی و انسانی در گذر زمان است. در بسیاری از پویایی‌های شهری این اثرات در تقابل با توسعه پایدار قرار می‌گیرند. گسترش سریع و بی رویه شهرها منجر به ساخت و سازهای بدون برنامه‌ریزی و رشد مهارنشدنی شده است. لذا این رفتارهای ناپایدار، مشکلات فراوانی در حوزه‌های زیست محیطی، اقتصادی و فرهنگی به وجود آورده است، که می‌تواند بسیار مخاطره‌آمیز و نگران‌کننده باشد. به این ترتیب مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار شهر، کمک فراوانی به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان جهت درک چشم‌انداز پیشرو شهر جهت نیل به توسعه پایدار شهری می‌نماید. از جمله مدل‌هایی که اخیراً در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته، مدل‌های مبتنی بر اتوماتای سلولی(CA) است که در آن‌ها قوانین تبدیل بر اساس منطق دو ارزشی و در حالتی غیرمنعطف تعریف می‌گردند. ترکیب منطق فازی با مدل اتوماتای سلولی‌کلاسیک امکان مدل‌سازی عدم قطعیت حاکم بر فرآیند شبیه‌سازی توسعه شهری را از طریق تعریف قوانین تبدیل با درجات عضویت فازی فراهم می‌سازد. پژوهش حاضر مدلی از توسعه شهری را بر مبنای اصول اتوماتای سلولی و منطق فازی ارائه می‌نماید. در این راستا ابتدا مهمترین شاخص‌های مؤثر بر توسعه شهری و ساختار شبکه‌ای شاخص‌ها با روش دیماتل به‌دست آمد، سپس وزن هر شاخص با روش فرآیند تحلیل شبکه (ANP) محاسبه شد. برای شبیه سازی توسعه شهری در محدوده مورد مطالعه (شهرستان بندرگز) برای سال۲۱۰۰ از ۳ تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ استفاده شد. بعد از انجام عملیات پیش‌پردازش، طبقه‌بندی تصاویر برای هر سه دوره با روش حداکثر شباهت صورت گرفت. برای بررسی صحت نقشه‌ها در دو مرحله از شاخص کاپا استفاده شد، ابتدا نقشه‌های سال‌های مبدا طبقه‌بندی و صحت آن‌ها با واقعیت بررسی شد، سپس برای شبیه‌سازی نقشه سال‌های دیگر اقدام شد و مجددا صحت عملیات مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجا که میزان صحت مدل برای دوره‌های دارای نقشه قابل قبول ارزیابی شد، بنابراین برای شبیه‌سازی توسعه شهری سال۲۱۰۰ مدل رگرسیون خطی و ماتریس احتمالات تبدیل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده قابل قبول بوده به‌طوریکه در شبیه‌سازی شهری نسبت به مدل کلاسیک CA بهتر عمل می‌نماید. همچنین رشد و توسعه شهرستان بندرگز در دوره‌های مختلف بیشتر در جهت‌های شرقی و غربی صورت گرفته است.

واژه های کلیدی: اتوماتای سلولی فازی، توسعه شهری، سنجش از دور وGIS

[۱] کارشناس حفاظت و بهره برداری از منابع آب شرکت آب منطقه ای گلستان، Ar.donya@gmail.com

مقدمه

دخالتهای انسان در سیمای طبیعی زمین بواسطه توسعه شهرنشینی، شرایط زندگی را برای ساکنان شهرها در معرض تهدید قرار داده است(۱۱). از سوی دیگر، توسعه شهرها به همراه تغییر در الگوی کاربری اراضی موجب ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و زیست‌محیطی گردیده است. از جمله این تأثیرات می‌توان به کاهش فضاهای طبیعی، افزایش تجمع وسائط نقلیه، کاهش سطح اراضی کشاورزی با استعداد خوب، کاهش کیفیت آب اشاره کرد(۲۳). چنین عواملی به تغییر الگوهای کاربری اراضی بر اثر فعالیت‌های انسانی مرتبطاند، بنابراین درک چگونگی این تغییرات، به‌دلیل اثرات گسترده بر محیط زیست، چرخه‌های آبی و زیستگاه‌های طبیعی، حیاتی به نظر میرسد. مدل‌ها به ویژه مدل‌های تغییر کاربری اراضی در درک این تغییرات بسیار مؤثرند(۱۲،۱۳)

درک سازوکار فرآیند توسعه شهرها در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در راستای دست‌یابی به شهر پایدار بسیار مهم است. مدل‌های فضایی، نه تنها ابزارهایی سودمند جهت درک فرآیند توسعه شهری و نوعی ابزار کمکی در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی شهری به حساب می‌آیند، بلکه به عنوان نوعی از فراهم کننده‌های اطلاعات در راستای ارزیابی تاثیر شهرها بر محیط زیست، نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند(۲۵). با مدل‌سازی می‌توان سیستم پیچیده شهرها، الگوهای فضایی و روندهای توسعه آن ها را شبیه‌سازی کرد و به درک بهتری از سیستم شهرها دست یافت. درسال‌های اخیر، علاقهٔ گسترده‌ای در راستای استفاده از ابزارهای مرتبط با فناوری اطلاعات همانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS)، سنجش از دور(RS) و مدل‌سازی توسعه شهری به عنوان سیستم‌های حامی تصمیم‌گیری[1] در زمینهٔ برنامه‌ریزی شهری بوجود آمده است(۲۰،۲۲،۲۴) در بسیاری از مدل‌های کمی مورد استفاده برای شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری، ویژگی‌های پیچیده فضای شهری به‌صورت 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 دودهه گذشته پژوهشگران مختلفی از روشهای مبتنی بر اتوماتای سلولی (CA)[2] 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 شبیه‌سازی شهری می‌توانند به عنوان ابزاری مناسب برای مطالعه، مدل‌سازی و تحلیل فرآیندهای پیچیده شهری عمل نماید(۱۹). اگرچه چنین مدل‌هایی به‌دلیل ساختار خاص خود، سازگاری نسبتاً خوبی در مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده شهری از خود نشان میدهند، با این وجود، 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 مسأله عدم قطعیت نیز توجه کافی نمی‌شود.

[1] Support decision systems
[2] Cellular automata

با توجه به اینکه در بسیاری از مسائل شهری اطلاعات در دسترس جهت برنامه‌ریزی و مدل‌سازی غیرقطعی است، بنابراین موفقیت در چنین امری به در دسترس بودن اطلاعات دقیق، وابسته بوده که در غالب موارد امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا تعریف قوانین قطعی بر اساس منطق کلاسیک ریاضیاتی برای شبیه‌سازی توسعه شهری در مدل‌های مبتنی بر CA از واقعیت به دور است؛ چراکه فرآیندهای پیچیده شهری به کمک روابط ساده محاسباتی قابل بیان نمی‌باشند.

از آنجاییکه در مدل CA کلاسیک تشریح برخی ویژگی‌ها همانند خصوصیات زبانی به کمک قوانین انتقال قابل بیان نمی‌باشند. استفاده از مدل CA فازی می‌تواند موانع موجود را تا حد زیادی برطرف نمود. تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی برای مدل‌سازی در فرآیندهای شناختی انسانی، ابزاری بسیار سودمند به شمار می‌رود(۳). 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(۱۴).

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(۱۵). امروزه آگاهی ازمیزان توسعه و شکل فضایی شهرها یکی از عوامل موثر در میزان موفقیت برنامه‌ریزان شهری بوده به طوریکه به بهبود محیط‌های شهری کمک شایانی می‌نماید. اهمیت این مسأله سبب شده که در سال‌های اخیر، روش‌ها و مدل‌های متعددی جهت بررسی شکل شهری به‌کار گرفته شود. مدل‌ها ساختارهای ساده شده از واقعیت هستند که ویژگی‌ها و روابط خاص مورد نظر را به طور کلی ارائه می‌دهند(۱۰). به‌دلیل اینکه مدل‌ها از واقعیت نشأت گرفته‌اند و ویژگی‌های اصلی همان واقعیت را بازتاب میدهند، بایستی در دنیای واقعی قابل اجرا و کاربردی باشند(۱۶). استفاده از مدل در پژوهش‌های شهری به مدل‌های قدیمی (فون تونن[1]، وبر[2]، کریستالر[3]) برمی‌گردد. مدل‌های دیگری از جمله مدل قطاعی[4]، دوایر متحدالمرکز[5] و مدل چند هسته‌ای هریس و اولمن[6] 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 به سمت مدل‌های دیگری از جمله (موران[7]، گری[8]، هلدن[9]، آنتروپی[10] 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

[1] Von Thunen
[2] Weber
[3] Crystaler
[4] sector
[5] Concentric zone model
[6] Harris & Ullman polycentric model
[7] Moran
[8] Gray
[9] Holden
[10] Entropy

قبیل (اتوماتای سلولی، 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 شبیه‌سازی شود(۸). پژوهش بر روی طراحی و کاربرد اتوماتای سلولی به زمان پیدایش محاسبات دیجیتالی باز می‌گردد، در این زمان تورینگ[1]، ریاضیدان انگلیسی در دهه ۱۹۳۰ مفهوم"Automata" را به‌کار برد(۵). او دریافت که اتوماتای سلولی ساده می‌توانند در مجموعه‌ای از قوانین مکانی یافت شوند. با وجود اینکه پژوهش‌های زیادی در دهه ۱۹۷۰ انجام گرفت، اما کاربردهای خاص مدل CA در مدل‌سازی شهری تا قبل از دهه ۱۹۸۰ اتفاق نیفتاد. ورود مدل CA در 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(۳۲).

منطق فازی، برای اولین بار توسط دانشمند ایرانی، پرفسور عسگر لطفی زاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا ارائه شد(۱۷). ایشان معتقدند مدل‌های فازی برای حل مسائلی که دارای عدم صراحت و دقت می باشند بسیار مناسب‌اند(۳۰).

به‌کارگیری منطق فازی در مدل CA از طریق قوانین تبدیل فازی عملی می‌شود. بیشتر مطالعات اخیر در زمینه مدل‌سازی و شبیه‌سازی رشد شهری در شهرهای ایالات متحده، شهرهای اروپائی و در آسیا به‌خصوص در شهرهای در حال رشد چین صورت گرفته که از جمله می‌توان به پژوهش‌های انجام گرفته توسط (۲۰۰۴، Dietzel) & (Clarke،۲۰۰۸) اشاره کرد که مدلی را بر مبنای اتوماتای سلولی برای شبیه‌سازی روند رشد شهری در نقاط مختلف جهان به‌کار بردند. متعاقباً برخی از محققان از قبیل Al-kheder و همکاران (۲۰۰۷) از منطق فازی به روش‌های مختلف در تلفیق با مدل CA برای شبیه‌سازی رشد شهری بهره جستند. همچنین ضیائیان فیروزآبادی و همکاران(۱۳۸۸) در پژوهشی الگویی را برای شبیه‌سازی دینامیک کاربری اراضی شهری با استفاده از سنجش از دور و GIS، در ترکیب با مدل اتوماتای سلولی برای شبیه‌سازی توسعه کالبدی شهرکرد ارائه داده است. در این تحقیق از روش زنجیره‌های مارکوف برای اخذ قوانین تبدیل استفاده شد، نتایج این تحقیق حاکی از کاربردی بودن مدل CA برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی توسعه شهرها است.

[1] Alan Turing

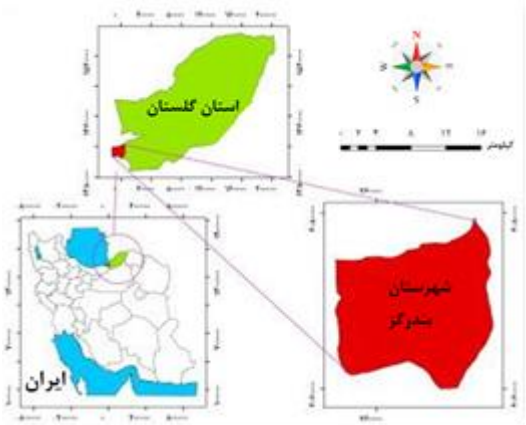
اهداف تحقیق

هدف پژوهش حاضر شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهری در راستای تلفیق داده‌های مکانی با GIS و سنجش از دور، برمبنای ترکیب مدل اتوماتای سلولی کلاسیک و منطق فازی است. در این رابطه قابلیت ترکیب منطق فازی با مدل CA برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد فیزیکی شهرستان بندرگز مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین روش ارزیابی و آزمون تصمیم گیری[1] (DEMATEL) به عنوان روشی به منظور گزینش و ساختاردهی به عوامل موثر بر رشد شهرها مورد استفاده قرار گرفته که به نوعی مبین نوآوری این پژوهش می‌باشد.

روش تحقیق

محدوده و قلمرو تحقیق

شهرستان بندرگز بین ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی در بخش جنوب غربی استان گلستان واقع شده است. این شهرستان از شمال به خلیج گرگان و دریای خزر، از جنوب و غرب به شهرستان گلوگاه (استان مازندران) و از شرق به شهرستان کردکوی محدود می شود. وسعت شهرستان بندرگز ۲۳۹/۳ کیلومتر مربع بوده و از نظر اقلیمی از آب و هوای مدیترانه ای برخوردار است .در ضلع شمالی این شهرستان خلیج گرگان و شبه جزیرهٔ میانکاله واقع شده و از جنوب هم به جنگل‌های پهن برگ محدود می‌شود (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی این شهر (در ۳ سال ۲۰۱۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹) از پایگاه داده‌های Google Earth در شکل شماره۲ ارائه شده است.



شکل۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

(اقتباس از storegis.com)

امروزه اکثر شهرهای کشور و از جمله بندرگز با مشکلات بسیاری مانند گسترش فضایی روز افزون، افزایش جمعیت، آلودگی زیست‌محیطی، 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 این شهرها بر می‌گردد.

[1] Decision making trial and evaluation laboratory

الف)۲۰۱۲

ب)۲۰۱۴

ج)۲۰۱۹

شکل۲.موقعیت شهرستان بندرگز در سالهای ۲۰۱۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ (Google Earth Data Center)

جدول۱. داده‌های چند زمانه سنجش از دور استفاده شده

ردیف	تاریخ	نام ماهواره	نوع سنجنده	شماره ردیف و گذر	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک رادیومتریک
۱	۲۰۱۲.۱۰.۲۰	لندست ۷	ETM+	Pl65-r038	۳۰ متر	۸
۲	۲۰۱۴.۱۲.۱۶	لندست ۷	ETM+	Pl65-r038	۳۰ متر	۸
۳	۲۰۱۹.۱۲.۱۹	لندست ۸	OLI	Pl65-r038	۳۰ متر	۱۶

روش‌های کمی و کیفی

در پژوهش حاضر ابتدا، از ابزار مصاحبه و پرسشنامه به منظور شناسایی شاخص‌های موثر بر رشد و توسعه شهری و همچنین بررسی میزان تاثیر آن‌ها با استفاده از روش دیماتل و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شد. سپس از روش همبستگی برای بررسی شدت و میزان رابطه بین افزایش جمعیت و رشد شهری استفاده شد. داده‌های پایه نیز حاصل پردازش تصاویر ماهواره‌ای بوده که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

داده‌ها مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش از تصاویر چند زمانه سنجش از دور (شامل تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ برای بررسی روند تغییرات کاربری‌ها و برای شبیه‌سازی نهایی استفاده شده

که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ذکر شده است.

از سال ۲۰۱۴ به بعد تصاویر دریافتی از سنجنده ETM+ به‌دلیل 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 شد.

نحوه کار بدین گونه است که برای میانیابی پیکسل‌های فاقد ارزش در گپ‌ها از تصاویر مشابه و میانگین پیکسل‌های مجاور استفاده شد. علاوه بر موارد ذکر شده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰، نقشه ۱/۲۵۰۰ شهری و همچنین تصویر مربوط به ماهواره quick bird به‌دلیل قدرت تفکیک مناسب در طبقه‌بندی تصاویر مربوطه استفاده گردید. 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 شهرستان بندرگز می‌باشند که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد.

روش کار

در تهیه تصاویر سعی بر آن بوده که نه تنها وضعیت اتمسفر هوا از پایداری مناسب برخوردار باشد و درصد ابرناکی تصاویر کمتر از ۱۵درصد بود تا نه تنها نیازی به ماسک کردن تصاویر نباشد، بلکه تصاویر از کیفیت بالایی نیز برخوردار باشند. همچنین برای بازسازی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده از روش متعادل‌سازی هیستوگرام استفاده شد.

تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی در ابتدا ۵ کلاس (اراضی کشاورزی، باغات، اراضی ساخته‌شده، پهنه‌های آبی و اراضی جنگلی) و در مرحله بعد با ترکیب کلاس‌ها تمام سطح منطقه به دو کلاس شهری و غیرشهری تقسیم شد. این کار از آن جهت بوده که هم دقت روش طبقه‌بندی افزایش یابد و هم خروجی مدل به‌صورت نقشه‌های اراضی ساخته شده و ساخته نشده برای سال‌های آتی پدیدار گردد. پیکسل سایز تمامی داده‌های به‌کار گرفته در این پژوهش ۳۰ متر در نظر گرفته شد. جهت طبقه‌بندی تصاویر ۳گانه از نرم افزار ENVI 7.4 و روش طبقه‌بندی حداکثر شباهت و برای ارزیابی دقت روش طبقه‌بندی از شاخص کاپا استفاده شد. شاخص کاپا در ۳ تصویر طبقه‌بندی شده ۰/۹۷ به‌دست آمد.

مدل ارائه شده در این پژوهش به طور کلی شامل ۳ بخش اصلی می‌باشد.

در بخش اول با استفاده از تکنیک دیماتل مهمترین و تاثیرگذارترین 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 تخصیص یافت. درگام بعد وزن‌های به‌دست آمده از روش ANP برای اعمال میزان تاثیر هر کدام از فاکتورها در نقشه‌های به‌دست آمده ضرب شد و نقشه‌های وزن‌دار تهیه شد. پس از تلفیق نقشه‌های وزن‌دار با یکدیگر، نقشه تناسب (شایستگی) اولیه اراضی به‌دست آمد.

در بخش دوم ماتریس احتمال تبدیل که در واقع همان نقشه نهایی تناسب اراضی می‌باشد تهیه شد؛ به‌گونه‌ایکه پس از طبقه بندی ۳ تصویر ماهواره‌ای و تلفیق کلاس‌ها، این ماتریس در نرم

افزار Matlab -از طریق محاسبه تعداد سلول‌هایی که در دو مرحله ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ و ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ تغیر پیدا کرده‌اند- تهیه گردید. نقشه‌های تهیه شده در این دو بخش به‌عنوان ورودی مدل نهایی تلقی می‌گردند.

در بخش سوم اجزای مدل اتوماتای سلولی به‌صورت یک سری از قوانین تبدیل فازی در مدل CA ارائه شده و برای به‌دست آوردن میزان شیب تغیرات از روش رگرسیون خطی استفاده شد و نقشه شبیه‌سازی شده برای سال۲۱۰۰ به‌دست آمد.

پس از بررسی ادبیات پژوهش و اخذ مهمترین شاخص‌ها از تکنیک دیماتل برای تهیه ساختار پژوهش مرحله غربال‌گری شاخص‌ها اجرا گردید. در واقع در این مرحله هدف، به‌دست آوردن تاثیرگذارترین شاخص‌ها در رشد شهری می‌باشد. سپس از روشANP برای وزن‌دهی به فاکتورهای غربال شده استفاده شد. با مرور پژوهش‌های صورت گرفته پیشین در زمینه رشد و توسعه شهری مهمترین فاکتورهای موثر بر رشد و توسعه شهرها به شرح جدول ۲ شناسایی شدند.

جدول۲. فاکتورهای موثر بر رشد و توسعه شهرها

نام شاخص	Al-Kheder et al., ۲۰۰۸	Caruso et al.,۲۰۰۷	Barredo et al., ۲۰۰۴	White et al, ۱۹۹۷	Deadman, ۱۹۹۳
فاصله از جاده	*	❋	❋	❋	❋
فاصله از مرکز شهر	❋				
جنس خاک					❋
خدمات شهری	*	❋			
اراضی مخاطره آمیز					
شیب زمین	❋				
ارتفاع	❋				
منطقه بندی			❋	❋	❋
زیرساخت‌های شهری			❋	❋	
تراکم جمعیت	❋	❋			

۵

معرفی مدل اتوماتای سلولی فازی شهری (FCA)

مطابق اصول نظریه اتوماتای سلولی، وضعیت سلول‌ها در یک مجموعه فازی شهری در زمانی خاص با وضعیت خود سلول در فاصله زمانی قبل و وضعیت سلول‌های 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(21).

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. مدل CA کلاسیک، یک سیستم پویای مجزاست که در آن فضا به سلول‌های فضایی منظم تقسیم می‌شود و زمان نیز در مراحل جداگانه در نظر گرفته می‌شود.

وضعیت هر کدام از سلول‌ها براساس یک سری از قوانین تبدیل به‌روز می‌شود، یعنی وضعیت هر سلول در زمان مشخص براساس وضعیت خود سلول، وضعیت سلول‌های همسایه و قوانین تبدیل به‌روز می‌شود (۲۹).

اجزای مدل اتوماتای سلولی عبارتند از:

الف) سلول:

سلول یک واحد پایه فضایی را در یک فضای دو بعدی‌تشکیل میدهد. شبکه دو بعدی سلول‌ها شکل بسیار متداولی از یک مدل CA کلاسیک است که در مدل‌سازی توسعه شهری و بررسی تغیرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد ۲۹).

ب) وضعیت:

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

ج) همسایگی:

به مجموعه‌ای از سلول‌ها اطلاق می‌شود که سلول مورد نظر با آن تعامل دارد. در یک فضای دو بعدی، دو نوع همسایگی اصلی وجود دارد، همسایگی نویمان (چهارسلولی) که شامل شمال، جنوب، شرق و غرب بوده و 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.

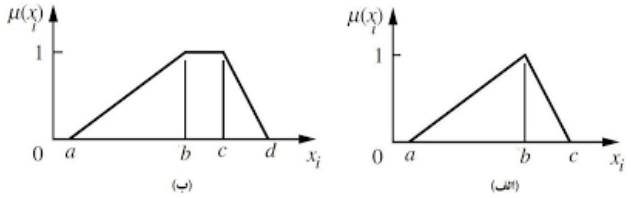
د) قوانین تبدیل:

این قوانین نشان‌دهنده چگونگی تغییر یک سلول در واکنش به وضعیت کنونی خودش و وضعیت سلول‌های اطرافش می‌باشد، این قوانین روند مدل‌سازی سیستم را نشان میدهند و در موفقیت مدل‌سازی بسیار تاثیرگذار هستند (۲۸). توسعه شهری فرآیندی است که در مکان و در طول زمان اتفاق می‌افتد. وضعیت تمامی سلول‌ها با گذشت زمان به‌روز می‌شود. زمان در مدل CA به‌صورت گسسته تعریف می‌شود. تعداد سال‌های مورد 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 CA فازی را می‌توان بر اساس رابطه ۱ نمایش داد:

$$S_{t+1} = f(s_t, N, T)$$ رابطه(۱)

که در آن S_{t+1} وضعیت سلول در زمان t+1 و S_tوضعیت سلول در زمان t می‌باشد، T نیز مجموعه‌ای از قوانین تبدیل فازی می‌باشد(۲۷). در موارد کاربردی برای اعمال قوانین تبدیل به‌دلیل مشکلات و پیچیدگی زیاد محاسبات فازی، از اعداد فازی(به‌صورت مثلثی و ذوزنقه‌ای) به شکل ۳ استفاده می‌شود:



شکل۳. اعداد فازی مثلثی (الف) و ذوزنقه‌ای(ب) [۲۶]

در شکل بالا عدد فازی مثلثی D به این شکل $D = \{a, b, c\}$ تعریف می‌شود: که a و b و c 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 $\mu_D(x)$ تابع عضویت فازی می‌باشد. در محیط نرم افزار ArcGIS برای اعمال درجه عضویت متغیرها از تابع عضویت فازی استفاده می‌شود و یا اینکه خود کاربر بر اساس عملگرهای شرطی و انجام برخی توابع به تعریف درجه عضویت‌های گوناگون می‌پردازد.

۶. به‌کارگیری 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 مد نظر قرار گرفت. این تکنیک از خبرگان در زمینه‌های علمی، سیاسی، اقتصادی و عقیدتی و ... نظرخواهی کرده و در نهایت آنچه از دیماتل حاصل می‌گردد ساختاردهی به یکسری از اطلاعات است، بطوریکه شدت ارتباطات را به‌صورت امتیازدهی مورد بحث قرار داده و ساختار کلی یک مسأله تصمیم را شناسایی می‌کند(۱). 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 به‌صورت یک مدل ساختاری قابل درک درآورد(۱).

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 مسأله در نتیجه به‌دست آمده از روش دیماتل، بسیار موثر است و باید آگاهی کافی از مسأله داشته باشند(۱۸). بعد از جمع‌آوری آرا خبرگان از طریق پرسشنامه[۲]- از تعداد ۲۵ نفر از دانشجویان و دانش‌آموختگان دکتری مرتبط با موضوع تحقیق- برای شناسایی روابط میان معیارها و ساختارسازی از روش دیماتل استفاده شد. در این رابطه از کارشناسان خواسته شد تا بر اساس طیف ۵ مقیاسی زیر (جدول۳) به مقایسه زوجی شاخص‌ها بپردازند (جدول۴).

[1] Decision Making Trial and Evaluation

جدول۳. طیف مقیاس زوجی شاخص‌ها (۳۱)

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 Bتاثیر نسبتاً زیادی دارد.

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

جهت بررسی میزان شدت روابط، ابتدا ماتریس ارتباط مستقیم (M) بر اساس نظرات کارشناسان تشکیل شد. در گام دوم اقدام به نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم با استفاده از رابطه (N = K*M) گردید. که در این فرمول k به‌صورت زیر محاسبه می‌شود. ابتدا جمع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه می‌شود. معکوس بزرگترین عدد سطر و ستون k را تشکیل میدهد.

$$k = \frac{1}{max \sum_{j=1}^{k} a_{ij}}$$ رابطه(۲)

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

$$T = N \times (1 - N)^{-2}$$ رابطه(۳)

درمرحله پایانی، حد آستانه از طریق محاسبه میانگین T تعیین می‌گردد. از آنجاکه 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 (بسیارکم‌تاثیر) تعیین کند. نتیجه نهایی این مرحله با میانگین ۰/۷۵ به منظور حذف عناصر با شدت ارتباط کم اعمال شد که نتایج به شرح جدول ۵ می‌باشد، که در آن عدد صفر حاکی از عدم تأثیرگذاری عامل سطر بر عامل ستونی است ودر مقابل عدد یک از تأثیرگذاری عامل سطر بر عامل ستونی حکایت می‌کند. در واقع نمودار مربوطه به شرح زیر ایجاد می‌گردد.

جدول۴. مقایسه زوجی شاخص‌ها

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

جدول۵. حد آستانه از طریق محاسبه میانگین عناصر ماتریس T

نام شاخص	فاصله از جاده	فاصله از مرکز شهر	جنس خاک	خدمات شهری	اراضی مخاطره آمیز	شیب زمین	ارتفاع	منطقه بندی	تراکم جمعیت
فاصله از جاده	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰
فاصله از مرکز شهر	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰
جنس خاک	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
خدمات شهری	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
اراضی مخاطره 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	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰

*مراحل مربوط به 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[1] (ANP) است. این روش گسترش‌یافته روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) است. در فرآیند AHPوابستگی‌ها به‌صورت خطی (از پایین به بالا یا برعکس) است. در حالیکه اگر وابستگی به صورت دو طرفه فرض شود، یعنی وزن شاخص‌ها به گزینه‌ها و وزن گزینه‌ها به شاخص ها وابسته باشد، مسأله از حالت سلسله مراتبی خارج شده و تشکیل یک شبکه را میدهد که دیگر نمی‌توان قوانین و روش AHP را به کار برد. باید در استفاده از روشAHP اندکی محتاط بود زیرا کلیه مسائل و مشکلات برنامه‌ریزی لزوما دارای ساختار سلسله مراتبی نیستند. این محدودیت AHP باعث شد که ابداع کننده آن ،توماس ساعتی، روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای را ارائه و معرفی کند که در آن ارتباط پیچیده میان عناصر تصمیم از طریق جایگزینی ساختار سلسله مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته می‌شود (۳۱). فرایند تحلیل شبکه‌ای در چارچوب مراحل زیر خلاصه می‌گردد(۳۱):

الف) ساخت مدل و تبدیل مسأله به یک ساختار شبکه‌ای: ضروری است که مسأله مورد نظر باید به طور آشکار به صورت یک سیستم منطقی، مانند یک شبکه ترسیم شود. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان از طریق طوفان مغزها، روش دلفی و یا هر روش دیگری به‌دست آورد. در پژوهش حاضر مساله مورد نظر از طریق تکنیک دیماتل، به نوعی ساختار شبکه‌ای تبدیل شد.

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. علاوه بر این، وابستگی‌های متقابل بین عناصر یک خوشه نیز باید دو به دو مورد مقایسه قرار گیرند.

[1] Analytical network process

ج) تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد: برای دست‌یابی به اولویت‌های کلی، در یک سیستم با تاثیرات متقابل، بردارهای اولویت داخلی در ستونهای مناسب یک ماتریس وارد می‌شود. در نتیجه یک سوپر ماتریس‌که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان میدهد، به‌دست میآید. در مرحله بعد سوپر ماتریس موزون از طریق ضرب سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. پس از آن اقدام به نرمال‌سازی ماتریس موزون، می‌گردد. نهایتا سوپر ماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که تمامی عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند محاسبه می‌شود.

د) محاسبه وزن‌ها: در مرحله آخر از سوپر ماتریس حد نرمال شده وزن‌های هر کدام از شاخص‌ها اخد خواهد شد. به‌دلیل ساختار پیچیده روش ANP تمامی مراحل بالا در نرم افزار Supper Decision انجام شده است‌که نتایج حاصل شده به شرح جدول ۶ می‌باشد:

جدول۶. اوزان به‌دست آمده برای شاخص‌ها

نام شاخص	وزن
فاصله از جاده	۰.۳۴۱
فاصله از مرکز شهر	۰.۱۱۲
جنس خاک	۰.۰۸۱
خدمات شهری	۰.۱۷۲
اراضی مخاطره آمیز	۰.۰۵۸
شیب زمین	۰.۱۰۲
تراکم جمعیت	۰.۱۳۴

۸. محاسبه نقشه تناسب اراضی

بعد از تهیه وزن شاخص‌ها با کمک توابع تحلیلی‌در محیط GIS نقشه تناسب اولیه اراضی به‌دست آمد.سپس، نقشه نهایی تناسب اراضی به وسیله محاسبه ماتریس احتمال تبدیل سلول‌ها و احتمال وزنی مشخص شد. ورودی این نقشه تصاویر طبقه‌بندی شده مربوط به ۳ دوره ۲۰۱۲، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۹ بودند که در واقع در این مرحله ضریب تبدیل سلول‌هایی که در وضعیت غیرشهری قرار داشته و با شدت و ضعف مختلف میل به توسعه داشتند مشخص شدند. 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 شدند) و سلول‌های موجود در هر کلاس مشخص شدند، در نهایت ماتریس احتمال تبدیل و ماتریس احتمال وزنی به‌دست آمده با هم ترکیب شده و نقشه شایستگی اراضی نهایی به‌دست آمد.

تعداد سلول‌های تبدیل در سال شبیه‌سازی شده به وسیله محاسبه رگرسیون به‌دست آمد. ابتدا ضریب همبستگی پیرسون (PCC) جمعیت محدوده مورد مطالعه و تعداد سلول‌های که در یک وضعیت شهری قرار داشتند محاسبه شد. مقدار ضریب همبستگی پیرسون برابر با ۰.۹۶ 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 بوده، یک مدل رگرسیون خطی برای پیش‌بینی تعداد سلول‌های شهری در سال ۲۱۰۰ به‌دست آمد.

۱۰- عملیاتی کردن اجزای مدل اتوماتای سلولی فازی در شبیه‌سازی

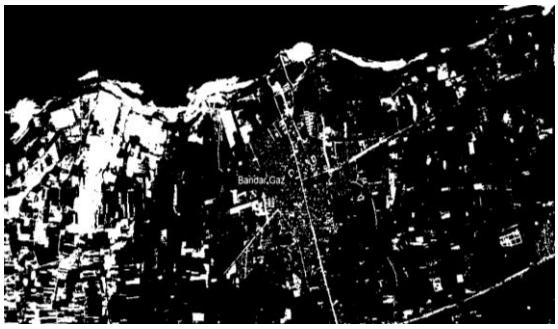
در این پژوهش، ابتدا یک شکل مربعی از سلول‌ها در اندازه ۳۰ متر در محیط GIS تعریف شد و

برای هر سلول ۳ وضعیت اختصاص یافت. وضعیت با مقدار ۱ نشان دهنده یک سلول شهری، وضعیت با مقدار صفر بیانگر سلول‌های محدودکننده وبرای وضعیت غیرشهری درجه عضویت بین صفر و ۱ تعیین شد. همچنین برای در نظر گرفتن مجاورت، از روش همسایگی "مور" استفاده شد.

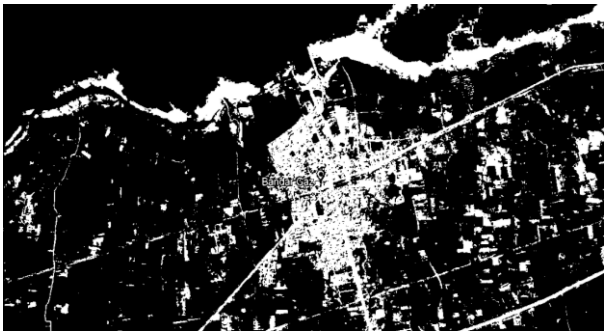
قوانین تبدیل فازی مورد استفاده در این پژوهش نیز به شرح زیر است:

- 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، پهنه‌های آبی، نهادهای نظامی-انتظامی‌و....)، وضعیت این سلول در دوره شبیه‌سازی شده به یک سلول شهری تغییر نمی‌کند. برای شبیه‌سازی رشد شهری در محدوده مورد مطالعه در محیط نرم افزار MATLAB زیربرنامه‌ای تدوین شد و شبیه‌سازی صورت گرفته است. ابتدا از نقشه طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۱۲، ۲۰۱۴ برای شبیه‌سازی سال ۲۰۱۹ استفاده شد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی سال ۲۰۱۹ با نقشه واقعی سال ۲۰۱۹ از طریق محاسبه شاخص کاپا ارزیابی شد و از آنجا که نتایج حاصل از شبیه‌سازی با دقت ۰/۸۷۵ (سازمان زمین‌شناسی آمریکا میزان دقت بالاتر از ۰/۸۵۵را قابل قبول میداند) بود به شبیه‌سازی رشد شهری برای سال ۲۱۰۰ پرداخته شد.

همانطور که در شکل۴ مشاهده می‌شود رشد و توسعه شهرستان بندرگز بیشتر در جهت‌های شرقی و غربی صورت گرفته است. از مهمترین دلایل این امر می‌توان به وجود محدودیت‌هایی نظیر دریای خزر در شمال و منابع طبیعی و جنگلی در جنوب، عدم وجود محدودیت‌های طبیعی در جهات شرق و غرب در این زمینه اشاره کرد.

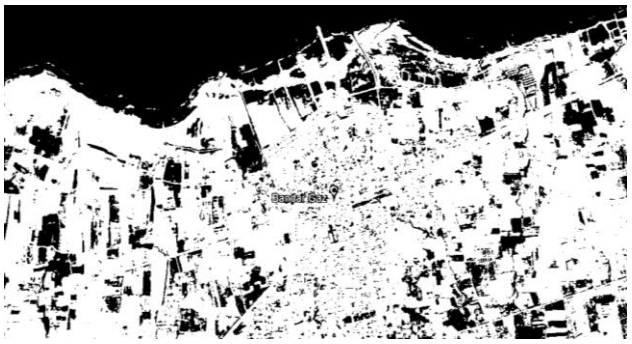


الف)۲۰۱۲



ب)۲۰۱۴

ج)۲۰۱۹



د)۲۱۰۰

شکل۴. دوره‌های مختلف رشد و توسعه شهری شهرستان بندرگز

جمع‌بندی و نتیجه گیری

توسعه افسارگسیخته اراضی شهری از مهمترین چالش‌های پیش‌روی مدیران و برنامه‌ریزان شهری در سطوح مختلف می‌باشد. امروزه اطلاع از شکل فضایی و نحوه رشد و توسعه شهرها می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در موفقیت برنامه‌ریزان شهری باشد و موجبات بهبود محیط‌های شهری را فراهم نماید. در این پژوهش سعی شد تا با استفاده از مدل اتوماتای سلولی فازی، رشد و توسعه شهرستان بندرگز برای سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی گردد. از آنجا که مدل اتوماتای سلولی کلاسیک بخاطر برخی محدودیت‌ها نمی‌تواند دید جامعی را از رشد یک شهر ارائه دهد، در این پژوهش با استفاده از فاکتورهای مختلف، به‌دست آوردن ضریب اهمیت آن‌ها و اعمال قوانین تبدیل فازی در مدل اتوماتای سلولی کلاسیک، از یک رویکرد فضایی واقع‌بینانه در راستای شبیه‌سازی رشد فیزیکی شهرستان بندرگز استفاده گردد. استفاده از مدل اتوماتای سلولی فازی در فرآیند توسعه شهری در مقایسه با سایر مدل‌های شهری -که تنها بر مبنای اتوماتای سلولی استوار هستند- دارای مزایایی قابل توجهی می‌باشد. مهمترین مسأله‌ای که در استفاده از این روش در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری خودنمایی می‌کند، استخراج قوانین تبدیل مدل بوده که دارای پیچیدگی های خاص خویش

است. نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل، نشان داد که روند رشد و توسعه شهری و شهرگرایی سریع در شهرستان بندرگز بیشتر در جهت‌های شرقی و غربی اتفاق افتاده است. از مهمترین دلایل این امر می‌توان به وجود محدودیت‌هایی نظیر دریای خزر در شمال و منابع طبیعی و جنگلی در جنوب، عدم وجود محدودیت‌های طبیعی در جهات شرق و غرب در این زمینه اشاره کرد. آنچه که در مدل‌سازی رشد شهری مهم می‌باشد در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف و همچنین تاثیر دادن ضریب اهمیت آن‌ها می‌باشد، که به‌دلیل قابلیت‌های روش دیماتل در زمینه محاسبه ساختار و روابط علی 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.

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود که در پژوهش های آینده روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی (الگوریتم‌های تکاملی) با روش‌های موجود نیز مقایسه گردد و با در نظر گرفتن دقت هر کدام از این مدل‌ها به بهینه‌سازی شبیه سازی‌ها در راستای رشد و توسعه شهری دست یافت.

Reference

1. Agha Ebrahimi Samani, B., Makouei, A. and Sadr Lahijani, M., 2009. 'Evaluation of Challenges Faced by Iranian Companies in Oil and Gas Projects based on the DEMATEL Method', industrial Engineering & Management Sharif (Sharif: Engineering), 24(45), pp.121-129. (in Persian)
2. Al-kheder, S., Wang J. and Shan J., 2008. 'Fuzzy inference guided cellular automata urban-growth modeling using multi-temporal satellite images', International Journal of Geographical Information Science, 22(11-12), pp. 1271-1293, DOI: 10.1080/13658810701617292
3. Amini Faskhoudi, A., 2005. 'The Application of fuzzy Logic Inference in Regional Development and Planning Studies', Knowledge and Development, (17), pp.39-61.(in Persian)
4. Barredo, J.I., Demicheli, L., Lavalle, C., Kasanko, M. and McCormick, N., 2004.' Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria', Environment and Planning B: Planning and Design, 32, pp. 65-84,
5. Batty, M. 1997. 'Cellular automata and urban form: a primer', Journal of the American Planning Association, 63, pp. 266–274.
6. Caruso, G., Peeters, D., Cavailhes, J. and Rounsevell, M., 2007.'Spatial configurations in a periurban city. A cellular automata-based in microeconomic model', Reg. Sci. Urban Econ., 37. pp.542-567
7. Deadman, P D, Brown, R D. and Gimblett, H R,. 1993.' Modelling rural residential settlement patterns with cellular automata', Journal of Environmental Management, 37, pp. 147–160
8. Dietzel, C. and Clarke, K. C., 2008. 'The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting', Computers, Environment and Urban Systems, 30(1), pp.78 -101.
9. Dietzel, C. and Clarke, K.C., 2004. 'Spatial Differences in Multi- Resolution Urban Automata Modeling', Transportation in GIS, 8, pp. 479-492.
10. Donyaii, A.R., 2021. 'Evaluation of climate change impacts on the optimal operation of multipurpose reservoir systems using cuckoo search algorithm', Environ. Earth Sci., 80(663), https://doi.org/10.1007/s12665-021-09951-6
11. Donyaii, A.R, and Sarraf, A., 2020. 'Optimization of Reservoir Operation using a Bioinspired Metaheuristic Based on the COVID-19 Propagation Model', Numerical Methods in Civil Engineering Journal, 5(1), pp.15-28.
12. Donyaii, A.R., and Sarraf, A., 2021. 'Management of Reservoir Operation System under Climate Change Conditions Using Dolphin Echolocation Optimization Algorithm', Iranian Journal of Irrigation & Drainage, (), pp. online (in Persian)
13. Donyaii, A.R., Sarraf, A., 2021. 'Calibration of WetSpa Distributed Hydrological Model using NSGA-II and Black Widow Multi-Objective Optimization Algorithms', Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 15(3), pp. 721-736.(in Persian)
14. Donyaii, A.R., Sarraf, A. and Ahmadi, H., 2020. 'Evaluation of Whale, Fruit Fly and Cuckoo Search Algorithms in Optimizing Multi-Objective Operation of Golestan Dam Reservoir Based on Multi-Criteria Decision-Making Method', Water Resources Engineering, 13(47), pp. 85-100. (In Persian)
15. Donyaii A.R., Sarraf, A. and Ahmadi, H., 2020. 'A Novel Approach to Supply the Water Reservoir Demand Based on a Hybrid Whale Optimization Algorithm', Shock and Vibration, https://doi.org/10.1155/2020/8833866

16. Donyaii, A.R., Sarraf, A., and Ahmadi, H., 2020. 'Water reservoir multi–objective optimal operation using Grey Wolf optimizer', Shock and Vibration, https://doi.org/ 10.1155/2020/8870464
17. Donyaii A.R., Sarraf, A. and Ahmadi, H., 2021. 'Comparison of meta-heuristic algorithms in optimum operation of a single-reservoir dam system', Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability, https://doi.org/10.1680/jensu.20.00065
18. Faraji sabokbar, H., Alavi panah, S., Nami, M. and Ashournejad, Q., 2013. Spatial Analysis of the Location of Banks, Financial and Credit institutions in 6th District of Tehran by DEMATEL Techniques and Analytic Network Process (ANP). Human Geography Research Quarterly, 45(3), pp.77-94.(in Persian)
19. Gharbia, S.S., Alfatah, S.A. and Gill, L., 2016. 'Land use scenarios and projections simulation using an integrated GIS cellular automata algorithms', Model. Earth Syst. Environ, 2(151), https://doi.org/10.1007/s40808-016-0210-y
20. Liu, H. and Zhou, Q., 2005. 'Developing Urban Growth Predictions from Spatial Indicators Based on Multi-Temporal Images', Computers, Environment and Urban Systems, 29(5), pp.580–594.
21. Liu, Y., 2012.' Modeling sustainable urban growth in a rapidly urbanizing region using a fuzzy-constrained cellular automata approach', International Journal of Geographical Information Science, 26(1), pp. 151–167.
22. Mohammady, S. and Delavar, M.R., 2016. 'Urban sprawl assessment and modeling using landsat images and GIS', Model. Earth Syst. Environ, 2(155), https://doi.org/10.1007/s40808-016-0209-4
23. Pauchard, A., Aguayo, M., Peña, E. and Urrutia. R., 2006. 'Multiple Effects of Urbanization onthe Biodiversity of Developing Countries: The Case of a Fast growing Metropolitan Area (Concepción, Chile)', Biological Conservation, 127, pp.272-281.
24. Raziq, A., Xu, A., Li, Y. and Zhao, Q., 2016. 'Monitoring of land use/land cover changes and urban sprawl in Peshawar City in Khyber Pakhtunkhwa: an application of geo-information techniques using of multi-temporal satellite data', J. Remote Sens. GIS, 5. 174, 10.4172/2469-4134.1000174
25. Rezazadeh, R. and Mirahmadi, M., 2009. CEllular Automata Model, a New Approach in Urban Growth Simulation., Journal of Technology of Education, 4(1), pp.47-55.(in Persian)
26. Sarraf, A., Donyaii, A. and Mardanifar, M., 2020. 'Evaluation of Crisis Resolution Strategies for Groundwater Revival Plan Using Fuzzy Best - Worst Multi Criteria Decision Model', Journal of Hydraulic Structures, 6(3), pp. 21-44. doi: 10.22055/jhs.2020.35415.1149
27. Singh, A. K., 2003. 'Modeling 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.
28. White, R., Engelen, G. and Uljee, I., 1997. 'The use of constrained cellular automata for high- resolution modeling of urban land-use dynamics', Environment and Planning B, 24, pp.323-343
29. Wolfram, S., 1994. 'Cellular automata and complexity: collected papers. Reading', MA: Addison-Wesley.
30. Zadeh L.A., 1965. 'Fuzzy sets', Information and Contro,l 8: 338-353.
31. Zebardast, E., 2010. 'The Application of Analytic Network Process (ANP) in

Urban and Regional Planning', Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va Shahrsazi, 2(41), pp. 79-90.(in Persian)

32. Ziaeian Firouzabadi, P., Shakiba, A., Matakan, A. and Sadeghi, A., 2009. Remote Sensing (RS), Geographic Information System (GIS) and Cellular Automata Model (CA) as Tools for the Simulation of Urban Land Use Change- a Case Study of Shahr-e-Kord. Environmental Sciences, 7(1), pp.133-148.(in Persian).

Predicting the growth and development of Bandar-e-Gaz Town Using Fuzzy Cellular Automata (FCA)

Alireza Donyaee[1]

Abstract:
The use of quantitative models to simulate the development of cities due to the several factors affecting 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. Combining fuzzy logic with the classical cellular automata model makes it possible to model the uncertainty governing the urban development simulation process 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 Analytic Network Process (ANP). Three satellite images from 2012, 2014 and 2019 were used to simulate urban development in the study area (Bandar-e-Gaz Town) for the year 2100.After preprocessing; the images were classified for all three periods by the maximum likelihood method. The Kappa index was used to check the accuracy of the maps in two steps. 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. The results of this study showed that the proposed model is acceptable so that it works better in urban simulation than the classical model of CA. Also, the growth and development of Bandar-e-Gaz town in different periods has been more in the eastern and western parts.

Keywords: Fuzzy cellular automata, Urban development, Remote sensing, GIS.

[1] Expert in protection and utilization of water resources of Golestan Regional Water Company, Ar.donya@gmail.com