نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال پنجم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۶

Vol.5, No.1, Spring 2017

۴۹-۶۴

مدل‌سازی عامل-بنیان توسعه شهری با تعاملات الهام گرفته از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

فرناز کاویاری[1*]، محمد سعدی مسگری[2]، فرهاد حسینعلی[3]، سمانه واعظی[1]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد *GIS*، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی و عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی

۳- استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷

چکیده

گسترش روز افزون شهرنشینی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه موجب توسعه‌ی هر چه بیشتر مناطق شهری می‌گردد. رشد جمعیت و مهاجرت روستاییان به شهرها، از عوامل عمده‌ی این توسعه می‌باشند. با انجام برنامه‌ریزی دقیق، توسعه شهری به سمت و سوی مناسب هدایت خواهد شد. توسعه‌ی مناسب شهر نیز موجب می‌گردد، امکانات شهری به‌صورت مناسب در سطح شهر فراهم شده و از سوی دیگر آسیب کمتری به طبیعت وارد شود. برای انجام برنامه‌ریزی دقیق‌تر، شبیه‌سازی رایانه‌ای راه‌حل بسیار مناسبی است. با به‌کارگیری تکنیک‌های سیستم اطلاعات مکانی *(GIS)*، آنالیزهای آماری و داده‌های شهری مناسب، شبیه‌سازی یارانه‌ای امکان‌پذیر است. در این پژوهش سعی شده است با تلفیق مدل عامل-مبنا و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات *(PSO)* مدل نوینی در راستای شبیه‌سازی توسعه شهری، توسعه داده شود. شهر زنجان به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب‌شده و توسعه شهری آن در بازه‌ی زمانی سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل توسعه داده‌شده، اقشار مختلف توسعه‌دهندگان با توجه به سطح درآمدشان به سه دسته عامل با رفتارهای مختص خود تقسیم شده‌اند که در محیط به کاوش پرداخته و شرایط محیط را مورد سنجش قرار می‌دهند. در نهایت عامل‌ها مکان مناسبی را جهت توسعه انتخاب کرده و توسعه می‌دهند. نزدیکی خروجی مدل به واقعیت، بر مبنای شاخص کاپا ۷۴٪ محاسبه گردید. این مقدار برای شاخص کاپا نشان می‌دهد، مدل ارائه‌شده در این پژوهش، توسعه شهر را با دقت مناسبی پیش‌بینی می‌کند. از طرفی با مقایسه نتایج می‌توان نتیجه گرفت وارد کردن تأثیرات روابط اجتماعی افراد در جامعه توسط الگوریتم *PSO* بر دقت مدل می‌افزاید و با در نظر گرفتن این پارامتر پیش‌بینی‌ها تطابق بیشتری با واقعیت دارند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، رفتار عامل‌ها با جزئیات بیشتری از جمله رقابت عامل‌ها مدل شود.

کلیدواژه‌ها: توسعه شهری، شبیه‌سازی، عامل مبنا، ازدحام ذرات

* نویسنده مکاتبه کننده: فرناز کاویاری، تهران- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن : ۰۹۱۹۲۴۱۰۳۱۸

Email: Farnaz_Kaviari@ mail.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

توسعه شهری از جمله مواردی است که توجه بسیاری از پژوهشگران مسائل شهری را به خود جلب کرده است. امروزه جمعیت شهری جهان، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، رشد سریعی دارد. ایران نیز به‌عنوان یک کشور در حال توسعه شاهد رشد سریع شهرنشینی است [۱و ۲]. سرعت رشد جمعیت شهری وابسته به رشد طبیعی جمعیت شهری و جمعیت حاصل از مهاجرت به شهر می‌باشد. توسعه شهری فرایندی پویا و پیوسته است که در نتیجه‌ی افزایش جمعیت شهر رخ می‌دهد و طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر افزایش یافته و در نتیجه موجب تغییر کاربری اراضی اطراف شهرها می‌شود. اگر این روند سریع و بی‌برنامه باشد، باعث ایجاد مشکلات محیطی و اقتصادی [۳] و مشکلاتی نظیر تخریب محیط زیست و زمین‌های کشاورزی و نیز ایجاد جزیره‌های گرمایی[1] خواهد شد [۴].

برای مدیریت هرچه بهتر و توسعه مناسب شهر بررسی تغییرات کاربری زمین‌ها و توسعه شهر ضروری است. دستیابی به توسعه‌ی پایدار نیازمند بررسی دقیق مسأله‌ی رشد شهری و برنامه‌ریزی مناسب برای هدایت این توسعه به سمت و سوی مطلوب و برنامه‌ریزی شده‌است [۵]. از این رو در فرآیند توسعه شهری، برنامه‌ریزی جایگاه ویژه‌ای دارد.

با توجه به پیچیدگی‌های یاد شده و اهمیت برنامه‌ریزی دقیق در این حیطه، بحث مدل‌سازی توسعه شهری مطرح می‌شود. با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی، طرح‌های مطرح شده پیشاپیش به دقت بررسی‌شده و سناریوهای مختلف مورد آزمایش قرار می‌گیرند. به‌این‌ترتیب مشکلات احتمالی آن‌ها آشکار گردیده و بیش‌تر مورد کنکاش قرار می‌گیرند تا عواقب ناشی از این مشکلات به حداقل ممکن برسد [۶]. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت که مدل‌های توسعه شهری ابزاری برای ارزیابی سیاست‌ها و استراتژی‌های کلان مدیریت شهری خواهند بود.

از سوی دیگر، در مسائل شهری با توجه به ماهیت مکانی مسئله، داده‌های مورد نیاز اغلب مکانی هستند. با توجه به توانایی‌های سیستم اطلاعات مکانی (*GIS*[2]) در رابطه با داده‌های مکان مرجع، استفاده از این سامانه در تقویت توانایی تحلیل مکانی و توان محاسباتی مدل‌سازی مؤثر است [۷].

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین و توسعه شهری مدل‌های بسیاری توسعه‌یافته‌اند. این مدل‌ها عموماً در دو دسته مدل‌های بالا به پایین و پایین به بالا دسته‌بندی می‌شوند. با پیشرفت قدرت پردازش در کامپیوترها مدل‌های پایین به بالا برای مدل‌سازی سیر تحول شهر بیشتر مورد توجه قرار گرفتند. در میان مدل‌های پایین به بالا، مدل عامل-مبنا، به‌صورت گسترده‌ای جهت مدل‌سازی مکانی-زمانی پویایی شهری به‌کاربرده شده است. مدل‌سازی عامل-مبنا با توجه به ماهیت پایین به بالا انعطاف‌پذیری بالایی دارد و برای حل مسائل پیچیده بسیار مناسب است. با استفاده از مدل‌سازی عامل-مبنا رفتار افرادی که در تغییر کاربری زمین تأثیر دارند به‌عنوان عامل در نظر گرفته‌شده و تعاملات آن‌ها با یکدیگر و محیط اطراف قابل مدل‌سازی شده و موجب مدل‌سازی بهتر روند توسعه شهری خواهد شد. با توجه به قابلیت مدل‌سازی پایین به بالا بررسی رفتارها، تعاملات و برآیند پارامترهای موثر در توسعه شهری امکان‌پذیر خواهد بود [۸ و ۴].

پژوهشگران تاریخچه‌ی مدل‌سازی عامل-مبنا را تقریبا به ۴۰ سال قبل، زمانی که یولام[3] بحث اتوماتای سلولی

[1] Heat island

[2] Geospatial Information System

[3] Stanislaw Ulam

را مطرح کرد، مربوط می‌دانند [۹]. مدل‌سازی عامل-مبنا دیدگاه و اندیشه‌ای برای تعیین نتایج رفتارهای گروهی افراد، در سطح سیستم می‌باشد [۱۰]. از ۴۰ سال پیش تا کنون تحقیقات بسیاری در رابطه با مدل‌های توسعه شهری عامل-مبنا انجام‌شده است و در هر یک از آن‌ها عامل‌ها، محیط و تعاملات میان عامل و محیط به‌گونه‌ای متفاوت تعریف‌شده است. توسعه زمین‌ها و در نتیجه توسعه شهر حاصل یک رقابت و کشاکش بین عوامل مختلف است، جومباج[1] و درگیسویس[2] توسط مدل عامل-مبنا و نقشه‌ی تغییرات کاربری اراضی یکی از شهرهای کانادا، این رقابت‌ها را با قدرت تفکیک مکانی بالا مدلسازی کرده‌اند. آن‌ها ساکنین خانه‌ها، برنامه‌ریزان شهری، توسعه دهندگان زمین، خرده‌فروشان و سازنده‌های صنعتی را به‌عنوان عامل در نظر گرفت. آن‌ها دو سناریو مختلف را پیاده‌سازی کردند تا تأثیر آن را بر عملکرد ساکنین خانه‌ها و توسعه‌دهندگان زمین مورد بررسی قرار دهند و در نهایت نتیجه گرفتند که تغییرات در درآمد افراد ارتباط تنگاتنگی با انتخاب محل زندگی آن‌ها دارد [۱۱]. برخی افراد نیز تلاش کرده‌اند با ترکیب مدل عامل-مبنا با الگوریتم‌ها و مدل‌های ریاضی و... دقت مدل خود را بالاتر برده و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری انجام دهند. ارسنجانی و همکارانش از ترکیب مدل‌سازی عامل-مبنا با آنالیزهای آماری جهت پیش‌بینی الگوی توسعه شهری تهران در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۶ استفاده کردند. در این مدلسازی سه گروه توسعه‌دهندگان، دولت و ساکنین را به‌عنوان عامل‌ها در نظر گرفته‌اند. مدل آن‌ها مناطق با احتمال توسعه بالاتر را پیش‌بینی می‌کند [۱۲]. کوکابس[3] نیز از ترکیب مدلسازی عامل-مبنا و شبکه‌های بیزی (*BNs*)[4] استفاده کرد تا بر دقت پیش‌بینی مدل خود بیفزاید. او با توسعه مدلی جدید تلاش کرده است تغییرات جمعیت و کاربری اراضی را برای بیست سال آینده‌ی یکی از شهرهای کانادا پیش‌بینی کند [۱۳]. تان[5] توسعه شهر ووهان[6] یکی از شهرهای بزرگ چین را توسط مدل‌سازی عامل-مبنا و تئوری بازی مدل‌سازی نموده است. او رقابت میان صاحبان زمین، توسعه‌دهندگان و دولت را توسط تئوری بازی و با تشکیل درخت بازی مدل کرده است. در مدل ایشان برای هر نوع از عامل‌های ذکر شده تابع سودی تعریف می‌گردد و طبق آن هر نوع عامل تصمیم خاصی را در راستای افزایش سود خود اتخاذ می‌کند [۸].

فنگ[7] و همکارانش توسعه شهری یکی از شهرهای چین را با به‌کارگیری مدل اتوماتای سلولی مدل کردند. آن‌ها در تحقیق خود از الگوریتم ازدحام ذرات (*PSO*[8]) نیز استفاده کردند، بدین ترتیب که ذرات در محیط پخش‌شده و به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازند و اطلاعات جمع‌آوری‌شده توسط آن‌ها در تعریف قوانین اتوماتای سلولی مورد استفاده قرار گرفته است، نتیجه‌ی تحقیق آن‌ها، افزایش دقت مدل با به‌کارگیری الگوریتم *PSO* است [۱۴]. آقای ما[9] و همکارانش نیز متد مشابهی نظیر فنگ و همکارانش برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در پیش گرفتند، آن‌ها با استفاده از *PSO* توانستند از محیط اتوماتای سلولی را هوشمند ساخته و نتایج بهتری برای بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌دست آورند[۱۵].

در تحقیقات انجام‌شده، مدل عامل-مبنا و حرکت ذرات در الگوریتم *PSO* برای مدل‌سازی توسعه شهری ترکیب نشده‌اند، بنابراین در پژوهش پیش رو

[1] Jjumbaj
[2] Dragićević
[3] Kocabas
[4] Bayesian Networks
[5] Tan
[6] Wuhan
[7] Feng
[8] Particle Swarm Optimization
[9] Ma

تلاش شده است مدل جدیدی برای شبیه‌سازی توسعه شهری ارائه گردد که در آن از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات و در مدل عامل-مبنا الهام گرفته‌شده است. در این پژوهش، روش نوینی برای جستجوی منطقه توسط عامل‌ها بر اساس تبادل اطلاعات میان آن‌ها با الهام گرفتن از *PSO* پیاده‌سازی شده است. در واقع با الهام گرفتن از نحوه‌ی حرکت ذرات در الگوریتم *(PSO)*، ارتباط اجتماعی افراد مدلسازی شده است. در نهایت میزان تاثیر این الگوریتم بر نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. از ویژگی‌های دیگر مدلسازی انجام‌شده استفاده از نقشه‌های ورودی با مقیاس بزرگ و جزئیات زیاد است که در واقع این امر موجب افزایش دقت مکانی پیش‌بینی‌های انجام‌شده می‌گردد.

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه شهر زنجان، مرکز استان زنجان شکل (۱) است. استان زنجان یکی از استان‌های ایران است که در شمال غربی ایران واقع شده و دارای اقلیم نیمه خشک فراسرد می‌باشد. نزدیکی شهر زنجان از لحاظ موقعیت مکانی به پایتخت و از طرفی مرکز استان بودنش از حیث تقسیمات سیاسی، موجب جذب جمعیت مهاجران شده و توسعه این شهر را سرعت می‌بخشد.

شکل ۱ : منطقه مورد مطالعه

هدف مدل ارائه‌شده در این پژوهش، پیش‌بینی ابعاد شهر در آینده است. قدرت تفکیک مکانی موردنظر برای نقشه‌های خروجی و در واقع پیش‌بینی‌های انجام‌شده، در حدی است که خانه‌ها در نقشه قابل تشخیص بوده و توسعه‌یافته بودن یا نبودن تک‌تک قطعه زمین‌ها مشخص گردد. بنابراین برای دستیابی به قدرت تفکیک مکانی ذکر شده، نقشه‌های ورودی کاربری اراضی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ مد نظر قرار گرفته‌اند. از طرفی نقشه‌ی کاربری اراضی شهر با رزولوشن زمانی پنج ساله در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ نیز نیاز است. با نقشه‌ی سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ مدل کالیبره شده و پارامترها تنظیم می‌شوند. در ادامه از نقشه‌ی سال ۲۰۱۵ برای بررسی میزان دقت مدل و توانایی آن در پیش‌بینی توسعه شهری استفاده می‌گردد. در راستای تهیه نقشه‌های یاد شده نقشه‌ی طرح تفصیلی شهر زنجان تهیه شده در سال ۲۰۱۰ از اداره‌ی راه و شهرسازی استان زنجان اخذ شد. نقشه‌های اخذ شده دارای قالب *dwg* هستند. تصاویر ماهواره‌ای سال‌های مربوطه از گوگل ارث[1] نیز استخراج گردید. نقشه‌ی طرح تفصیلی، مرجع قرار گرفته و تصاویر ماهواره‌ای با این نقشه‌ها تطبیق داده شدند. بدین ترتیب نقشه‌ی کاربری اراضی

[1] Google Earth

شهر در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ استخراج شد. کاربری‌ها در سه دسته توسعه‌یافته، قابل توسعه و غیرقابل توسعه دسته‌بندی شده‌اند.

میزان مناسب بودن یک قطعه زمین برای توسعه و در کل ویژگی‌های مربوط به هر یک از قطعه زمین‌ها باید مشخص شوند. پارامترهایی که در این پژوهش برای بررسی میزان مناسب بودن قطعه زمین‌ها برای توسعه مد نظر قرار گرفته است، نقشه‌های معیار دسترسی، جذابیت، قیمت و شیب می‌باشند. هر یک از این نقشه‌ها حاصل انجام تحلیل‌ها و آنالیزهایی بر روی نقشه‌های اولیه هستند. نقشه‌های معیار مطابق شکل (۲) استخراج شده‌اند. در ادامه به بررسی داده‌های مورد نیاز برای تولید هر یک از نقشه‌های معیار می‌پردازیم.

برای تهیه‌ی نقشه‌ی دسترسی مدت زمان مورد نیاز برای طی مسافت از هر یک از قطعه زمین‌های موجود در نقشه برای رسیدن به مرکز شهر مورد توجه قرار گرفته است. برای انجام تحلیل‌های مربوطه و استخراج نقشه‌ی دسترسی، نقشه‌ی راه‌ها به تفکیک نوع راه‌ها (بزرگراه، خیابان، کوچه و راه خاکی) و میانگین سرعت حرکت در آن‌ها نیاز است. هر یک از قطعه زمین‌های موجود به نزدیک‌ترین معبر اختصاص یافته و فاصله زمانی مورد نیاز، برای رسیدن از موقعیت مکانی قطعه زمین تا مرکز شهر محاسبه می‌گردد. شایان ذکر است مرکز شهر محدوده‌ای است که قلب تجاری شهر بوده و اغلب خیابان‌های شهر به آنجا منتهی می‌گردد. این محدوده در شهر زنجان محدوده‌ی هسته‌ی قدیمی و اولیه‌ی شهر است.

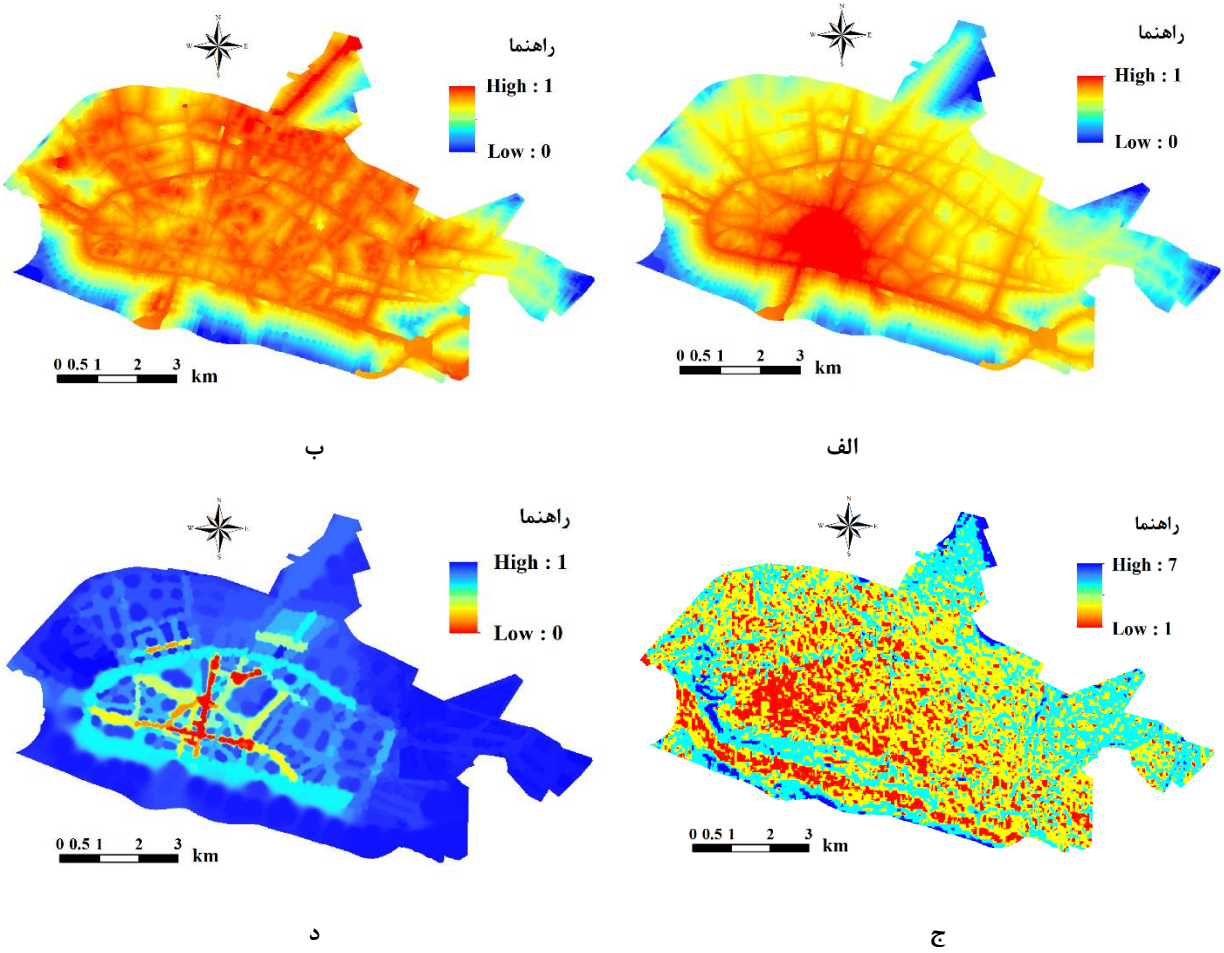
برای استخراج نقشه‌ی جذابیت در این پژوهش، پارامترهای نزدیکی به تفرجگاه‌ها، فضای سبز و پارک‌ها، دوری از مناطق صنعتی و قبرستان‌ها مورد توجه قرار گرفته است. به‌طور مثال، در مورد نزدیکی به پارک‌ها، هر قطعه زمین به نزدیک‌ترین معبر موجود اختصاص یافته و فاصله‌ی زمانی لازم برای عبور از راه‌ها و رسیدن به پارک محاسبه می‌گردد. هر چه فاصله زمانی برای طی مسافت مذکور کمتر باشد، معیار جذابیت برای قطعه زمین مقدار بیشتری خواهد داشت. به همین ترتیب دوری از مناطق صنعتی و قبرستان‌ها نیز برای هر قطعه زمین محاسبه می‌شوند. با ترکیب این سه پارامتر، در نهایت نقشه‌ی جذابیت حاصل می‌گردد.

قیمت اراضی نیز از پارامترهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری برای توسعه زمین است. قیمت زمین در سال‌های متفاوت تحت تاثیر عوامل مختلف دچار تغییراتی می‌شود. به همین دلیل نقشه‌ی قیمت اراضی به تفکیک سه سال ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ برای پیش‌بینی نیاز است. قیمت اراضی شهر از اداره‌ی مالیات استان زنجان به تفکیک محله‌ها و خیابان‌ها تهیه شد.

نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقومی *(DEM)*[1] منطقه نیز در این پژوهش به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در تصمیم‌گیری وارد شده است. شیب هر قطعه زمین با استفاده از *DEM* منطقه محاسبه شدند. مقادیر حاصل نرمال شده و در بازه‌ی صفر تا یک قرار گرفتند. هر چه شیب منطقه به صفر نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر خواهد بود. در نهایت مقادیر اختصاص یافته به سلول‌های نقشه‌های معیار نرمالیزه شده و مقادیر بین صفر و یک به سلول‌ها اختصاص یافته است.

شایان ذکر است، در این پژوهش برای پردازش و ورود داده‌ها از نرم‌افزار اتوکد ۲۰۱۴ و آرک جی‌آی‌اس ۱۰/۳ استفاده شده و مدل عامل-مبنا نیز در محیط نرم‌افزار نت لوگو ۵/۲[2] توسعه یافت.

[1] Digital Elevation Model
[2] NetLogo 5.2



شکل ۲ : نقشه‌های معیار شهر زنجان الف): نقشه‌ی دسترسی؛ ب): نقشه‌ی جذابیت؛ ج): نقشه‌ی شیب؛ د): نقشه‌ی ارزش زمین مربوط به سال ۲۰۰۵

۳- متدلوژی

هدف مدل‌سازی عامل-مبنای توسعه شهری با تعاملات الهام گرفته از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات است، بنابراین مدل‌سازی با تشکیل اجزاء مدل عامل-مبنا شروع شده است. مدل‌سازی به روش عامل-مبنا از جمله روش‌های مهم در مدل‌سازی توسعه شهری است که تمرکزش بیشتر بر روی تصمیم‌گیری‌های انسانی است. اجزای اصلی مدل، عامل‌ها، محیط و تعاملات می‌باشند. تعاملات میان عامل‌ها با محیط و تعاملات عامل‌ها با یکدیگر از پارامترهای بسیار مهم در تصمیم‌گیری عامل‌ها هستند و در واقع نتیجه نهایی وابسته به این تعاملات می‌باشد. فلوچارت مدل ارائه شده در این پژوهش در شکل (۳) آورده شده است. نحوه‌ی تعریف عامل‌ها، محیط و تعاملات میان آن‌ها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل ۳ : فلوچارت مدل‌سازی انجام‌شده

۳-۱- مدل‌سازی عامل‌ها

در ادامه به تعریف عامل‌ها و خصوصیات و رفتار آن‌ها، تصمیم‌گیری و نحوه عملکرد عامل‌ها و تعیین موقعیت اولیه‌ی عامل‌ها در محیط پرداخته می‌شود.

۳-۱-۱- تعریف عامل‌ها و خصوصیات و رفتار آن‌ها

در تحقیقات مختلف افراد و یا ارگان‌های متفاوتی به‌عنوان عامل در نظر گرفته‌شده‌اند. به‌طور مثال لی [1] و لیو[2] در سال ۲۰۰۷ [۱۶] و ارسنجانی در سال ۲۰۱۳ [۱۳] سه نوع عامل، توسعه دهندگان، حکومت و مردم را در شبیه‌سازی توسعه شهری مد نظر قرار دادند. حسینعلی نیز در سال ۲۰۱۳ با توجه به سطح درآمد و میزان اولویت افراد برای دسترسی به امکانات حمل و نقل عمومی پنج نوع عامل در توسعه مدل مدنظر قرار داد [۱۷]. تعداد عامل‌های در نظر گرفته‌شده و نوع آن‌ها، تا حد زیادی تحت تأثیر نوع جامعه، فرهنگ و قوانین مربوط به توسعه در منطقه مورد مطالعه است. در این پژوهش با بررسی‌های انجام‌شده سه نوع عامل با توجه به سطح درآمد به‌عنوان توسعه‌دهندگان زمین در نظر گرفته‌شده‌اند. این عامل‌ها شامل توسعه‌دهندگان با درآمد کم، درآمد متوسط و درآمد بالا هستند.

عامل‌ها با توجه به نوعشان رفتارهای خاصی از خود نشان می‌دهند. عامل‌هایی که سطح درآمد پایینی دارند، در پی یافتن ارزان‌ترین زمین‌ها هستند تا توان مالی توسعه زمین را داشته باشند. در مقابل جذابیت قطعه زمین و میزان دسترسی کمتر مورد توجه آن‌ها است. حال آنکه برای عامل‌هایی که سطح درآمدشان متوسط است، معیار دسترسی اهمیت بالایی دارد زیرا این قشر عموماً افراد جوان و نیروی کار هستند. زمین‌هایی که تا حدی ارزان قیمت هستند بیشتر مورد توجه این نوع عامل‌ها قرار می‌گیرند. در نهایت عامل‌ها با درآمد بالا را داریم که در پی زمین‌های با ارزش هستند که از جذابیت قابل قبولی نیز برخوردار باشند.

[1] Li
[2] Liu

۳-۱-۲- تصمیم‌گیری و نحوه عملکرد عامل‌ها

همان‌طور که اشاره شد هر نوع از عامل‌ها با توجه به رفتارهای خاص خود اولویت‌های مختص خود را دارند. این اولویت‌ها تحت عنوان وزن تعریف می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر برای انواع مختلف عامل‌ها با توجه به اولویت‌های آن‌ها، به هر یک از نقشه‌های معیار وزنی اختصاص داده‌شده و مطابق رابطه (۱) مقداری مشخص برای هر یک از سلول‌ها محاسبه می‌گردد. در این فرمول دسترسیW، جذابیتW، شیبW و ارزش زمینW به ترتیب وزن‌های مربوط به نقشه‌ی دسترسی، نقشه‌ی جذابیت، نقشه‌ی شیب و نقشه‌ی ارزش زمین بوده و دسترسی$Score$، جذابیت$Score$، شیب$Score$ و ارزش زمین$Score$ میزان مطلوبیت هر یک از سلول‌ها در نقشه‌های معیار هستند.

علاوه بر نقشه‌های معیار ذکر شده، معیار همسایگی نیز در تصمیم‌گیری عامل‌ها بسیار تأثیرگذار است. بدیهی است، احتمال توسعه یافتن سلولی که همسایه‌های مجاورش توسعه‌یافته باشند بیشتر است، به‌عبارت‌دیگر درصورتی‌که همسایه‌های یک سلول توسعه‌یافته باشند، عامل تمایل بیشتری برای توسعه سلول خواهد داشت. بنابراین برای معیار همسایگی نیز وزنی اختصاص داده‌شده است تا تأثیر این پارامتر نیز در مدل وارد گردد. در مدل توسعه داده‌شده، هر سلول در محیط به راحتی می‌تواند از سلول‌ها واقع در اطراف خود پرس‌وجو کرده و از توسعه‌یافته و یا توسعه نیافته بودن همسایه‌ها آگاه شود. هر سلول توسعه‌یافته بودن ۸ سلول همسایه‌ی خود را مد نظر قرار داده و با توجه به آن تعداد همسایه‌های توسعه‌یافته‌اش مشخص می‌گردد. با توجه به اینکه توسعه سلول‌ها به شکل پویا و لحظه‌ای تغیر می‌کند لذا نمی‌توان آن را به‌صورت یک نقشه‌ی ثابت همانند چهار نقشه‌ی دیگر وارد مدل کرد. در نتیجه لزومی به تهیه‌ی نقشه در این رابطه وجود نداشته و بهتر است وضعیت همسایه‌ها در روند برنامه‌نویسی تعیین گردد. به‌این‌ترتیب تأثیر همسایگی نیز در مدل‌سازی لحاظ گردیده است.

رابطه (۱)

$$Score = (W_{\text{دسترسی}} \times Score_{\text{دسترسی}} + W_{\text{جذابیت}} \times Score_{\text{جذابیت}} + W_{\text{شیب}} \times Score_{\text{شیب}} + W_{\text{ارزش زمین}} \times Score_{\text{ارزش زمین}} + W_{\text{همسایگی}} \times Score_{\text{همسایگی}})/(W_{\text{دسترسی}} + W_{\text{جذابیت}} + W_{\text{شیب}} + W_{\text{ارزش زمین}} + W_{\text{همسایگی}})$$

همان‌طور که بیان شد، هر نوع از عامل‌ها به هر یک از نقشه‌های معیار وزنی اختصاص می‌دهند. میزان تاثیر عوامل مختلف در تصمیم‌گیری مردم برای توسعه اراضی در هر جامعه‌ای با دیگر جوامع متفاوت است. در نتیجه نمی‌توان وزن نقشه‌های معیار را مشابه دیگر پژوهش‌ها در نظر گرفت. مقادیر مجاز برای وزن‌ها، اعداد بین صفر تا چهار با فاصله‌ی ۰/۵ در نظر گرفته‌شده‌اند. در واقع برای هر یک از وزن‌ها هشت مقدار (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴) می‌توان داشت. حال بایستی بررسی‌های لازم صورت گیرد و ایده‌آل‌ترین وزن از میان این هشت مقدار برای نقشه‌های معیار تعیین شود. ایده‌آل‌ترین وزن منجر به بیشترین تطابق نتایج حاصل از مدل با واقعیت خواهد شد. با عنایت به اینکه پنج نقشه‌ی دسترسی، جذابیت، ارزش زمین، شیب و همسایگی برای هر نوع از عامل‌ها مقدار وزن متفاوتی دارند و سه نوع عامل تعریف‌شده است، در مجموع، ضرایب به تعداد $(۵\times۳)^{۸}$ حالت مختلف قابل تعریف هستند. نکته قابل توجه این است که در مقدار وزن یکی از نقشه‌ها در کل نتایج را تحت شعاع قرار می‌دهد و نمی‌توان تک‌تک وزن‌ها را جداگانه تعیین کرد. با تغییر در مقدار یک وزن، کل محاسبات دوباره تکرار می‌شوند. در نتیجه $۱۵^{۸}$ حالت مختلف باید بررسی شوند تا حالت بهینه یافت شود. ولی با توجه به محاسبات سنگین بررسی این تعداد حالت بسیار دشوار است. برای کمتر شدن

محاسبات مقادیر را محدودتر کرده و فرضیاتی در راستای ساده‌سازی وارد شد. به‌طور مثال مقدار جذابیت برای عامل ها با درآمد بالا اهمیت بالایی دارد و منطقی است مقدار وزن این معیار بالاتر از ۲ باشد، برای کمتر شدن محاسبات مقادیر ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴ برای وزن این معیار مورد بررسی قرار گرفت. با انجام این دست ساده‌سازی‌ها وزن‌هایی که بیشترین دقت را نتیجه می‌دهند مطابق جدول (۱) استخراج گردید. شایان ذکر است که پارامترهای مد نظر قرار گرفته، با الهام گیری از تحقیقات ۴، ۱ و ۱۶ انتخاب شده‌اند.

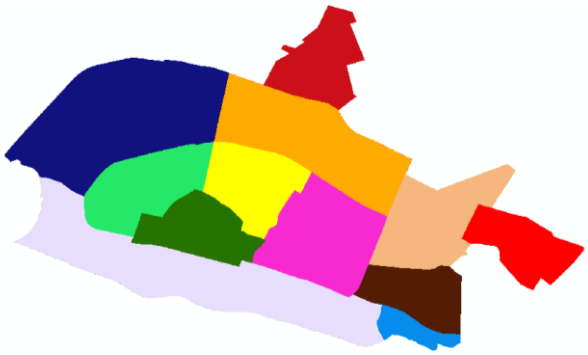
جدول ۱: پارامتر وزن نقشه‌های معیار برای انواع عامل‌ها

نوع عامل	سطح درآمد بالا	سطح درآمد متوسط	سطح درآمد پایین
وزن نقشه‌ی دسترسی	۴	۳	۰/۵
وزن نقشه‌ی جذابیت	۱/۵	۲	۴
وزن نقشه‌ی ارزش زمین	۱	۲	۱/۵
وزن نقشه‌ی شیب	۲	۱	۰/۵
وزن همسایگی	۳	۴	۴

تعداد عامل‌ها با توجه به نرخ رشد جمعیت محاسبه می‌گردد. فاکتورهای رشد جمعیت، زاد و ولد و مهاجرت به شهرها هستند. در شرایطی که جمعیت در حال افزایش است، تعداد سکونتگاه‌ها جوابگوی جمعیت نخواهد بود و شهر نیاز به توسعه سکونتگاه‌های جدید خواهد داشت. تعداد عامل‌هایی که تولید می‌شوند با توجه به جمعیتی که سالیانه به شهر اضافه می‌گردد تعیین می‌شود.

۳-۱-۳- تعیین موقعیت اولیه‌ی عامل‌ها در محیط

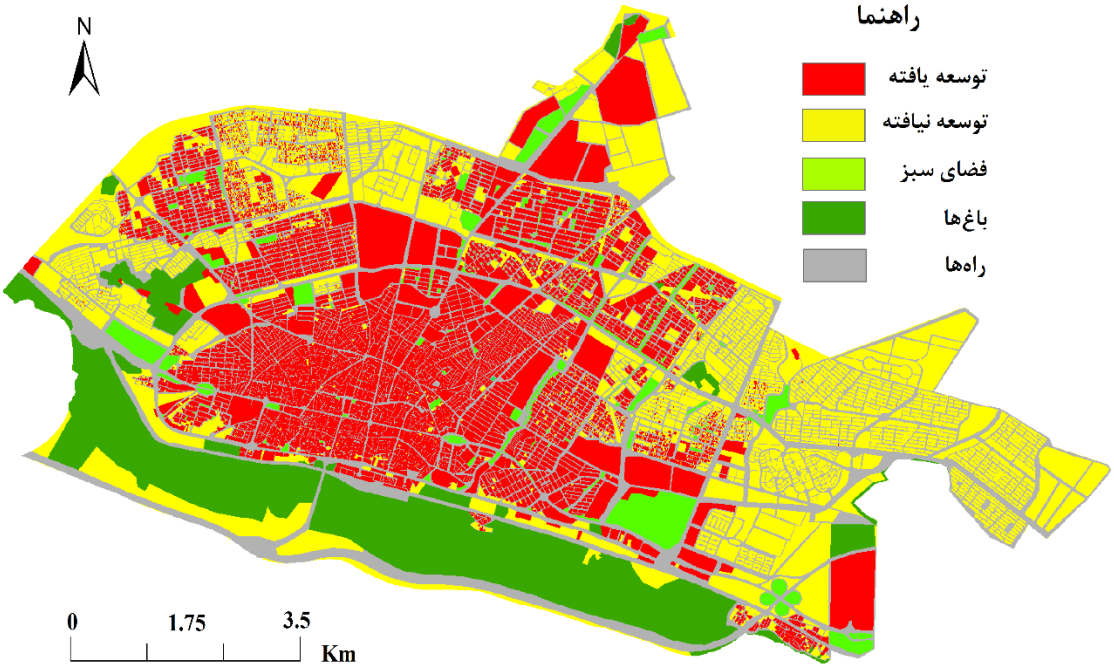
درصورتی‌که عامل‌ها به‌صورت کاملا تصادفی در نقشه منطقه مورد مطالعه پخش شوند، احتمال پخش نامناسب عامل‌ها وجود دارد. ممکن است تعداد کمی از عامل‌ها منطقه‌هایی با شرایط توسعه نسبتاً مناسب از نقشه را انتخاب کنند و منطقه توسط عامل‌ها به‌خوبی پوشش داده نشود. در واقعیت هم بعید است که منطقه‌ای از چشم مشتریان مخفی بماند ولی در تخصیص تصادفی به راحتی ممکن می‌باشد. در راستای حل این مشکل مطابق شکل (۴) شهر به ۱۲ منطقه تقسیم گردید. تقسیم‌بندی مناطق بر مبنای تقسیم‌بندی انجام گرفته توسط دولت انجام‌شده است. برای افزایش دقت، تقسیم‌بندی‌های صورت گرفته، با مد نظر قرار دادن تشابه قطعه زمین‌ها به منطقه‌های کوچک‌تری تقسیم شدند. در نهایت با توجه به تعداد زمین‌های مناسب برای توسعه و طرح و برنامه‌ای که دولت برای توسعه هر منطقه مد نظر دارد، ارزشی بین صفر تا یک به هر منطقه اختصاص داده شد. مناطق توسعه‌یافته مثل مرکز شهر یا باغ‌ها که مناطق قابل توسعه کمتری دارند، ارزش کمتر و در مقابل حاشیه‌ی شهر به‌خصوص مناطقی که دولت نیز طرح توسعه آن‌ها را دارد، ارزش بیشتری دارند. به‌این‌ترتیب تعداد عامل‌هایی که در هر منطقه به کاوش می‌پردازند، با توجه به این ارزش تعیین می‌گردد. پس از آنکه هر عامل به منطقه‌ای تعلق گرفت قطعه زمین یا به عبارتی سلولی که باید در آن قرار گیرد، به‌صورت تصادفی از میان قطعه زمین‌ها مشخص می‌شود. با انجام این ترفند در واقع عامل‌ها با ترکیبی از منطق و تصادف در نقشه شهر مستقر خواهند شد و هر منطقه‌ای که برای توسعه مناسب‌تر باشد از احتمال انتخاب بالاتری برخوردار خواهد بود.



شکل ۴ : منطقه‌بندی شهر با توجه به تشابه قطعه زمین‌ها

۳-۲- مدل‌سازی محیط و خصوصیات آن

محیطی که عامل‌ها در آن قرار گرفته و به کاوش و فعالیت می‌پردازند، یک فضای سلولی است. نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه به‌صورت رستری با سه نوع زمین تهیه شده است. انواع زمین‌ها شامل زمین‌های توسعه‌یافته، توسعه نیافته، باغ‌ها و فضای سبز (غیرقابل توسعه) هستند که در شکل (۵) نشان داده‌شده‌اند. با وارد کردن نقشه‌ی رستری منطقه به فضای سلولی، محیط جلوه‌ی بصری قابل فهم و بهتری به خود می‌گیرد. به همین ترتیب دیگر ویژگی‌های مربوط به سلول‌ها از جمله میزان دسترسی، جذابیت و... نیز با وارد کردن نقشه‌های معیار به سلول‌ها اختصاص می‌یابند. درصورتی‌که ابعاد تقریبی هر یک از بلوک‌های ساختمان‌ها ۱۰×۱۰ متر در نظر گرفته شود، ابعاد سلول‌ها نیز باید همین مقدار باشد. هر کدام از سلول‌های محیط ویژگی‌های مربوط به خود، مانند میزان دسترسی، جذابیت، ارزش زمین، توسعه‌یافته بودن یا نبودن، منطقه‌ای که در آن قرار گرفته است و... را در حافظه خود ذخیره می‌کنند.



شکل ۵ : نقشه‌ی قابلیت توسعه، تهیه شده برای شهر زنجان سال ۲۰۰۵

۳-۳- تعاملات

تعاملات مدل عامل-مبنا به دو شکل قابل انجام است: تبادل اطلاعات بین عامل‌ها با محیط و تبادل اطلاعات عامل‌ها با یکدیگر. در ادامه به توضیح نحوه‌ی مدل‌سازی این دو نوع تعامل در این پژوهش پرداخته می‌شود.

۳-۳-۱- نحوه کاوش و جمع‌آوری اطلاعات محیط توسط عامل‌ها

در این مرحله عامل‌ها به کاوش در محیط می‌پردازند تا اطلاعات لازم را جمع‌آوری کنند. همان‌طور که در بخش ۳-۱ شرح داده شد، هر نوع از عامل‌ها با توجه به رفتارهایی که دارند وزنی به سلول‌های نقشه‌های معیار اختصاص می‌دهند. در نتیجه جمع وزنی مقادیر سلول‌ها یک مقدار مشخص خواهد داشت. عامل‌ها چهار همسایگی[1] خود را بررسی کرده و با توجه به جمع وزنی نقشه‌های معیار بهترین و مناسب‌ترین همسایه‌ی خود را انتخاب کرده و به آنجا می‌روند. درحین انجام این روند اطلاعات مربوط به پیکسل‌هایی که از آن‌ها عبور کرده‌اند، شامل مختصات و جمع وزنی نقشه‌های معیار را در حافظه‌ی خود ثبت می‌کنند. بدیهی است درصورتی‌که عامل‌ها همه‌ی پیکسل‌ها را جستجو کنند، مدل از واقعیت دور خواهد شد. از طرفی هر عامل باید در حد منطقی سلول‌ها را در پی یافتن قطعه زمین مناسب جستجو کند. در مدل توسعه داده‌شده هر عامل تقریبا یک صدم سلول‌های منطقه را جستجو کرده و اطلاعات آن‌ها را در حافظه خود حفظ می‌کند. پس از اتمام یک صدم سلول‌های یک منطقه نوبت کاوش در مناطق دیگر است. هر عامل پنج منطقه را کاوش کرده و اطلاعات لازم را جمع‌آوری کند. همان‌طور که در بخش ۳-۱-۱ شرح داده شد، شهر به ۱۲ منطقه تقسیم‌بندی شده است. از میان این دوازده منطقه تقریبا هشت منطقه شرایط توسعه را دارند. تجربه نشان می‌دهد، در واقعیت یک عامل همه‌ی مناطق را جستجو نمی‌کند، به همین دلیل در مدل توسعه داده‌شده نیز هر عامل پنج منطقه را کاوش می‌کند. شایان ذکر است یک پیکسل ممکن است توسط عامل‌های بسیاری مورد بازدید قرار گیرد و یا حتی عامل‌ها به‌طور هم‌زمان از یک سلولی بازدید کنند.

۳-۳-۲- تبادل اطلاعات عامل‌ها با یکدیگر با الگوبرداری از الگوریتم PSO

یکی از ویژگی‌های عامل‌ها توانایی تبادل اطلاعات با یکدیگر است. هدف عامل‌ها در این پژوهش یافتن بهترین زمین با توجه به ویژگی‌ها و توانایی‌های خاص خودشان می‌باشد. در دنیای واقعی تعاملات اجتماعی ارتباط تنگاتنگی با گسترش کاربری اراضی دارد. تصمیم‌گیری توسعه‌دهندگان تا حد بسیار زیادی به تعاملات اجتماعی و در واقع تجربیات دیگران وابسته است. در مدل‌سازی نیز فرض شده است، عامل‌های هم‌نوع اطلاعات مربوط به میزان مناسب بودن زمین را با هم‌نوعان خود مبادله می‌کنند. در این پژوهش برای مدلسازی نحوه‌ی انتقال اطلاعات میان عامل‌ها از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات *(PSO)* الگوبرداری شده است. روش بهینه‌سازی *PSO* در سال ۱۹۹۵ توسط جیمز کندی[2] و راسل ابرهارت[3] در سال ۱۹۹۵ معرفی گردید [۱۸]. اگرچه منبع الهام این الگوریتم حرکت جمعی ماهی‌ها و پرندگان برای یافتن غذا است، ولی تصمیم‌گیری‌های انسان نیز در بسیاری مواقع از این الگوریتم پیروی می‌کند. محققان معتقدند افراد خود را با جمع تطبیق می‌دهد. گرایش طبیعی به دنباله‌روی از جمع، باعث می‌شود افراد بیشتر بر اساس نظر اعضای خانواده، دوستان و همسایه‌ها تصمیم‌گیری نمایند. هدف از تولید این الگوریتم

[1] Van Neumann Neighborhood

[2] James Kennedy
[3] Russell C. Eberhart

ایجاد یکسری مدل‌های قدرتمند اجتماعی بود. افراد کاملاً عادی با اعمال قانون‌های هوش جمعی، اجتماع هوشمندی را تشکیل می‌دهند. در *PSO* یکسری موجودات زنده فرضی وجود دارند که هر یک موقعیتی در فضای جواب دارد. این موجودات در فضا در حال حرکت هستند. قانون حرکت برای همه‌ی آن‌ها ثابت است. همه در حرکتشان از تجارب قبلی خود و تجارب کلی جمع استفاده می‌کنند [۱۸].

در این پژوهش از نحوه‌ی انتقال اطلاعات میان ذرات *PSO* الهام گرفته‌شده است، نقشه شهر به مناطق مختلف تقسیم‌بندی شده و عامل‌ها در این مناطق مستقر می‌گردند. در مدل توسعه داده‌شده عامل‌ها با الهام گرفتن از نحوه‌ی حرکت ذرات *PSO* و جستجوی آن‌ها در محیط، تجارب همسایه‌ها و تجارب خود را در انتخاب جهت حرکت و جستجوی محیط مد نظر قرار می‌دهند. در واقع هدف، شبیه‌سازی این حقیقت است که افراد علاوه بر تجربیات خوب خود، هم‌زمان به تقلید از افراد موفق پیرامون خود نیز می‌پردازند. هر عامل ابتدا سلول‌های موجود در چهار همسایگی خود را بررسی کرده و بهترین پیکسل همسایه با بیشترین مطلوبیت را در حافظه خود نگه می‌دارد، از طرفی عامل‌های هم‌نوع خود را در منطقه‌ای که مستقر هستند، شناسایی کرده و اطلاعات مربوط به میزان مطلوبیت قطعه زمینی که در آن مستقر هستند را با هم مبادله می‌کنند. در نهایت میزان مطلوبیت چهار پیکسل همسایه‌ی خود را با میزان مطلوبیت موقعیت بهترین همسایه‌ی مستقر در منطقه‌ی خود مقایسه می‌کند. از میان این دو هر کدام که مطلوب‌تر باشد، عامل به آن سمت حرکت خواهد کرد. با انجام این کار تلاش شده است افراد هر گروه تجربیات خود را در اختیار یکدیگر قرار دهند، تا بخشی از روابط اجتماعی میان افراد جامعه مدل شود.

عامل‌ها با شرایط ذکر شده شروع به کاوش در محیط کرده و اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری می‌کنند. این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که در صورت کاوش بیش از حد منطقه توسط عامل‌ها، با توجه به ماهیت الگوریتم *PSO* همه‌ی عامل‌ها به سمت پاسخ بهینه هدایت خواهند شد و این امر مدلسازی را از واقعیت به دور خواهد ساخت، بنابراین باید میزان مناسب جستجوی منطقه توسط عامل‌ها مد نظر قرار گیرد. پس از اتمام مرحله کاوش، عامل‌ها مطلوب‌ترین سلول برای توسعه را انتخاب می‌کنند. درصورتی‌که یک سلول توسط چند عامل انتخاب شود، عاملی آن را توسعه می‌دهد که زودتر وارد سلول شده است و بقیه عامل‌ها در پی اولویت‌های دیگر خود می‌روند.

۴- اجرا و ارزیابی نتایج

کد نویسی مربوط به شبیه‌سازی، در محیط نت لوگو صورت گرفته است. پس از انجام تحلیل‌های مورد نیاز در نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس، نقشه‌های معیار در فرمت *ASCII* خروجی گرفته‌شده و توسط *GIS Extention* در محیط نت لوگو بارگذاری گردید. به این طریق مقادیر مورد نیاز، به هر یک از سلول‌ها اختصاص داده شدند.

تعداد هر نوع از عامل‌ها با توجه به توسعه رخ داده، تعیین‌شده است. برای تعیین تعداد عامل‌ها، هر یک از سلول‌های توسعه‌یافته به یک دسته از سه نوع عامل نسبت داده شدند. به این طریق سهم هر دسته از عامل‌ها در توسعه تعیین گردید. سرانجام با در نظر گرفتن توسعه‌ی ۴ سلول توسط یک عامل، تعداد عامل‌ها از هر نوع مشخص شد. با اجرای برنامه عامل‌ها طبق رویه‌ی ذکر شده در بخش ۳-۱-۳ در سلول‌ها مستقر می‌شوند. همه عامل‌ها به‌صورت هم‌زمان شروع به کاوش در منطقه کرده و اطلاعات مورد نیاز خود را جمع‌آوری می‌کنند. پس از اتمام این مرحله سرانجام مناسب‌ترین سلول را انتخاب کرده و توسعه می‌دهند.

روند توسعه شهر تحت تأثیر پارامترهای مختلفی بوده و بسیار پیچیده است. به همین دلیل توسعه مدلی که

همه‌ی تغییرات را مطابق با واقعیت پیش‌بینی کند، امکان‌پذیر نیست. بنابراین، با برآورد میزان نزدیکی نتایج حاصل از مدل به واقعیت، به هر مدلی دقتی نسبت داده می‌شود. در این تحقیق پارامترهای مدل توسعه شهر توسط داده‌های سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ کالیبره شده، سپس با مدلسازی توسعه شهر در سال ۲۰۱۵ و مقایسه‌ی آن با نقشه‌ی موجود میزان کارایی و دقت مدل مورد سنجش قرار گرفته است.

روشی که عموماً برای سنجش میزان دقت مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقایسه‌ی سلول به سلول نتیجه‌ی حاصل از مدل با واقعیت است [۱۹]. از شاخص‌های پرکاربرد برآورد دقت مدل شاخص کاپا می‌باشد که از طریق رابطه (۲) قابل محاسبه است. در این پژوهش نیز پیش‌بینی‌های مدل برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ توسط شاخص کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$Kappa = \frac{p_0 - p_c}{1 - p_c}$$

رابطه (۲)

در رابطه قید شده برای محاسبه کاپا، p_0 بیانگر درصد جواب‌های درست مدل و p_c مقادیری است که بنا به احتمال تصادفی می‌توانستند درست باشند. درصورتی‌که مقدار کاپا کوچکتر از صفر باشد، یعنی هیچ تشابهی بین پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط مدل و واقعیت وجود ندارد. حال آنکه اگر مقدار کاپا برابر با یک باشد، تطابق کامل مدل و واقعیت را نشان می‌دهد. مقادیر کاپای بالاتر از ۰/۷ نشان‌دهنده‌ی تطابق قابل قبول مدل و واقعیت است [۲۰]. مقادیر محاسبه‌شده کاپا برای مدل توسعه داده‌شده در دو حالت مختلف و در سال ۲۰۱۵ در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲ : دقت مدل بر اساس شاخص کاپا در سال ۲۰۱۵

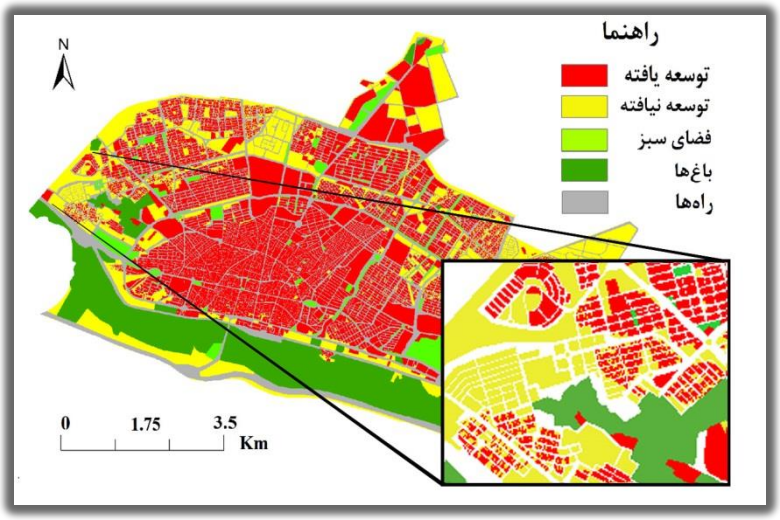
	اجرای برنامه با الگوریتم *PSO*	**اجرای برنامه بدون الگوریتم *PSO***
دقت	٪۷۴/۷	٪۷۴/۲

مقادیر نشان می‌دهند مدل به‌خوبی واقعیت را پیش‌بینی کرده است و نتایج مدل قابل اعتماد هستند. نقشه‌ی شهر پس از اجرای مدل در شرایط مختلف در شکل (۶) آورده شده است.

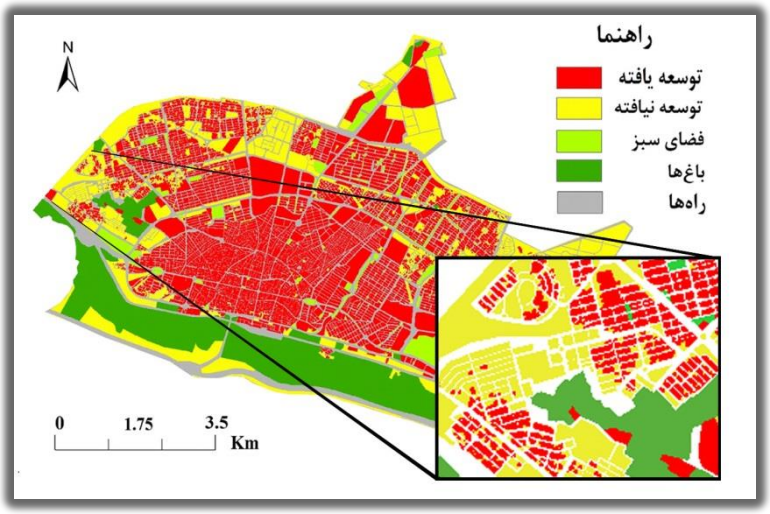
۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پیش‌بینی توسعه‌ی شهری همواره برای دولت و طراحان شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. مدل‌ها از تغییرات کاربری اراضی اتفاق افتاده در گذشته استفاده کرده و با استخراج الگوها، تغییرات کاربری اراضی در آینده را پیش‌بینی می‌کنند. در این پژوهش یک مدل عامل-مبنا با الهام گرفتن از الگوریتم بهینه‌سازی *PSO* برای پیش‌بینی توسعهٔ فیزیکی شهر زنجان توسعه داده شد. در مدل ارائه شده سه نوع عامل با درآمد کم، درآمد متوسط و درآمد بالا، با معیارهای تصمیم‌گیری خاص خود پیشنهاد شدند تا نحوه‌ی تصمیم‌گیری توسعه‌دهندگان اراضی را مدل کنند. همه‌ی عامل‌ها در یک محیط مشترک حرکت کرده و اطلاعات مربوط به اراضی را جمع‌آوری و مبادله می‌کنند. نحوه‌ی جستجوی عامل‌ها و حرکتشان در محیط، از حرکت ذرات در الگوریتم *PSO* الهام گرفته است. عامل‌ها اطلاعات خود را با عامل‌های مشابه خود مبادله کرده و به سمت مناطقی که اراضی مناسب‌تری دارد، حرکت می‌کنند.

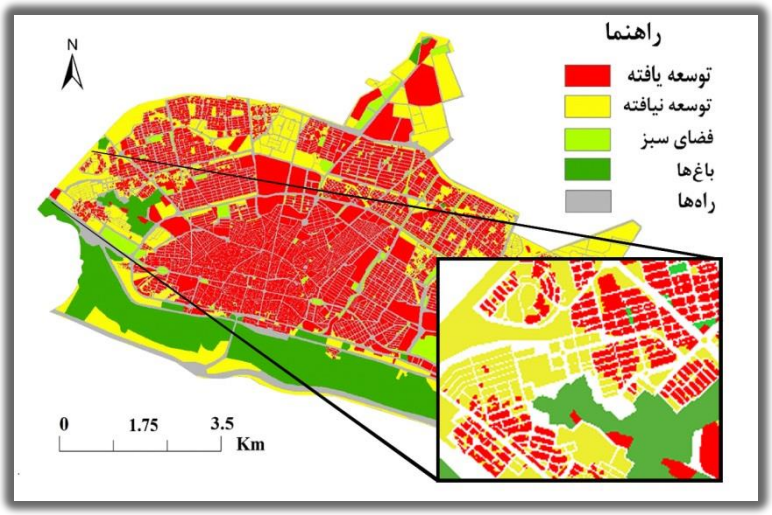
الف



ب



ج



شکل ۶ : پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط مدل الف): نقشه کاربری سال ۲۰۱۵ ب): پیش‌بینی انجام‌شده با الهام گرفتن از PSO (سال ۲۰۱۵) ج): پیش‌بینی انجام‌شده بدون الهام گرفتن از PSO (سال ۲۰۱۵)

بدین ترتیب تعاملات اجتماعی افراد مدل شده و تأثیر این تعاملات بر نتایج بررسی‌شده است. مدل توسط داده‌های سال ۲۰۱۰ کالیبره شده و از آن برای پیش‌بینی تغییرات کاربری سال ۲۰۱۵ استفاده‌شده است. میزان تشابه مدل پیشنهادی با واقعیت بر مبنای شاخص کاپا ۷۴٪ محاسبه‌شده است. با توجه به مقدار شاخص کاپا، مدل پیشنهادی توسعه‌ی شهر را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرده است. برای بررسی تأثیرات استفاده از الگوریتم *PSO* بر دقت مدل، دقت مدل در دو حالت متفاوت با هم مقایسه شده است. حالت اول از حرکت ذرات در الگوریتم *PSO* الهام گرفته ولی در حالت دوم مدل بدون دخیل کردن الگوریتم *PSO* اجرا شده است. نتایج بیانگر این است که مقدار کاپا در حالت اول در سال ۲۰۱۰ به مقدار ۰/۰۱ درصد از حالت دوم بیشتر است. همچنین مقدار کاپا در سال ۲۰۱۵ در هر دو حالت یکسان می‌باشد. این امر بیان‌گر تأثیر ناچیز استفاده از الگوریتم *PSO* در نتایج مدلسازی می‌باشد.

علیرغم پیش‌بینی قبل از تحقیق استفاده از *PSO* دقت را در حد زیادی بالا نبرد. در واقع از علل اصلی این امر دقت بالای مدل است، با توجه با بالا بودن دقت مدل عامل مبنا بدون استفاده از الگوریتم *PSO*، استفاده از الگوریتم *PSO* توانایی بالای بردن دقت را بیش از این نداشته است. به‌بیان‌دیگر تاثیر معیارهای اولیه مدنظر قرارگرفته در نتایج بسیار بیشتر از تاثیر نحوه‌ی حرکت عامل‌ها در محیط است.

بسیاری از عوامل پویا همچون مسئله‌ی همسایگی در سایر مدل‌ها قابل پیاده‌سازی نیستند ولی در مدل‌های بر پایه‌ی عامل پویایی و تغییرات لحظه‌ای و اثرات متقابل آن‌ها بر هم قابل مدلسازی هستند.

با وجود ماهیت دینامیکی و پیچیدگی بسیار در پیش‌بینی‌های مربوط به تغییرات کاربری و توسعه شهر، مدل پیشنهادی، توسعه شهر را با دقت خوبی مدل کرده است. علاوه بر تأثیر عواملی مانند نزدیکی به راه‌ها، مکان‌های تفریحی، قیمت زمین، شیب زمین و همسایگی‌ها، تعاملات بین افراد و در کل ارتباطات‌اجتماعی نیز تا حدی در تصمیم‌گیری افراد برای توسعه اراضی مؤثر است. از شاخصه‌های دیگر مدل، قدرت تفکیک مکانی بالای آن است.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدل عامل-مبنا کارایی بسیار مناسبی در پیش‌بینی توسعه‌ی شهری دارد. برای دست یافتن به دقت‌های بالاتر و مدل دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود در کارهای آتی از *PSO* به‌صورت گسترده‌تری الهام گرفته شود. در این تحقیق با توجه به محدودیت زمانی فقط از حرکات لحظه‌ای ذرات در *PSO* الهام گرفته شد، ولی می‌توان الگوریتم *PSO* را به‌صورت کامل پیاده‌سازی نمود، به‌نحوی‌که عامل‌ها از بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه‌ی همه‌ی ذرات نیز استفاده کند.

در این تحقیق عامل‌ها در نهایت برای تصمیم‌گیری در رابطه با توسعه یک سلول با یکدیگر رقابت نمی کنند. بدین معنا که اگر سلولی را انتخاب کنند که عامل دیگری نیز آن را برای توسعه دادن انتخاب کرده است، بر سر آن سلول رقابت نمی‌کنند و به دنبال انتخاب‌های بعدی خود می‌روند. پیشنهاد می‌شود رقابت میان عامل‌ها پس از اتمام مرحله جستجو توسط تئوری بازی مدل شود. پیاده‌سازی این تدابیر می‌تواند تاثیرات مثبتی بر دقت مدل داشته باشد.

مراجع

[1] R. Rafiee, A. Salman Mahiny, N. Khorasani, A. Darvishsefat, and A. Danekar, "Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM)", Cities, 26, 19-26, 2009.

[2] www.amar.org.ir, Statistical Centre of Iran.

[3] H. H. Zhang, Y. N. Zeng, and L. Bian, "Simulating multi-objective spatial optimization allocation of land use based on the integration of multi-agent system and

genetic algorithm" International Journal of Environmental Research, 4(4), 765-776, 2010.

[4] H. Zhang, X. Jin, L. Wang, Y. Zhou, and B. Shu, "Multi-agent based modeling of spatiotemporal dynamical urban growth in developing countries: simulating future scenarios of Lianyungang city, China", Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 29.1, 63-78, 2015.

[5] G. Tian, Y. Ouyang, Q. Quan, and J. Wu, "Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems—A case study of the Phoenix metropolitan region, USA", Ecological Modelling, 222.5, 1129-1138, 2011.

[6] A. Veldkamp, E.F. Lambin, "Predicting land-use change", Agriculture, ecosystems & environment, 85.1, 1-6, 2001.

[7] Y. Feng, Y. Liu, X. Tong, M. Liu, and S. Deng, "Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules", Landscape and Urban Planning, 102.3, 188-196, 2011.

[8] R. Tan, Y. Liu, K. Zhou, L. Jiao, and W. Tang, "A game-theory based agent-cellular model for use in urban growth simulation: A case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China", Computers, Environment and Urban Systems, 49, 15-29, 2015.

[9] Macal, Charles M., and Michael J. North, 2009, "Agent-based modeling and simulation." In Winter simulation conference, pp. 86-98. Winter Simulation Conference.

[10] Weiss, Gerhard, 1999, "Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence." MIT press.

[11] A. Jjumba, and S. Dragićević, "High resolution urban land-use change modeling: agent iCity approach", Applied Spatial Analysis and Policy, 5.4, 291-315, 2012.

[12] J. Jokar Arsanjani, M. Helbich, E. de Noronha Vaz, "Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: the case of Tehran", Cities, 32, 33-42, 2013.

[13] V. Kocabas, S. Dragicevic, "Bayesian networks and agent-based modeling approach for urban land-use and population density change: a BNAS model" Journal of Geographical Systems, 15.4, 403-426, 2013.

[14] Y. Feng, Y. Liu, X. Tong, M. Liu, and S. Deng, "Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules" Landscape and Urban Planning, 102(3), pp.188-196, 2011.

[15] Ma, S., He, J., Liu, F. and Yu, Y., 2011. "Land-use spatial optimization based on PSO algorithm" Geo-spatial Information Science, 14(1), pp.54-61.

[16] X. Li, X. Liu, "Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation", Journal of Environmental Management, 85.4, 1063-1075, 2007.

[17] F. Hosseinali, A. A. Alesheikh, F. Nourian, "Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city", Cities, 31, 105-113, 2013.

[18] J. Kennedy, and RC. Eberhart, "A discrete binary version of the particle swarm algorithm", Systems, Man, and Cybernetics, 1997. Computational Cybernetics and Simulation, 1997 IEEE International Conference on, 5, 4104 – 4108, 1997.

[19] J. van Vliet, R. White, S. Dragicevic, "Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton", Computers, Environment and Urban Systems, 33, 35–43, 2009.

[20] G. Tian, Y. Ouyangc, Q. Quana, J. Wub, "Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems—A case study of the Phoenix metropolitan region, USA", Ecological Modelling, 222.5, 1129-1138, 2011.

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.5, No.1, Spring 2017

Agent-Based Modeling of Urban Growth With Communications Inspired by Particle Swarm Optimization Algoritm

Farnaz Kaviari [*1], Mohamad Sadi Mesgari [2], Farhad Hosseinali [3], Samane Vaezi [1]

1- M.Sc. Student of Geospatial Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N. Toosi University of Technology
2- Associate Professor, GIS Devision, Faculty of Geodesy and Geomatics, and Center of Excellence for Geoinformation Technology, K.N. Toosi University of Technology.
3- Assistant Professor of geospatial information systems, Department of Civil Engineering, College of Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University.

Abstract

Population growth, urbanization and immigration from rural areas to cities results in increasing expansion of the cities. The adequate urban development requires proper and accurate planning, such those facilities for the new areas that are provided and environmental impacts are lessened. Computer based simulation and prediction of urban growth can be assumed as a good start for urban planning. In this research, a new agent base simulation of urban growth is developed, in which the communication and decision of agents are imitated from the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. The model is tested on the urban growth of Zanjan city- Iran between 2005 and 2015. In this model, land developers are classified into three groups of agents according to their income level. These agents search the environment and find proper lands for development according to their priorities and conditions. The output of the model is 74% similar to the reality according to the Kappa index. This and other results show that the model can predict the expansion of the city adequately. Moreover, the comparison made shows that modeling of the relations and communications between agents similar to PSO can slightly improve the quality of the model. The results showed the adequacy of the proposed agent-based modelling for the simulation of urban growth. To have a more accurate model, it is recommended to model the behavior of the agents with more details and also to consider the competition between agents.

Key words: Urban Growth, Simulation, agent, PSO

Correspondence Address: No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad cross, Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Tel: +98 9192410318
Email: Farnaz_Kaviari@ mail.kntu.ac.ir