نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال چهارم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۵

Vol.4, No.1, Spring 2016

۱۷-۳۸

مدل‌سازی چند عامله رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در GIS برداری

مهرداد بیجندی[۱]، محمد کریمی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستمهای اطلاعات مکانی – دانشکده مهندسی نقشه‌برداری – دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

۲- استادیار گروه سیستمهای اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری – دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

چکیده

بافت‌های اسکان غیررسمی یکی از پیچیده‌ترین مسائل برنامه‌ریزی شهری و پدیده‌ای چندبعدی و دارای شاخص‌های متعدد می‌باشد. فرایند رشد مکانی سکونتگاه‌های غیررسمی تحت تأثیر محرک‌های پیچیده درونی و بیرونی شکل می‌گیرد که استفاده توأم از روش عامل مبنا و سیستم اطلاعات مکانی به‌عنوان رویکرد اصلی این پژوهش می‌تواند راهکاری مناسب برای مدلسازی این فرایند باشد. هدف از انجام این تحقیق مدلسازی پدیده رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در مقیاس کاداستری و با استفاده از عامل‌های تصمیم‌گیر و قطعات زمین در محیط سیستم اطلاعات مکانی برداری می‌باشد. در این تحقیق دو سناریو برای تعریف همسایگی مکانی لحاظ شد و نتایج مدل‌سازی این سناریوها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. عامل‌های تصمیم‌گیر در این مدل افراد شاغل در هسته مرکزی شهر و افراد شاغل در نواحی صنعتی حاشیه شهر تعریف شدند که به‌عنوان عامل‌های متحرک محیط را برای انتخاب زمین مناسب جهت سکونت جستجو می‌کنند. در این مدل پارسل‌ها به‌عنوان عوامل مکانی بی‌حرکت مقدار سودمندی خود را بر اساس اولویت‌های هر عامل محاسبه و به عامل‌های تصمیم‌گیر اعلام می‌کنند. مدل ارائه‌شده بر روی یکی از محله‌های سکونتگاه‌های غیررسمی در شهر کاشان پیاده‌سازی شد و ارزیابی نتایج با داده‌های واقعی نشان داد که مدل ارائه‌شده با دقت ۸۶٪ قادر به‌پیش‌بینی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی می‌باشد. این تحقیق نشان داد هر چند برای توسعه یک قطعه زمین در مقیاس کاداستری تعداد همسایه‌های توسعه یافته آن اهمیت دارد لیکن مقدار مساحت همسایه‌های توسعه‌یافته نقشی پررنگ‌تر از تعداد آن‌ها دارد. همچنین یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که پارسل‌های توسعه‌یافته واقع در شعاع همسایگی ۱۲۰ متری قطعه زمین هدف متناسب با فواصلشان تأثیر متغیری بر روند توسعه‌یافتگی قطعه زمین هدف دارند.

کلید واژه‌ها: مدل‌سازی، عامل مبنا، سکونتگاه‌های غیررسمی، سیستم اطلاعات مکانی برداری، کاشان.

* نویسنده مسئول: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد غربی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

تلفن: ۸۸۷۷۰۲۱۸ ۰۲۱

Email : mkarimi@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و این رقم تا اواسط قرن حاضر به ۷ نفر از هر ۱۰ نفر خواهد رسید[۱]. در این میان تهیدستان شهری انتخاب چندانی ندارند و بر اساس گزارش سال ۲۰۰۳ برنامه اسکان بشر سازمان ملل متحد[1] حدود ۴۰ درصد از جمعیت شهری در کشورهای در حال توسعه در سکونتگاه‌های غیررسمی زندگی می‌کنند [۱] و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۳۰ به ۲ میلیارد نفر برسد[۲]. گسترش سریع شهرها، رشد جمعیت و روند رو به رشد مهاجرت موجب افزایش تقاضا برای مسکن می‌شود و از آنجایی که تأمین همه این نیازها با مشکلاتی روبرو است شاهد پیدایش پهنه‌هایی ناهنجار و ناپایدار در حاشیه و درون شهرها به‌عنوان سکونتگاه‌های غیررسمی هستیم که پاسخی حداقلی به نیازهای اقشار کم‌درآمد برای تأمین مسکن می‌باشد. طبق آمار بانک مرکزی در سال ۱۳۸۵ جمعیت سکونتگاه‌های غیررسمی در کشور حداقل هشت میلیون نفر برآورد شده است[۳].

ساخت و سازهای غیراصولی، آلودگی‌های زیست محیطی، آسیب‌پذیری در برابر حوادث غیرمترقبه، افزایش بیماری‌ها و آسیب‌های اجتماعی و به‌طورکلی کاهش کیفیت زندگی شهری و سطح رضایتمندی ساکنین تنها بخشی از تبعات رو به رشد پدیده سکونتگاه‌های غیررسمی است که در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند ابعاد وسیع‌تر و غیرقابل کنترل‌تری به خود بگیرد[۴]. سکونتگاه‌های غیررسمی با آهنگی هشدار دهنده رو به رشدند لذا سازمان ملل متحد روز جهانی اسکان بشر ملل متحد در سال ۲۰۱۴ را به‌عنوان "صدای مردم زاغه‌نشین" نام‌گذاری کرد[۴].

با استفاده از مدل‌سازی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی می‌توان درک بهتری از چگونگی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی و دینامیک فرایند آن فراهم نمود. همچنین مدل‌سازی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی می‌تواند راهبردی مفید برای هدایت اقدامات، برنامه‌ها و سیاست‌های پیش‌نگری و پیشگیری باشد. در دهه اخیر شاهد استفاده از مدل‌های عامل مبنا[2] برای کشف دینامیک فرایندهای شهری هستیم و مدل‌های عامل مبنا به‌طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی تعاملات انسان و محیط استفاده می‌شوند که در ادامه به تعدادی از تحقیقات مرتبط و نقد آنها پرداخته می‌شود.

وینسنت [۵] مدلی عامل مبنا به نام مدل الگوی رشد سکونتگاههای غیر رسمی (ISGPM[3]) توسعه داد تا رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در بخش اوکونگا در دارالسلام تانزانیا را شبیه‌سازی نماید. در این تحقیق دسته‌بندی عامل‌ها با توجه به سطح درآمد آن‌ها (بالا، متوسط، پایین) و فرایند جستجو عامل‌ها به‌صورت تصادفی و بر اساس ماکزیمم سودمندی[4] صورت گرفته است. محیط این مدل به‌صورت منظم و رستری و با اندازه پیکسل ۵۰ متر در نظر گرفته شد که مطابقت چندانی با قطعات ریزدانه موجود در سکونتگاه‌های غیررسمی ندارد.

پاتل و همکاران [۶] مدلی به نام اسلاموليشن[5] برای شبیه‌سازی پویایی پدیده شکل‌گیری فقیرنشین‌ها در شهر احمدآباد هندوستان ارائه دادند. عامل‌های اصلی این مدل شامل خانوارها، توسعه‌دهندگان، سیاست‌گذاران محلی می‌باشند که در محیط شهر به تعامل می‌پردازند. در این مطالعه مدل‌سازی در دو مقیاس مکانی انجام شد. نتایج

[1] UN-HABITAT

[2] Agent Based Model
[3] Informal Settlement Growth Pattern Model
[4] Maximum Utility
[5] Slumulation

نشان داد که رشد سکونتگاه‌های غیررسمی با حمایت از اقشار کم‌درآمد کندتر می‌شود هرچند تراکم سکونتگاه‌های موجود افزایش می‌یابد. در این تحقیق محیط به‌صورت رستری و مدلسازی در مقیاس منطقه‌ای انجام شد.

اگوستین بکرز و همکاران [۷] رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در دارالسلام تانزانیا را با استفاده از مدل خانه‌سازی عامل مبنا شبیه‌سازی نمودند. این مطالعه در ساختار برداری و در مقیاس میکرو، فرایند احداث مسکن را مدل‌سازی می‌کند. عامل توسعه‌دهنده در موقعیت مطابق با درآمدش خانه می‌سازد و عامل مستأجر به دنبال یافتن موردی برای اجاره است. سه مکانیسم برای احداث خانه‌ها شامل مکانیسم گسترش، متراکم سازی و توسعه خانه‌ها تعریف شد. در این تحقیق فاکتورهای اجتماعی نظیر محل اشتغال عامل مستأجر که می تواند نقشی کلیدی در انتخاب محل سکونت داشته باشد در مدلسازی لحاظ نشده است.

جعفری [۸] یک مدل عامل مبنا برای شبیه‌سازی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در شهر زنجان با استفاده از عامل‌ها و در محیط GIS[1] رستری توسعه داد. در این مدل افراد ساکن شهری به سه دسته افراد با درآمد بالا، متوسط و ضعیف جامعه تقسیم شدند. عامل دولت نیز با نقش کنترلی در رشد سکونتگاه‌های غیررسمی تعریف شده است. در این تحقیق عاملها بر اساس درآمد تقسیم بندی شدند که غالباً به‌طور شفاف قابل احصاء نیست.

باروس [۹] نیز در تحقیق خود به بررسی پویایی‌های شهری با استفاده از شبیه‌سازی عامل مبنا پرداخت. هدف این تحقیق مدل‌سازی نوع ویژه‌ای از رشد شهری در آمریکای لاتین به نام محیطی شدن[2] می‌باشد که در این پدیده اقشار کم‌درآمد کم‌درآمد به حاشیه شهر رانده می‌شوند و افراد پردرآمد در هسته مرکزی شهرها اقامت پیدا می‌کنند. عامل‌ها محل اقامتشان را بر اساس تراکم همسایگی و نزدیکی درآمدها انتخاب می‌کنند. این تحقیق نیز درساختار رستری و در مقیاس منطقه‌ای پیاده‌سازی گردید.

در ایران مطالعات توصیفی و تحلیلی متعددی برای شناخت و پهنه‌بندی منطقه‌ای بافت‌های اسکان غیررسمی عموماً توسط مهندسین مشاور در برخی از شهرهای کشور انجام‌شده است. این مطالعات اگر چه لازم هستند ولی کافی نیستند و بررسی فرایند رشد سکونتگاه‌های غیررسمی به‌صورت محلی[3] کمتر موردتوجه قرارگرفته است. این در حالی است که چگونگی رشد محلی یک پدیده عملاً می‌تواند الگوهای رشد منطقه‌ای آن را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار دهد لذا این پژوهش به‌منظور ترمیم این شکاف تحقیقاتی هدف‌گذاری گردیده است.

ساختار توپولوژیک پیچیده مدل داده برداری به‌کارگیری آن را در مقیاس منطقه‌ای به وسعت یک کلان‌شهر با چالش مواجه می‌سازد ولیکن در مقیاس محلی استفاده از این مدل داده دارای مزیت‌هایی است که به‌کارگیری آن را توجیه می‌نماید. در مقیاس محلی با اشکال هندسی پیچیده و قطعات نامنظم مکانی سروکار داریم و به علت بزرگ بودن این مقیاس به مدل داده‌ای نیاز است که ماهیتاً به جهان واقعی نزدیک‌تر باشد و بتواند تعاملات عامل‌های انسانی را با محیط پیرامونش به‌خوبی مدل نماید. همچنین برای بهبود دقت مدل‌سازی در مقیاس محلی می‌بایست انطباق هرکدام از فاکتورهای همسایگی، دسترسی و قیود مکانی

[1] Geospatial Information System

[2] Peripherisation
[3] Local

با هستنده[1]های مکانی واقعی نیز تأمین شود لذا در این تحقیق رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در GIS برداری مدلسازی شد و علاوه بر ساختار برداری مدل داده از آنالیزهای مکانی برداری نیز استفاده گردید.

سیستم اطلاعات مکانی به‌خوبی قادر به نمایش الگوهای مکانی یک پدیده به‌طور صریح می‌باشد ولی غالباً در GIS تمایل بیشتری به سمت مدل‌های استاتیک وجود دارد[۱۰]. از طرفی مدل عامل مبنا (ABM)[2] با قرار دادن عامل‌های ساده در کنار هم می‌تواند رفتارهای پیچیده یک پدیده را بطور دینامیک شبیه‌سازی نماید لیکن در ارائه بصری الگوهای فرایند نتایج رضایت‌بخشی ارائه نکرده است[۱۰]. در این تحقیق سعی شده است با ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و عامل‌ها مدلی پویا از فرایند رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در GIS برداری ارائه گردد. پدیده رشد سکونتگاه‌های غیررسمی به‌عنوان یک سیستم پیچیده دارای یک الگوی کلان در سطح ماکرو است که از تعاملات عوامل پایین‌دست در سطح میکرو حاصل می‌شود. این تعاملات منجر به پیدایش الگوهای کلان می‌شود و بالطبع بازخورد الگوهای کلان بر تعاملات عوامل پایین‌دست تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق سعی شده است تا این فرایند پیچیده از رشد سکونتگاه غیررسمی در مدل ارائه شده لحاظ گردد.

در این تحقیق دو سناریو برای تعریف همسایگی مکانی لحاظ شد و نتایج مدل‌سازی این سناریوها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. عامل‌های تصمیم‌گیر در این مدل افراد شاغل در هسته مرکزی شهر و افراد شاغل در نواحی صنعتی حاشیه شهر تعریف شدند که به‌عنوان عاملهای متحرک محیط را برای انتخاب زمین مناسب جهت سکونت جستجو می‌کنند. در این مدل پارسلها به‌عنوان عوامل مکانی بی‌حرکت مقدار سودمندی خود را بر اساس اولویت‌های هر عامل محاسبه و به عامل‌های تصمیم‌گیر اعلام می‌کنند. مدل ارائه‌شده بر روی یکی از محله‌های سکونتگاه‌های غیررسمی در شهر کاشان پیاده‌سازی شد و ارزیابی نتایج با داده‌های واقعی نشان داد که مدل ارائه‌شده با دقت ۸۶٪ قادر به‌پیش‌بینی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی می‌باشد.

ادامه مقاله بدین‌صورت است که در بخش دوم مبانی تئوری مدل عامل مبنا به‌طور مختصر بیان‌شده است. در بخش سوم مواد و روش تحقیق عنوان‌شده است. در بخش چهارم پیاده‌سازی مدل و ارزیابی نتایج ارائه گردیده و در نهایت در بخش پنجم بحث و نتیجه‌گیری و همچنین پیشنهادهایی برای کارهای آینده بیان شده است.

۲- مبانی تئوری مدل عامل مبنا

در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده از روش اتوماتای سلولی و مدل عامل مبنا استفاده می‌شود[۱۱]. مدل عامل مبنا یک روش محاسباتی است که برای محققین تسهیلاتی مانند ایجاد، آنالیز و آزمایش یک فرایند را در دنیایی مصنوعی با جمعیتی از عامل‌ها فراهم می‌کند. مدل عامل مبنا مدلی شامل یک یا چند عامل به همراه محیطی است که عامل‌ها در آن قرارگرفته‌اند به صورتی که امکان تعامل، ارتباط و تصمیم‌گیری برای عامل‌ها فراهم است[۱۱]. عامل‌ها می‌توانند محیط را درک کنند و مطابق با آن واکنش نشان دهند تا به اهداف خود دست پیدا کنند. در مدل‌سازی عامل مبنا با قرار دادن اجزاء یا عامل‌های ساده در کنار هم سعی می‌شود رفتارهای پیچیده شبیه‌سازی شود[۱۲].

مدل‌های عامل مبنا دارای درجه آزادی بالایی هستند و در رویکردی پایین به بالا و با استفاده از تعاملات موجودیت‌های تصمیم‌گیرنده با یکدیگر و با محیط، فرایند موردنظر را مدل‌سازی می‌کنند.

[1] Entity
[2] Agent Based Model

در مدل عامل مبنا، ویژگی‌های هر عامل می‌تواند در طول شبیه‌سازی ثابت و یا متغیر باشد[۱۲]. عامل‌ها معمولاً تصمیم‌گیرندگان مدل‌های عامل مبنا هستند و محیط نیز به‌عنوان بخشی دیگر از این مدل‌ها تلقی می‌شود که هرچند تصمیم‌گیری نمی‌کند ولی در فرایند مدل تغییر و تکامل می‌یابد که به‌نوبه خود در تصمیم‌گیری‌های آینده عامل‌ها تأثیرگذاراست. بنابراین چارچوب یک مدل عامل مبنا را می‌توان با تعریف سه المان اصلی ساختاردهی نمود: مجموعه‌ای از عامل‌ها، مجموعه‌ای از قوانین رفتاری عامل‌ها با یکدیگر و با محیط، محیط عامل‌ها[۱۲]. البته برخی محققین علاوه بر المان‌های فوق "زمان" و "تغییرات تصادفی" را نیز به‌عنوان المان‌های اصلی مدل عامل مبنا معرفی کرده‌اند[۱۳]. چارچوب مدل‌های عامل مبنا در اغلب مطالعات برنامه‌ریزی کاربری اراضی مطابق رابطه (۱) بر اساس معماری وضعیت(ها) – قانون(ها) – ورودی(ها)[1] می‌باشد[۱۴] :

رابطه (۱) $$\boldsymbol{A}\sim\{\boldsymbol{S},\boldsymbol{R},\boldsymbol{I}\}\sim\begin{cases}\boldsymbol{S}=\boldsymbol{S^1},\boldsymbol{S^2},\dots,\boldsymbol{S_{i,t}^k}\\ \boldsymbol{R}:\ \{\boldsymbol{S_t},\boldsymbol{I_t}\}\rightarrow\ \boldsymbol{S_{t+1}}\end{cases}$$

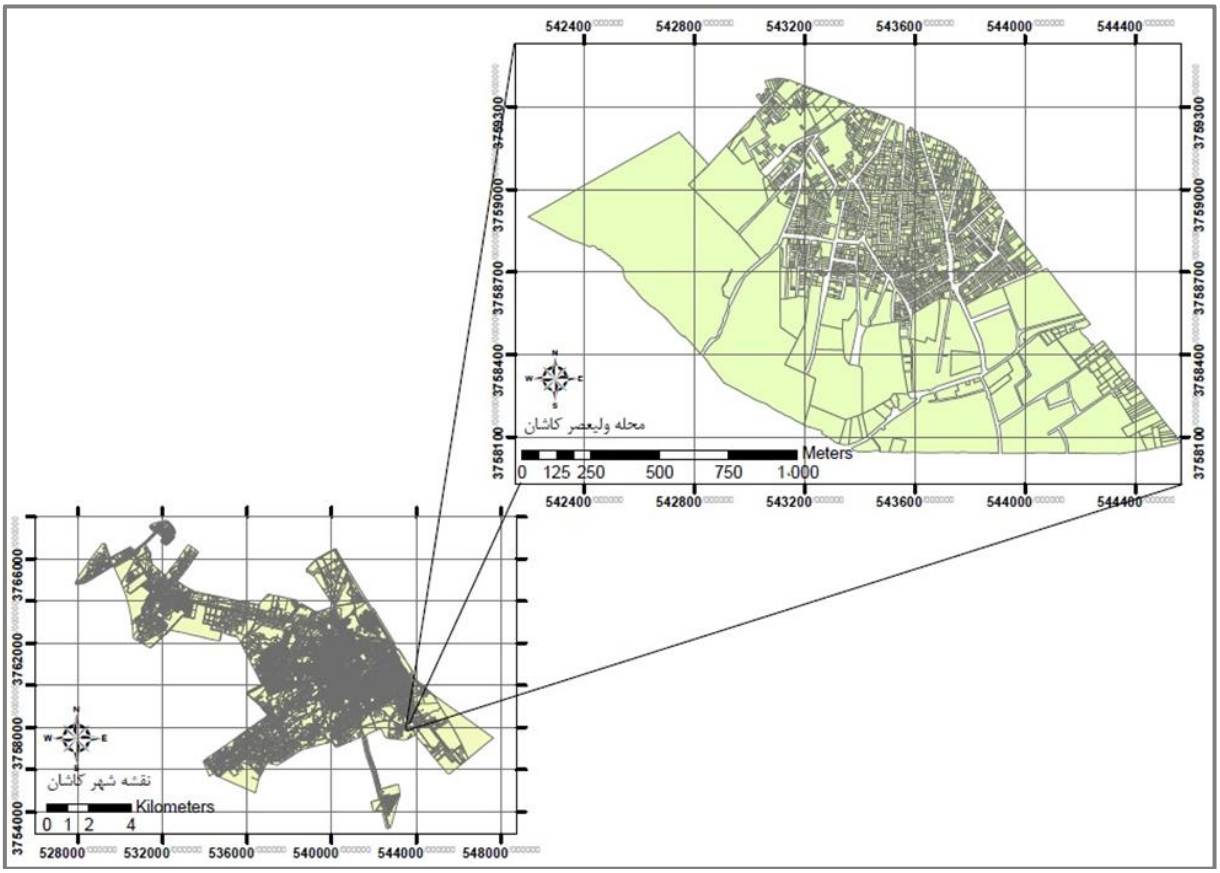
$\boldsymbol{A}$ مجموعه عملکردهای عامل می‌باشد و $\boldsymbol{S_{i,t}^k}$ نشان‌دهنده وضعیت $\boldsymbol{k}$ ام عامل در مکان $\boldsymbol{i}$ و زمان $\boldsymbol{t}$ می‌باشد. $\boldsymbol{R}$ قانون یا مجموعه قوانین انتقال عامل است که می‌تواند حالت‌های عامل را به‌صورت انعطاف‌پذیر تحت تأثیر قرار دهد. هنگامی‌که زمان از $\boldsymbol{t}$ به $\boldsymbol{t+1}$ تغییر می‌کند قوانین انتقال روی وضعیت و ورودی عامل $(\boldsymbol{S_t},\boldsymbol{I_t})$ در زمان $\boldsymbol{t}$ اعمال می‌شود و وضعیت عامل را به $\boldsymbol{S_{t+1}}$ تغییر می‌دهد. قوانین انتقال معمولاً نشان‌دهنده فرایندهای مکانی هستند و ورودی‌ها $(\boldsymbol{I})$ نیز می‌توانند به‌صورت مکانی $(\boldsymbol{I_i})$ و یا به‌صورت مکانی-زمانی $(\boldsymbol{I_{it}})$ تعریف شوند. درواقع تعامل بین وضعیت‌ها، قانون‌ها، ورودی‌ها، زمان و مکان آن‌قدر انعطاف‌پذیری ایجاد می‌کند که بتوان بسیاری از موضوعات موردعلاقه محققین علوم مکانی را در این چارچوب مدل‌سازی نمود[۱۴].

۳- مواد و روش تحقیق

منطقه موردمطالعه در این تحقیق محله ولیعصر شهر کاشان است که یکی از محلات جدید این شهر می‌باشد (شکل (۱)). به‌منظور شناسایی سکونتگاه‌های غیررسمی در شهر کاشان مطالعه‌ای در مقیاس منطقه‌ای در سال ۱۳۹۰ انجام‌گرفته است[۱۵] و این مطالعه پس از اولویت دادن به معیارها و محاسبه بر اساس روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه محله‌ها با یکدیگر، محله ولیعصر را به‌عنوان اولویت نخست برای انجام بهسازی و توانمندسازی سکونتگاه‌های غیررسمی مشخص نموده است. لذا خروجی این مطالعه به‌عنوان ورودی و منطقه مطالعاتی در تحقیق حاضر انتخاب و در تنظیم پارامترهای تحقیق حاضر از آن استفاده شده است.

مساحت شهر کاشان در محدوده قانونی حدود ۸۵۰۰ هکتار است[۱۶]. شیب در شهر کاشان با ارتفاع ۱۰۵۰ متر در غرب و حدود ۹۷۰ متر از جنوب غرب به ۹۳۰ متر در شمال شرق و ۹۲۵ متر در محدوده شرقی شهر با شیب کلی صفرتا ۵ درصد شکل‌گرفته است[۱۶]. نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۵، نقشه شیب، نقشه دسترسی به راه‌های اصلی و فرعی و راه‌آهن، نقشه مسیل‌ها و قنات‌های واقع در محدوده شهر، نقشه موقعیت مراکز صنعتی، نقشه موقعیت بازار و مراکز تجاری در این تحقیق مورداستفاده قرارگرفته است[۱۶،۱۵]. در این تحقیق ابتدا پارامترهای مدل عامل مبنای طراحی شده تنظیم و سپس با استفاده از داده‌های ورودی اجرا می‌گردد.

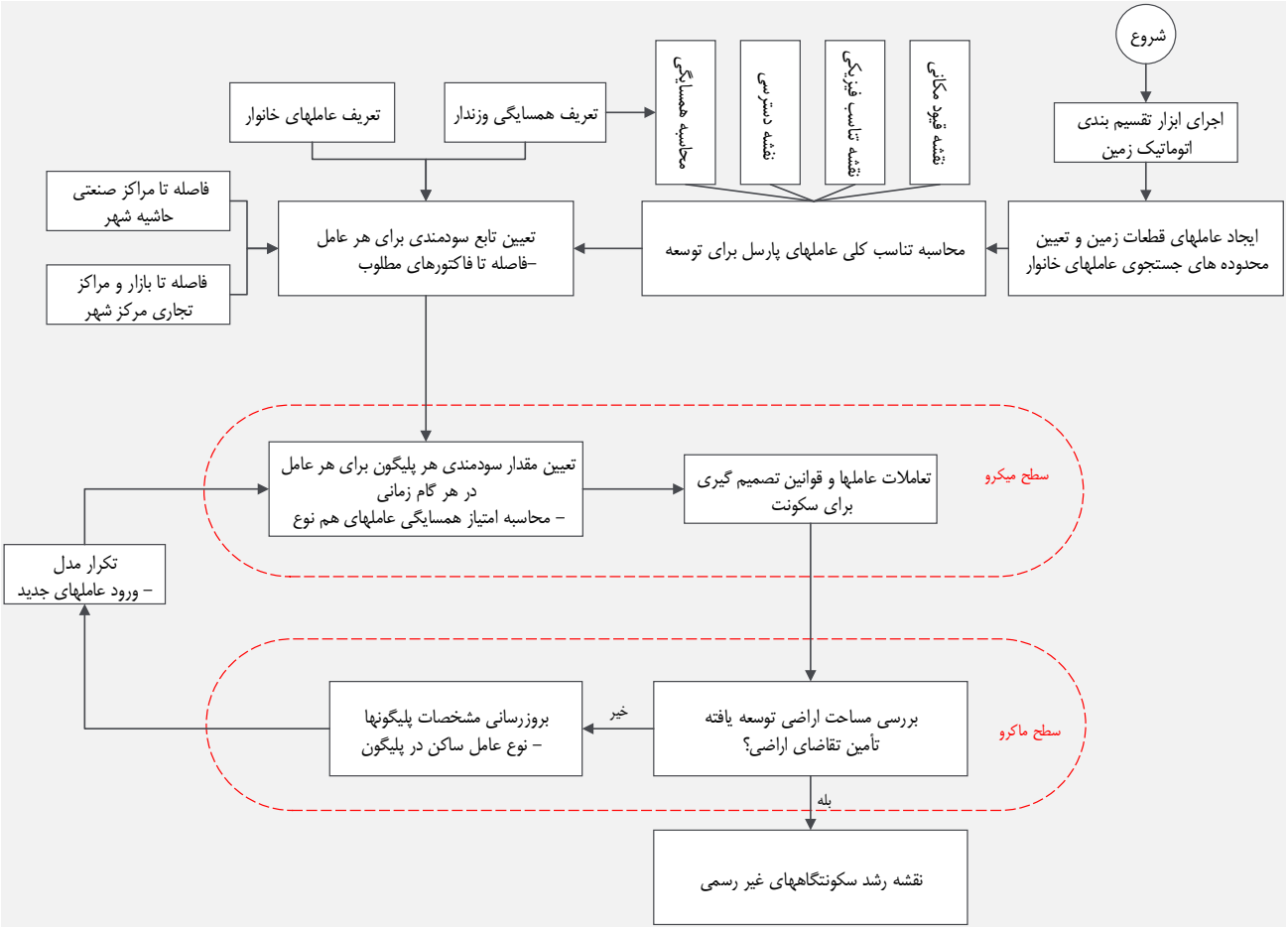
[1] State–Rule–Input Architecture



شکل ۱ : منطقه مورد مطالعه

از داده‌های سال ۸۵ برای شبیه‌سازی رشد سکونتگاه غیررسمی در سال ۹۲ استفاده می‌شود و نتایج با داده‌های واقعی مربوط به همین سال مقایسه و بدین ترتیب نتایج حاصل از مدل ارزیابی می‌گردد. فلوچارت مراحل تحقیق به‌منظور مدل‌سازی عامل مبنا رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در مقیاس کاداستری در شکل (۲) مشخص شده است.

پلیگونهای قطعات زمین به‌عنوان عاملهای بدون حرکت در این مدل تناسب کلی خود را بر اساس چهار فاکتور همسایگی،دسترسی، تناسب فیزیکی و قیود مکانی محاسبه می‌کنند. برای ایجاد عاملهای قطعات زمین از ابزار تقسیم بندی اتوماتیک زمین استفاده می‌شود. با استفاده از این ابزار علاوه بر ایجاد یک فضای برداری پارسلی می‌توان محدوده‌هایی را که می‌بایست توسط عاملهای خانوار مورد جستجو قرار گیرند را تعیین کرد. در این مدل عاملهای خانوار به دو دسته افراد شاغل در مرکز شهر و شاغلین در نواحی صنعتی حاشیه شهر تقسیم بندی شده‌اند که دارای اولویتهایی متفاوتی برای انتخاب محل سکونت هستند. در سطح میکرو عاملهای خانوار شروع به کاوش محیط می‌کنند و عاملهای قطعات زمین مقدار سودمندی متناسب با نوع خانوار را به آنها اعلام می‌کنند. در سطح ماکرو عاملهای قطعات زمین در پایان هر گام زمانی ویژگی توسعه یافتگی خود را بر اساس نوع عامل ساکن بروزرسانی می‌کنند و الگوی اولیه رشد سکونتگاههای غیررسمی شکل می‌گیرد. آرایش نوع عامل ساکن در هر پارسل در سطح ماکرو بر محاسبه مقدار سودمندی آن پارسل در سطح میکرو اثرگذار است و با تکرار مدل روند تکاملی آن تا حصول میزان تقاضا ادامه می‌یابد.



شکل ۲ : فلوچارت مراحل تحقیق

نرم‌افزارهای متعددی برای مدل‌سازی عامل مبنا وجود دارد لیکن تعداد محدودی از آن‌ها از ساختار داده‌برداری پشتیبانی می‌کنند. در این تحقیق برای پیاده‌سازی مدل عامل مبنا از افزونه[1] Agent Analyst در نرم‌افزار آرک جی آی اس نسخه ۱۰[2] استفاده شده است. این افزونه رایگان و متن‌باز است و از طریق رویکرد میان‌افزار[3] و با ادغام دو نرم‌افزار ریپست[4] و آرک جی آی اس توسعه‌یافته است. Agent Analyst به توسعه‌دهندگان اجازه می‌دهد تا از اشیاء جاوا در نرم‌افزار آرک جی آی اس استفاده کنند و همزمان دسترسی کاملی به مجموعه توابع آرک جی آی اس داشته باشند و بتوانند آن‌ها را در مدل عامل مبنا ترکیب نمایند [۱۰]. زبان‌اصلی Agent Analyst برای برنامه‌نویسی رفتار عامل‌ها (NQPy[5]) است که یک‌زبان برنامه‌نویسی شیءگراست و برای دسترسی به ابزار شبیه‌سازی ریپست جاوا از نحو[6] پایتون استفاده می‌کند و کد نهایی را در جاوا کامپایل می‌کند. این زبان، ظاهری شبیه به پایتون دارد و اجازه دسترسی کامل به بسته ریپست جاوا[7]، آرک آبجکتس[8] و کتابخانه‌های استاندارد جاوا را می‌دهد[۱۰].

[1] Extention
[2] ArcGIS10.1
[3] Middleware Approach
[4] Repast
[5] Not Quite Python
[6] Syntax
[7] Repast Java package
[8] ArcObjects

۳-۱- تقسیم‌بندی خودکار زمین

در گام اول برای ایجاد یک فضای برداری پارسلی جهت نمایش چگونگی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی از ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین استفاده شد و بدین ترتیب عاملهای پارسل ایجاد شدند. پارسل‌بندی با استفاده از ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین دهال و چاو [۱۷] انجام گرفت. در تقسیم‌بندی خودکار زمین می‌بایست حداقل مساحت قطعات مسکونی رعایت گردد است که بر اساس مطالعات طرح جامع شهرکاشان متوسط مساحت قطعات مسکونی در منطقه مطالعاتی ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر مربع می‌باشد[۱۶]. لذا تقسیم‌بندی به‌گونه‌ای انجام شد که ضمن رعایت حداقل مساحت برای پارسلها امکان دسترسی به شبکه معابر نیز برای کلیه پارسلها میسر باشد. ایجاد خیابان‌ها و اتصال آن‌ها به شبکه دسترسی موجود به‌صورت خودکار توسط ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین صورت گرفته است(شکل (۳)).

۳-۲- محاسبه تناسب کلی عامل‌های پارسل برای توسعه

در این مدل پارسلها به‌عنوان یک عامل مکانی در نظر گرفته‌شده‌اند که قوانین رفتاری آن‌ها بر اساس فاکتورهای اثر همسایگی[1]، دسترسی[2]، قیود مکانی و تناسب فیزیکی[3] تعریف‌شده و هر پارسل با استفاده از این فاکتورها میزان تناسب کلی خود را با استفاده از رابطه (۲) تعیین و به مدل گزارش می‌کند[۱۰]:

رابطه (۲) $$S_i = \frac{w_n * S_i^N + w_d * S_i^D + w_z * S_i^Z + w_p * S_i^P}{\sum w}$$

در این معادله S_i تناسب کلی پارسل i و S_i^N ، S_i^D ، S_i^Z و S_i^P به ترتیب امتیازهای مربوط به همسایگی، دسترسی، قیود مکانی و تناسب فیزیکی می‌باشد و w_n، w_d، w_z و w_p نیز به ترتیب وزن‌های مرتبط با آن‌هاست[۱۰]. مدل به‌گونه‌ای طراحی‌شده است که کاربر می‌تواند به‌صورت دینامیک وزن‌ها را مطابق با سناریوهای مختلف تنظیم و معرفی نماید.

۳-۲-۱- تعریف همسایگی مکانی وزن‌دار و محاسبه امتیاز همسایگی

ساختار همسایگی نقشی تعیین‌کننده در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی دارد و چگونگی تغییر وضعیت یک واحد سرزمین[4] به پیروی از تغییر وضعیت همسایگانش را مشخص می‌کند. همسایگی‌های متعارف فضای رستری مانند ون نومن[5] و مور[6] قابل به‌کارگیری در ساختار برداری نیستند چراکه اندازه پلیگونها برخلاف سلول‌های رستری یکنواخت نیست و شکلی نامتقارن دارند بنابراین می‌بایست در ساختار برداری همسایگی را تعریف نمود. در مطالعه اخیری که در سال ۲۰۱۵ در خصوص تعریف همسایگی در ساختار برداری توسط دهال و چاو [۱۸] برای مدل‌های اتوماتای سلولی برداری انجام‌گرفته است پس از تعریف ۹ نوع از همسایگی در بافرهای مختلف نهایتاً شعاع ۱۲۰ متری را برای تعریف شعاع همسایگی در مقیاس کاداستری پیشنهاد کرده است.

از آنجاییکه در این تحقیق مدلسازی رشد سکونتگاههای غیررسمی در مقیاس محلی مدنظر است و بافتهای سکونتگاههای غیررسمی نیز غالباً ریزدانه هستند لذا می‌بایست اثر همسایگی در فرایند مدلسازی بصورت جزئی‌تر مورد بررسی قرار گیرد بنابراین در این تحقیق فواصل همسایگی به‌صورت وزن‌دار و در سه شعاع ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰متر و با وزن‌های متغیر تعریف‌شده است(شکل (۴)) بطوریکه پارسلهای نزدیک‌تر به پارسل هدف دارای وزن بیشتری

[1] Neighborhood Effect
[2] Accessibility
[3] Physical Suitability
[4] Land Unit
[5] von Neumann
[6] Moore

نسبت به پارسلهای دورتر می‌باشند و این وزن‌ها توسط کاربر قابل تنظیم است. نکته دیگری که در ساختار برداری حائز اهمیت است چگونگی تأثیر پارسلهای همسایه بر پارسل هدف می‌باشد که در این تحقیق دو سناریو شامل تعداد همسایه‌های توسعه‌یافته و همچنین مساحت پارسلهای توسعه‌یافته ملاک عمل قرارگرفته است. همسایگی وزن‌دار با استفاده از تابع ترکیب خطی وزن‌دار زیر محاسبه‌شده است:

رابطه (۳) $$N_i = \sum_{k=1}^{n} w_k * N_{ki} / \sum w$$

در این معادله N_i همسایگی وزن‌دار برای پارسل i می‌باشد و w_k وزن مربوط به هرکدام از n شعاع همسایگی است ($n=3$). N_{ki} تعداد (یا مساحت) پارسلهای توسعه‌یافته برای پارسل i در شعاع k می‌باشد. مدل، N_i را برای تمام پارسلهای منطقه مطالعاتی محاسبه و بر اساس مقادیر ماکزیمم و می نیمم N_i و مطابق معادله (۴) امتیاز همسایگی پارسلها را بین مقادیر صفرتا ۱۰۰ نرمال‌سازی می‌کند.

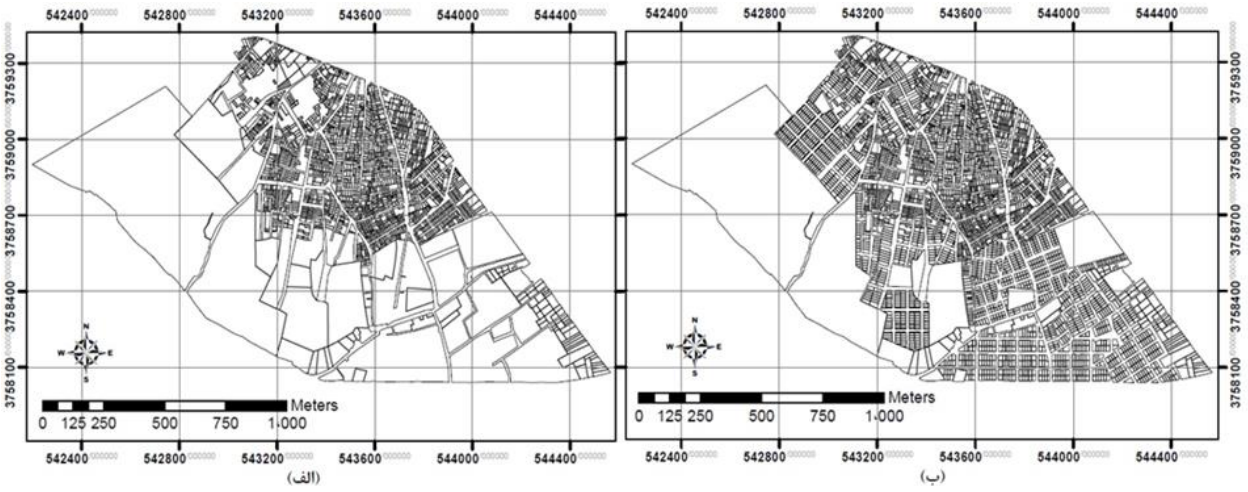
رابطه (۴) $$S_i^N = 100 - \frac{N_{max} - N_i}{N_{max} - N_{min}}$$

در این معادله S_i^N امتیاز همسایگی پارسل i و N_i مقدار همسایگی وزن‌دار پارسل i می‌باشد. N_{max} و N_{min} نیز به ترتیب مقادیر ماکزیمم و می نیمم همسایگی وزن‌دار در منطقه مطالعاتی می‌باشد.

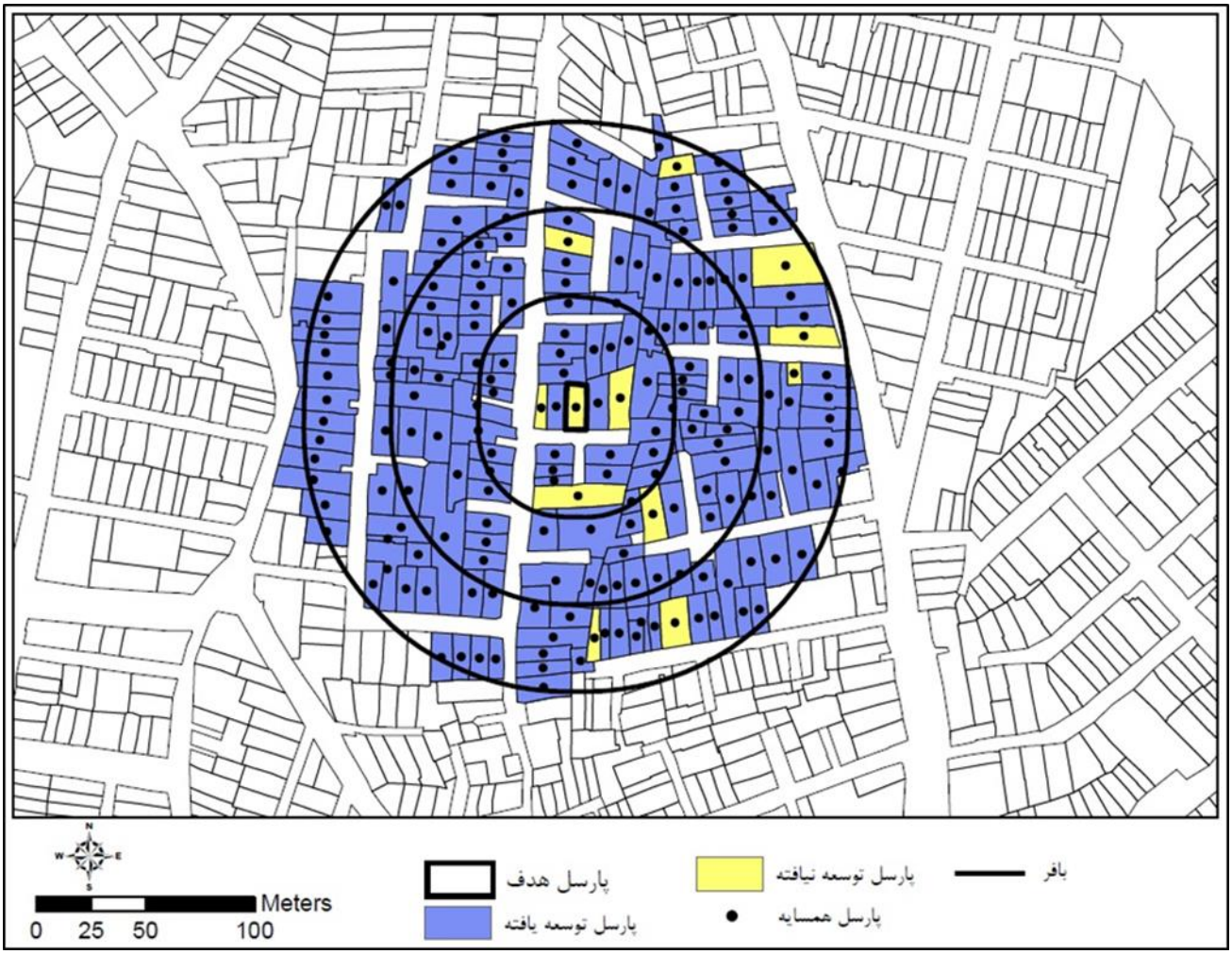
۳-۲-۲- دسترسی به راه‌های اصلی و فرعی

میزان دسترسی یک قطعه زمین به راه‌های اصلی و فرعی یکی دیگر از فاکتورهای اساسی در مدل‌سازی رشد سکونتگاه‌های غیررسمی می‌باشد به‌نحوی‌که مناطق با دسترسی بالاتر پتانسیل توسعه بالاتری نیز دارند. در این تحقیق دسترسی به راه‌های اصلی و فرعی بر اساس فاصله اقلیدسی هر پارسل از شبکه دسترسی محاسبه‌شده است. نقشه راه‌های اصلی و فرعی در شکل (۵ الف) نمایش داده‌شده است. مدل، فواصل اقلیدسی دسترسی را برای تمام پارسلهای منطقه مطالعاتی محاسبه و بر اساس مقادیر ماکزیمم و می‌نیمم و مطابق رابطه (۵) امتیاز دسترسی پارسلها (S_i^D) را بین مقادیر صفرتا ۱۰۰ نرمال‌سازی و محاسبه می‌کند.

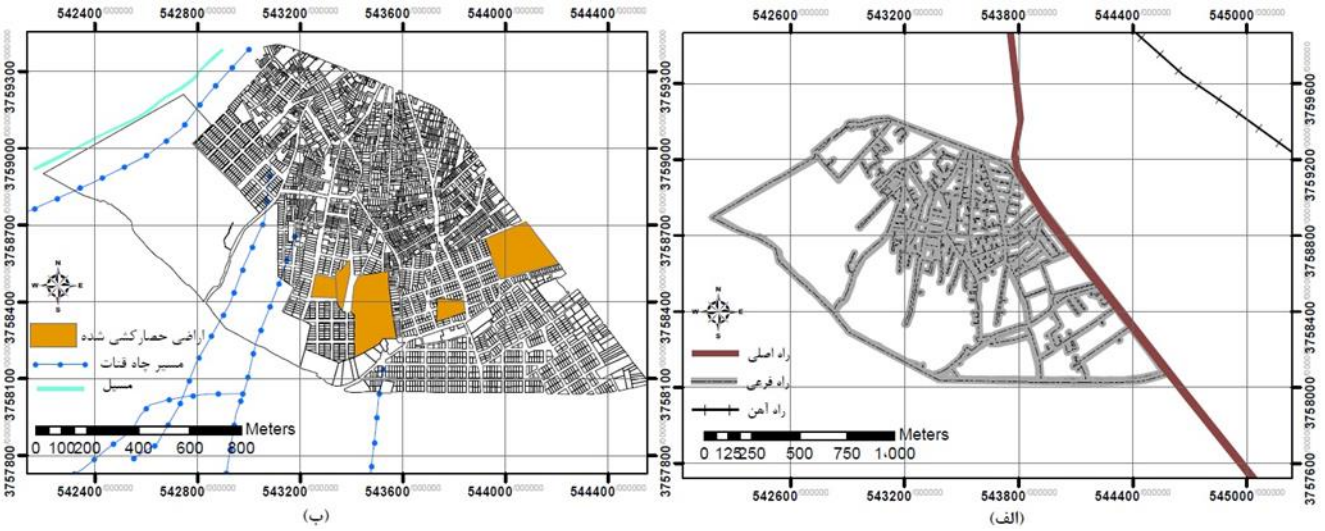
رابطه (۵) $$S_i^D = 100 - \frac{D_i - D_{min}}{D_{max} - D_{min}}$$



شکل ۳ : (الف): قبل از اجرای ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین, (ب): بعد از اجرای ابزار تقسیم‌بندی خودکار زمین



شکل ۴ : همسایگی مکانی وزندار برای هر پارسل در بافرهای ۴۰ ، ۸۰ و ۱۲۰ متری با وزنهای مختلف



شکل ۵ : (الف) : نقشه راههای اصلی و فرعی, (ب) : نقشه قیود و محدودیت‌های مکانی

۳-۲-۳- تناسب فیزیکی

یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر در محاسبه میزان پتانسیل پارسلها برای توسعه، تناسب فیزیکی است. هر چند در زمینه تناسب فیزیکی می‌توان پارامترهای گوناگونی را مانند اقلیم، پوشش گیاهی و... در نظر گرفت لیکن تغییرات محلی در اغلب این پارامترها چندان قابل توجه نیست. از آنجاییکه در این تحقیق مدلسازی در مقیاس محلی انجام می‌شود لذا سعی شده است از فاکتورهایی استفاده شود که حتی‌الامکان بیانگر تناسب فیزیکی منطقه مطالعاتی در مقیاس محلی باشند. در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های طرح جامع شهرستان کاشان[۱۶] فاکتورهای جنس خاک(شکل (۶ الف)) و شیب (شکل (۶ب)) در نظر گرفته شدند.

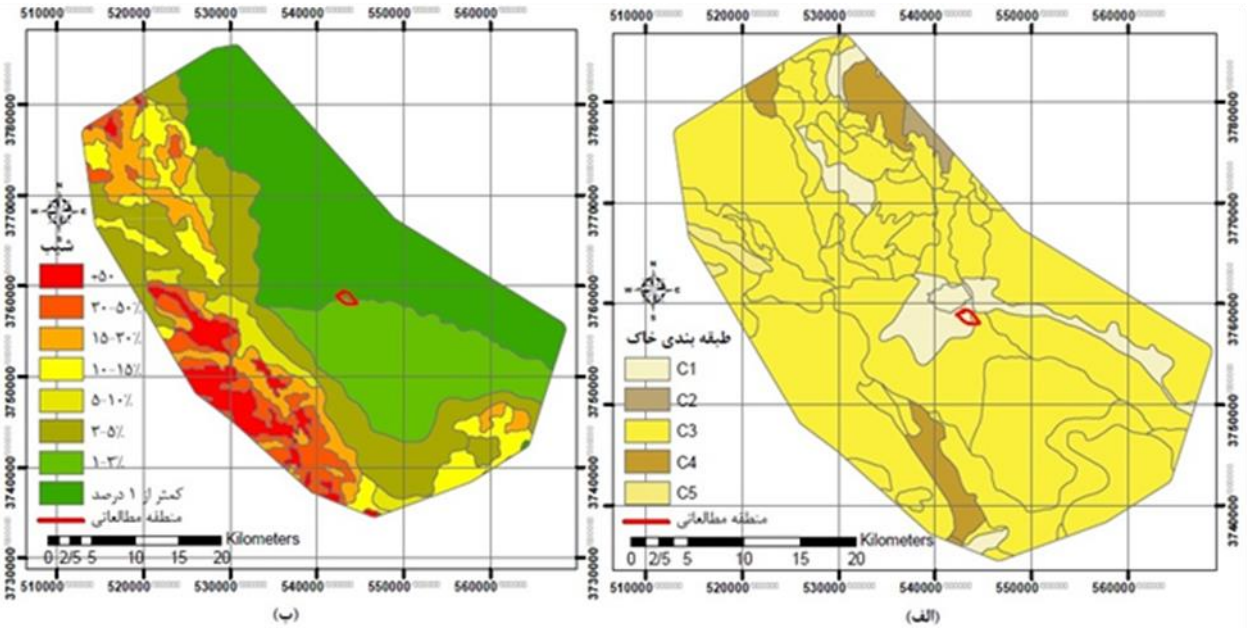
جدول ۱: امتیاز تناسب محیطی

شیب	جنس خاک	امتیاز تناسب محیطی
کمتر از ۱ درصد	C1	۱۰۰
کمتر از ۱ درصد	C3	۹۰
یک تا سه درصد	C1	۸۰
یک تا سه درصد	C3	۷۰

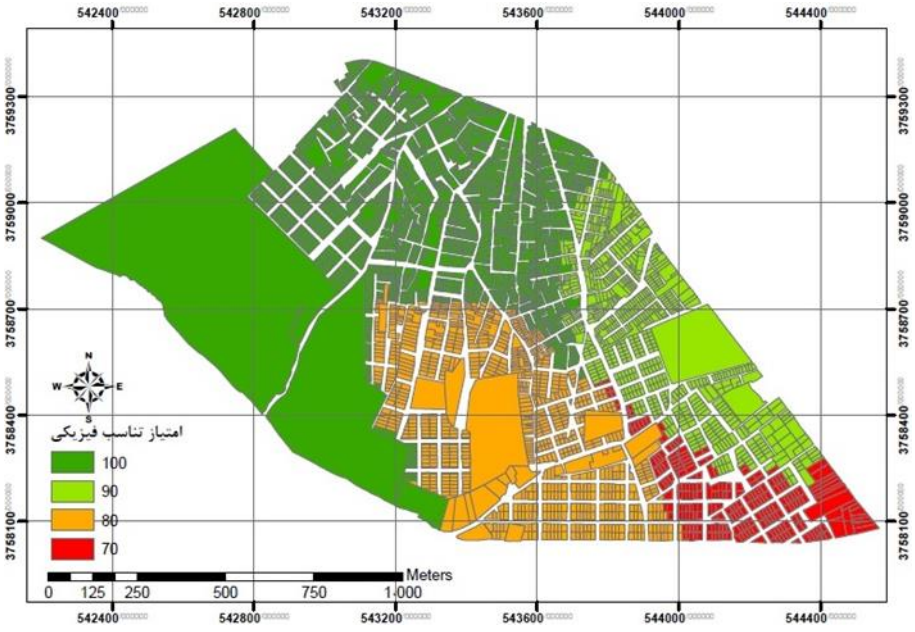
در نقشه کلاس‌بندی خاک عواملی نظیر قابلیت نفوذ، میزان سنگریزه، قلوه سنگ و تخته سنگ در سطح و عمق خاک، بافت خاک سطحی، عمق مؤثر خاک و... موردبررسی قرارگرفته است[۱۶]. همچنان که در شکل (۶) مشخص‌شده است منطقه مطالعاتی ازنظر جنس خاک در کلاس یک و سه واقع است. کلاس یک که ۷/۳ درصد از کل اراضی منطقه شهری کاشان را به خود اختصاص داده است دارای شیب ملایم۲-۰ درصد، بدون پستی وبلندی و فرسایش از تناسب محیطی بالایی برخوردار است. کلاس سه که بیشترین پهنه در محدوده طبیعی را شکل داده است با شیب عمومی ۲/۵ درصد، دارای پستی و بلندی و فرسایش بادی کم است و نسبت به اراضی کلاس یک از تناسب محیطی کمتری برخوردار می‌باشد[۱۶]. بنابراین مدل با توجه به محدوده مکانی هر پارسل امتیاز تناسب فیزیکی آن را (S_i^P) مطابق جدول (۱) محاسبه می‌کند(شکل (۷)).

۳-۲-۴- قیود و محدودیت‌های مکانی

در فرایند برنامه‌ریزی کاربری اراضی در یک پهنه از سرزمین، قیدها و محدودیت‌هایی وجود دارد که اجازه تغییر برخی کاربری‌ها به کاربری‌های دیگر را نمی‌دهد لیکن در فرایند رشد سکونتگاه‌های غیررسمی با مناطقی مواجه هستیم که بدون توجه به برنامه‌ریزی‌های رسمی شکل‌گرفته‌اند و شاید نتوان سیاست‌ها و محدودیت‌هایی را که در فرایندهای رسمی حاکم است در این مناطق مشاهده نمود لذا می‌بایست با بررسی وضع موجود و بازدید میدانی از منطقه تلاش نمود تا قیود و محدودیت‌های مکانی حاکم بر منطقه را حتی‌الامکان استخراج کرد. در تحقیق حاضر، با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، محدوده چاه‌های قنوات موجود در منطقه، محدوده مسیل و اراضی حصارکشی شده به‌عنوان سه قید و محدودیت مکانی به مدل معرفی شدند(شکل (۵ب)). مدل، فاصله تمام پارسلهای منطقه مطالعاتی را تا محدوده مسیل و چاه‌های قنوات محاسبه و بر اساس مقادیر ماکزیمم و مینیمم و مطابق معادله (۴) امتیاز مربوط به قیود و محدودیت مکانی (S_i^Z) هر پارسل را بین مقادیر صفر تا ۱۰۰ نرمال‌سازی و محاسبه می‌کند.



شکل ۶ : (الف) : نقشه جنس خاک, (ب) : نقشه شیب[۱۶]



شکل ۷ : امتیاز تناسب فیزیکی

۳-۳- تعریف عامل‌های خانوار

دسته‌بندی عامل‌های خانوار را می‌توان بر اساس فاکتورهای مختلفی مانند سطح درآمد، سطح تحصیلات و اشتغال انجام داد. هرکدام از این فاکتورها می‌توانند در سکونتگاه‌های رسمی شهری طیف متنوعی از عامل‌ها را ایجاد نمایند هرچند سطح درآمد افراد به‌صورت شفاف قابل احصاء نیست. ازآنجایی‌که این سه فاکتور کمابیش به یکدیگر وابسته هستند[۱۹] و از طرفی در سکونتگاه‌های غیررسمی تنوع چندانی در سطح درآمد افراد و سطح تحصیلات آن‌ها مشاهده نمی‌شود و خانوارهای ساکن در محلات فرودست شهری نیز عمدتاً

در بخش‌های غیررسمی فعالیت دارند [۱۵] لذا در این تحقیق عامل‌های خانوار به دو دسته کلی بر اساس محل فعالیت آن‌ها تقسیم‌بندی شدند:

- کارگرانی که در بازار و هسته مرکزی شهر فعالیت دارند و به دنبال زمین‌هایی هستند که به مرکز شهر نزدیک‌تر باشد
- کارگرانی که در مناطق صنعتی حاشیه شهر فعالیت دارند و به دنبال زمین‌هایی هستند که به این مناطق نزدیک‌تر باشد.

هرکدام از این افراد به‌عنوان سرپرست خانوارهایی در نظر گرفته‌شده‌اند که دارای اولویت‌های متفاوت در انتخاب زمین می‌باشند. پارسلها به‌عنوان عوامل مکانی بی‌حرکت در این مدل مقدار سودمندی خود را بر اساس اولویت‌های هر عامل و بر اساس تابعی محاسبه و به عامل‌های خانوار اعلام می‌کنند.

۳-۴- تابع سودمندی عامل‌ها

دخالت دادن نظریه‌های اجتماعی (مانند توابع سودمندی) در فرایند مدل سازی می‌تواند علاوه بر بهبود نتایج مدل سازی، برای تعریف قوانین تصمیم‌گیری عامل‌ها نیز استفاده گردد[۱۹]. براون و رابینسون تابع سودمندی کاب-داگلاس را برای تعیین مقدار سودمندی موقعیت‌های مکانی در یک مدل عامل مبنا ویرایش کرده‌اند [۱۹] که در این تحقیق نیز مطابق رابطه (۶) از آن استفاده شده است.

$$U_{r(x,y)} = \prod_{i=1}^{m}\left(1 - \left|\beta_i - \gamma_{i(x,y)}\right|\right)^{\alpha_{ir}} \quad (۶)$$

در این رابطه $U_{r(x,y)}$ مقدار سودمندی موقعیت (x,y) برای عامل r می‌باشد. α_{ir} وزن فاکتور i است و β_i اولویت آن را مشخص می‌کند. $\gamma_{i(x,y)}$ نیز مقدار فاکتور i برای موقعیت (x,y) است و m تعداد فاکتورهاست. در این تحقیق فاکتورهای تناسب کلی هر پارسل (که در بخش۳- ۲ نحوه محاسبه آن آمده است)، فاکتور مساحت پارسل، فاکتور تعداد همسایه‌های همنوع و فاکتور فاصله تا مناطق اقتصادی مرکز شهر و فاکتور فاصله تا مناطق صنعتی حاشیه شهر به‌عنوان پنج فاکتور مکانی اصلی برای محاسبه مقدار سودمندی هر پارسل (x,y) در نظر گرفته‌شده است.

۳-۵- تعاملات عامل‌ها و قوانین تصمیم‌گیری

سه نوع تعامل در مدل های عامل مبنا وجود دارد: عامل با عامل، عامل با محیط، محیط با محیط[۵]. در مدل ارائه‌شده دو نوع از این تعاملات شامل تعامل عامل با محیط و تعامل عامل با عامل در نظر گرفته‌شده است. تعاملات عامل‌ها با یکدیگر دارای دو رویکرد زیر است:

- جذب عامل‌های همنوع (یکی از فاکتورهای مؤثر در مقدار سودمندی پارسلها تعداد همسایه‌های همنوع است. همنوع بودن عامل‌ها در همسایگی یک پارسل منجر به افزایش سودمندی و جذابیت آن برای همان نوع از عامل‌ها خواهد شد)
- اخراج عامل غیر همنوع توسط عامل نوع دیگر وقتی‌که مقدار سودمندی یک پارسل برای عامل نوع دیگر بیشتر باشد.

در این پژوهش محیط به‌طور مکانی صریح و دارای ساختاری برداری است. پارسلها در مدل، به‌عنوان عامل مکانی بی‌حرکت، معرف قطعات زمینی هستند که عامل‌های خانوار آن‌ها را برای سکونت انتخاب می‌کنند. عامل‌ها بر اساس قوانین رفتاری‌شان عمل می‌کنند. تناسب کلی عامل‌های پارسل بر اساس یکسری فاکتورهای مکانی(که در بخش ۳-۲ نحوه محاسبه آن آمده است) تعریف شد. وضعیت فاکتورهای مکانی در طی فرایند اجرای مدل تغییر می‌کند و این تغییر بر رفتار عامل‌ها تأثیر می‌گذارد و به همین ترتیب نتیجه رفتار عامل‌ها نیز بر محیط اثرگذار است.

ابتدا عامل پارسل با لایه‌های مرتبط به هرکدام از فاکتورهای مکانی مشورت می‌کند و با توجه به موقعیت مکانی پارسل امتیاز تناسب آن را به‌صورت وزن‌دار محاسبه و دریکی از اقلام توصیفی پارسل

ذخیره‌سازی می‌کند. این قلم توصیفی پارسل به‌صورت دینامیک در گام‌های زمانی تغییر می‌کند. در مرحله بعد عامل‌های خانوار به مدل اضافه می‌شوند و وضعیت تعدادی از پارسلها را برای سکونت می‌سنجند. تعداد پارسلها برای جستجو در مدل به‌صورت دینامیک توسط کاربر قابل تنظیم است لیکن در نظر گرفتن فضای جستجوی محدود تطابق بیشتری با واقعیت دارد چراکه هر خانوار معمولاً تعداد محدودی از زمین‌ها را برای سکونت جستجو می‌کند.

اگر کل منطقه مورد بازدید عامل‌ها قرار گیرد مدل به یک مدل بهینه‌ساز تبدیل می‌شود درحالی‌که مدل عامل مبنا، یک مدل بهینه‌ساز نیست. عامل‌های خانوار در هر گام زمانی به‌صورت کاملاً آزاد و بدون قید وارد مدل می‌شوند. این رویکرد ازآن‌جهت درحرکت عامل‌ها در نظر گرفته‌شده است که تغییرات در سکونتگاه غیررسمی لزوماً در همسایگی‌های نزدیک اتفاق نمی‌افتد و غالباً شکل کالبدی گسسته و پراکنش نامنظم قطعات ساخته‌شده در این مناطق مشاهده می‌شود همچنین قطعات این بافتها عموماً ریزدانه هستند لذا فاکتور مساحت پارسل نیز به‌عنوان یکی از فاکتورهای اصلی در محاسبه مقدار سودمندی پارسلها در نظر گرفته شد تا پارسلهای با مساحت کمتر در شرایط یکسان از شانس بیشتری برای انتخاب توسط عامل‌ها برخوردار باشند. بعدازاینکه عامل‌ها تعداد محدودی از پارسلها را به‌صورت آزادانه کاوش کردند، سودمندی آن‌ها را محاسبه و ذخیره می‌کنند. سپس متغیر مربوط به عامل پارسلی که دارای بیشترین سودمندی است را به وضعیت "توسعه‌یافته" تغییر می‌دهند. عامل پارسل نوع عامل خانوار ساکن را نگه می‌دارد تا همسایه‌های آن پارسل بتوانند در گام‌های زمانی بعدی سودمندی بیشتری برای سکونت عامل‌های همنوع پارسل داشته باشند. در گام زمانی بعدی عامل‌ها دوباره به‌طور آزادانه وارد مدل می‌شوند و با عامل‌های پارسل تعامل می‌کنند. در این مرحله اگر پارسل توسط یک نوع از عامل خانوار اشغال‌شده باشد درحالی‌که سودمندی آن برای عامل دیگر بیشتر باشد رویکرد اخراج عامل غیر همنوع اجرا می‌شود و عامل جدید پارسل را اشغال می‌کند. عامل اخراج شده نیز به نزدیک‌ترین پارسل با ماکزیمم سودمندی نقل‌مکان می‌کند.

مکانیسم اخراج در سطح سکونتگاه‌های رسمی شاید کمی نامعمول به نظر برسد لیکن حاکم بودن شرایط اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی خاص در سکونتگاه‌های غیررسمی باعث می‌شود تا این مناطق از شخصیت ویژه‌ای برخوردار باشند بطوریکه از سایر روندهای معمول شهری متمایز باشد. معمولاً این محلات مأمن فقرای شهری هستند و همزمان مهاجران را در خود جای‌داده‌اند لذا فرهنگ حاکم و سبک زندگی و سایر عوامل، خانوارها را مجبور به سکونت در موقعیت‌هایی می‌کند که پذیرش آن‌ها را داشته باشد لذا این مکانیسم، مبتنی بر این مسئله در نظر گرفته‌شده است.

۴- پیاده‌سازی مدل و ارزیابی نتایج

همان‌گونه که پیش‌تر بدان اشاره شد برای پیاده‌سازی مدل از نرم‌افزار Agent Analyst استفاده‌شده است که با ادغام نرم‌افزار ریپست در نرم‌افزار آرک جی آی اس نسخه ۱۰.۱ قابلیت مدل‌سازی عامل مبنا را فراهم می‌سازد. کلاسهای اصلی جاوا مانند java.lang و همچنین اغلب کلاسهای ریپست مانند uchicago.src.sim.util.Random به‌صورت پیش فرض در Agent Analys وجود دارند[۱۰]. برای استفاده از قابلیتهای موجود در سایر کتابخانه های استاندارد جاوا که در نرم افزار موجود نمی باشد این امکان وجود دارد که بتوان آنها را بطور صریح در نرم‌افزار وارد کرد[۱۰]. در این تحقیق علاوه بر کلاسهای پیشفرض موجود در نرم افزار از کلاسهای دیگری مطابق جدول(۲) نیز استفاده شده است و به قابلیتهای نرم افزار اضافه شده است.

جدول ۲ : کلاسهای اضافه شده به نرم افزار Agent Analyst در مدل

قابلیت	کلاس جاوا
امکان بافرینگ استریمهای مبتنی بر کاراکتر را فراهم می‌آورد[۲۰]	java.io.BufferedReader
امکان تبدیل یک رشته به اجزاء تشکیل‌دهنده‌اش را فراهم می‌کند[۲۰]	java.util.StringTokenizer
متدهای لازم برای خواندن داده‌ها از یک جریان کاراکتری را فراهم می‌آورد [۲۰]	java.io.FileReader

از ویژگی‌های مدل توسعه داده‌شده، انعطاف‌پذیری آن است که به‌وسیله تعریف پارامترهای گوناگون برای تنظیم روابط مختلف مدل میسر گردیده است که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۴-۱- تنظیم مدل

برای وزن نقشه‌ها در محاسبه تناسب کلی هر پارسل در معادله (۲)، وزن پارسلهای همسایه در معادله (۳) و همچنین وزن فاکتورهای مؤثر برای محاسبه مقدار سودمندی هر پارسل در معادله (۶) یک مقدار اولیه انتخاب گردید و در ادامه با آزمودن انواع حالت‌های ممکن، بهترین مقادیر پارامترهای مورد آزمون تعیین گردید که در جدول (۳) قابل‌ملاحظه است. همسایگی پارسلها به‌صورت سه بافر با شعاع ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ متر به ترتیب با وزن‌های ۹، ۵ و ۳ محاسبه شد؛ در این محاسبه پارسلهایی که یال مشترک با پارسل مرکزی داشتند به‌عنوان پارسلهای همسایه آن در نظر گرفته شدند حتی اگر مراکز آن‌ها در هیچ‌کدام از بافرهای همسایگی قرار نگیرد.تعداد عامل‌ها در هر گام زمانی عملاً تقاضای اراضی را مشخص می‌کند که با توجه به توسعه صورت گرفته تعیین گردیده است. بدین صورت که مساحت توسعه‌یافته در منطقه مطالعاتی در سال ۱۳۹۲ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج و با مقایسه وضعیت مناطق ساخته‌شده نسبت به سال ۱۳۸۵ میزان توسعه به میزان ۳۶ هکتار مشخص و به‌عنوان تقاضای اراضی به مدل معرفی شد. مدل بر اساس سرانه کاربری مسکونی که در سکونتگاه غیررسمی مطالعاتی به ازا هر نفر ۴۵ مترمربع می‌باشد [۱۵] تعداد عامل‌ها را در هر گام زمانی مشخص می‌کند. سهم هر نوع از عامل‌ها از این تعداد به‌صورت مساوی و هر گام زمانی نیز یک سال در نظر گرفته‌شده است. عقلانیت محدود در رفتار عامل‌ها به این مفهوم است که تنها اطلاعات معینی در دسترس آن‌هاست و پایه تصمیم‌گیری عامل‌ها بر مبنای دانش محدود است[۱۹] و ازاین‌رو ممکن است انتخاب‌های عامل، بهترین انتخاب ممکن نباشد.

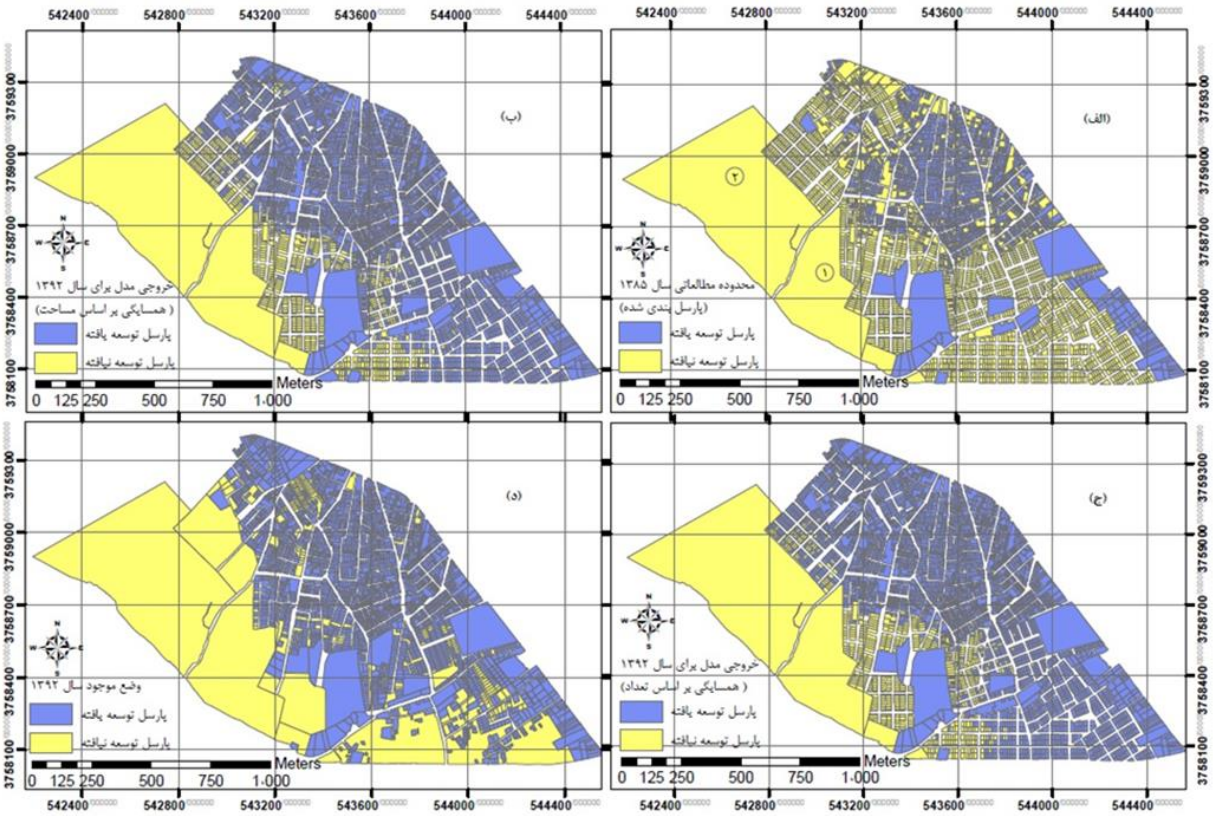
جدول ۳ : پارامترهای مورداستفاده در مدل

نوع عامل	پارسل	کارگر شهری	کارگر صنعتی
وزن نقشه دسترسی	۳	-	-
وزن تناسب محیطی	۲	-	-
وزن تأثیر همسایگی وزن‌دار	۴	-	-
وزن قیود و محدودیت مکانی	۲	-	-
تعداد پارسلهای جستجو	-	۲۰	۲۰
وزن مساحت پارسل	-	۷	۷
وزن تناسب کلی پارسل	-	۴	۴
وزن همسایه‌های همنوع	-	۹	۹
وزن فاصله از شهر/ ناحیه صنعتی	-	۶	۶

استفاده از عامل‌های خانوار در دو نوع مختلف به همراه توان محدود آن‌ها در جستجوی سرزمین، ابزار پیاده‌سازی عقلانیت محدود در مدل ارائه شده است. پس از آزمودن انواع حالت‌های ممکن، بهترین مقادیر تعداد پارسلهای جستجو مطابق جدول (۳) تعیین گردید.برای عامل کارگر شهری زمینی دارای سودمندی بیشتری است که تناسب کلی آن بالا باشد، ریز قطعه باشد، اکثریت ساکنان اطراف زمین همنوع با عامل باشند و به هسته مرکزی شهر نزدیک‌تر باشد. برای عامل کارگر صنعتی نیز زمینی دارای

سودمندی بیشتری است که همه شرایط بالا را داشته باشد و به نواحی صنعتی نیز نزدیک باشد. این قوانین تصمیم‌گیری با استفاده از انتخاب وزن فاکتورها مطابق جدول (۳) پیاده‌سازی گردیده است. مدل دارای طبیعتی تصادفی است و ۱۰ بار برای هر سناریو تکرار گردید. هر پارسل ممکن است در هرکدام از اجراهای مدل توسعه یابد و یا در هیچ‌کدام از آن‌ها توسعه پیدا نکند بنابراین احتمال توسعه هر پارسل بین صفرتا صد درصد متغیر است.در شکل‌های (۸-الف) و (۸–د) نقشه‌های وضع موجود سکونتگاه غیررسمی در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۲ نشان داده‌شده است. به دلیل عدم دسترسی به داده‌های مناسب و به‌روز در این زمینه از نقشه ها و داده های برداری طرح جامع منطقه که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای به‌روز شده‌اند استفاده گردیده است.

همچنین نتایج خروجی مدل بر اساس دو سناریو شامل مساحت و تعداد همسایگی برای کلیه پارسلهایی که احتمال توسعه ۵۰ درصد به بالا را کسب کرده اند در شکل‌های (۸–ب و ۸- ج) نمایش داده شده است.



شکل ۸ : رشد سکونتگاه غیررسمی از نظر وضعیت توسعه اراضی

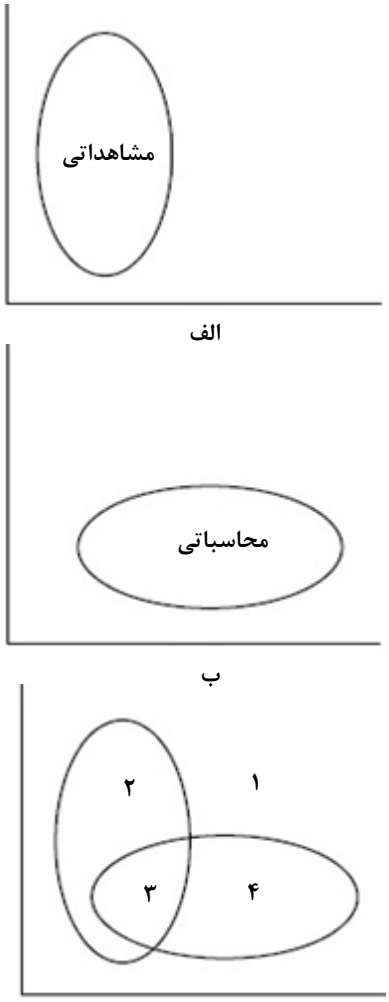
۴-۲- ارزیابی نتایج

برای ارزیابی نتایج، خروجی مدل برای سال ۹۲ با داده‌های واقعی همان سال در منطقه مطالعاتی مقایسه گردید. در این تحقیق از ماتریس خطا[1] برای بررسی دقت مکانی مدل استفاده شد. ماتریس خطا شامل آرایه‌ای مربعی از سلول‌هاست که

[1] Error Matrix

مقادیر مربوط به مساحت مناطق تطبیق یافته و تطبیق نیافته مدل و واقعیت را نشان می‌دهد. ازآنجایی‌که این مطالعه از داده‌های برداری استفاده می‌کند لذا برای تعیین مقادیر ماتریس خطا از تکنیک همپوشانی اجتماع[1] استفاده‌شده است و همپوشانی نقشه‌های مدل و واقعیت در سیستم اطلاعات مکانی انجام شد. مساحت‌هایی که در تقاطع مشترک هر دو نقشه قرار گرفتند (اعم از اراضی توسعه‌یافته یا غیر توسعه‌یافته) نشان‌دهنده مناطقی هستند که تطابق کامل دارند.

همچنان که در شکل (۹) مشخص‌شده است پلیگون جدید ایجادشده شماره ۳ که در هر دو نقشه مشاهداتی (شکل (۹- الف)) و محاسباتی (شکل (۹- ب)) مشترک است به‌عنوان مساحت تطابق یافته نشان‌دهنده دقت نقشه محاسباتی است. پلیگونهای ۲ و ۴ در شکل (۹- ج) به ترتیب نشان‌دهنده خطاهای حذف[2] و افزودن[3] هستند[۲۱]. در این تحقیق، همان‌گونه که پیش‌تر بدان اشاره شد، دو سناریو برای همسایگی وزن‌دار لحاظ گردید. اثر همسایگی در سناریو اول بر مبنای تعداد همسایه‌های مجاور در نظر گرفته شد و در سناریوی دوم مساحت آن‌ها ملاک عمل قرار گرفت.بر اساس ماتریس خطا، شاخص های دقت کاربر و دقت تولیدکننده و دقت کلی برای هر دو سناریو محاسبه و در جدول (۴) مشخص شده است.

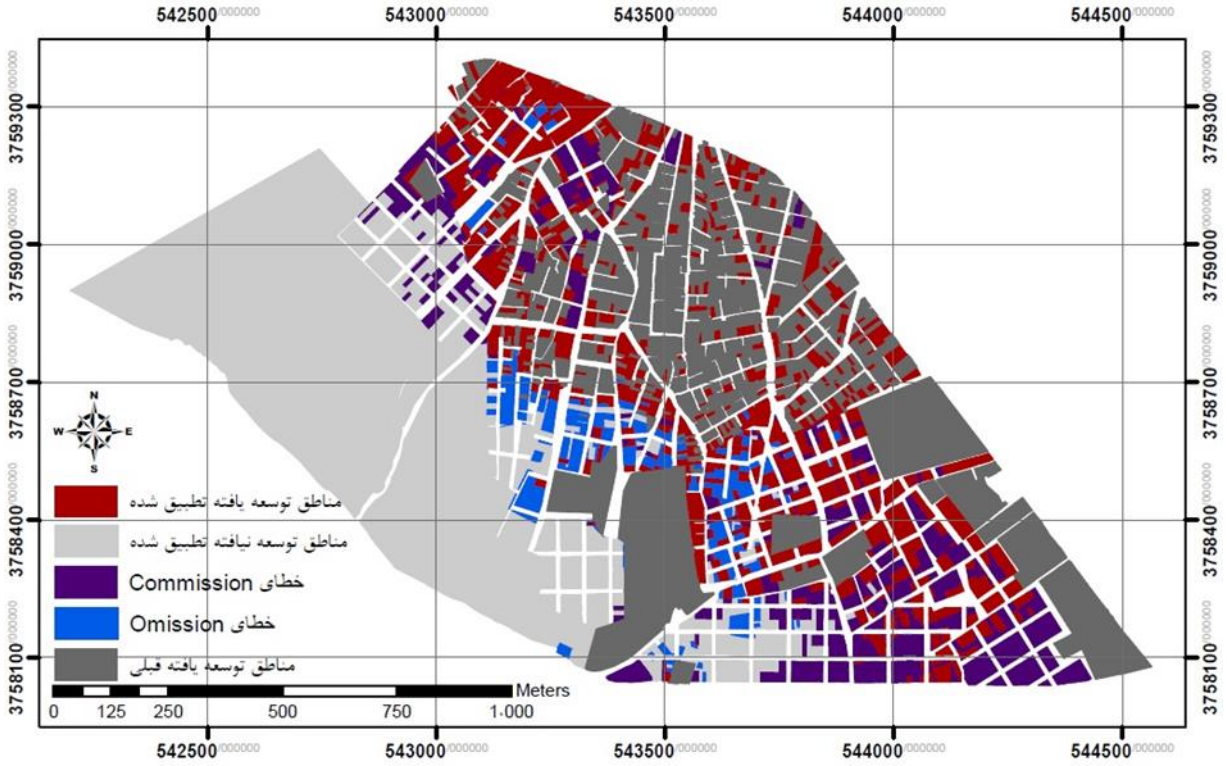


شکل ۹ : مثالی از ارزیابی خطا با استفاده از تکنیک همپوشانی مکانی پلیگونها [۲۱]

[1] Union
[2] Omission
[3] Commission

جدول ۴ : ارزیابی دقت خروجی مدل مساحت همسایگی (مقادیر داخل پرانتز مربوط به خروجی مدل تعداد همسایگی است)

		مشاهدات (هکتار)			
		توسعه یافته	توسعه نیافته	جمع ردیف	دقت کاربر(٪)
نتایج مدل (هکتار)	توسعه‌یافته	۶۴(۶۳)	۱۵(۱۶)	۷۹(۷۹)	۸۱(۸۰)
	توسعه‌نیافته	۴(۵)	۵۴(۵۲)	۵۸(۵۷)	۹۳(۹۱)
	جمع ستون	۶۸(۶۸)	۶۹(۶۸)	۱۳۷(۱۳۶)	
	دقت تولیدکننده(٪)	۹۴(۹۳)	۷۸(۷۶)		۸۶(۸۴)



شکل ۱۰ : نمایش دقت مدل و خطاهای Omission وCommission در مدل مساحت همسایگی

جدول ۵ : دقت مدل‌ها و خطاها

	مدل مساحت همسایگی (هکتار)	مدل تعداد همسایگی (هکتار)
دقت مدل	۳۴(٪۶۵)	۳۱(٪۶۰)
خطای حذف	۴(٪۸)	۵(٪۱۰)
خطای افزودن	۱۴(٪۲۷)	۱۶(٪۳۰)

نتایج نشان می‌دهد که دقت کلی برای سناریو مساحت و سناریو تعداد به ترتیب ۸۶٪ و ۸۴٪ می‌باشد. بنابراین محاسبه اثر همسایگی در مقیاس محلی به‌صورت مساحت مبنا نسبت به محاسبه اثر همسایگی بر اساس تعداد پارسلهای مجاور می‌تواند منجر به بهبود دقت مکانی مدل شود و آن را به واقعیت نزدیک تر کند. محاسبه دقت در هر دو مدل تحت تأثیر مناطقی است که از قبل توسعه‌یافته بوده و به مدل معرفی‌شده‌اند. در اینجا منظور از مناطق توسعه‌یافته قبلی مناطقی است که در داده های ورودی مدل توسعه‌یافته

بوده‌اند. همچنین مناطق ۱و۲ در شکل (۸-الف) که به‌عنوان مناطق توسعه‌نیافته در نظر گرفته‌شده‌اند و پارسل‌بندی خودکار زمین در مورد آن‌ها اجرا نشده است نیز در محاسبه دقت دخالت داشته اند. اگر مقدار مساحت مناطق از قبل توسعه‌یافته و مناطق ۱ و ۲ را از ماتریس خطا حذف کنیم دقت مدل برای سناریوهای همسایگی بر اساس مساحت و تعداد به ترتیب ۶۵٪ و ۶۰٪ به دست می‌آید. این نتایج نیز حاکی از آن است که برای توسعه یک پارسل در مقیاس محلی مساحت همسایه های توسعه‌یافته آن بیش از تعداد آن ها تأثیرگذار است. در شکل (۱۰) نتایج دقت خروجی مدل مساحت همسایگی و خطاهای حذف و افزودن بصری سازی و نمایش داده شده است. در جدول (۵) نیز دقت مدل‌ها و خطاها به همراه مساحت‌ها و درصدهای مربوطه ارائه‌شده است.

در این تحقیق به منظور ارزیابی کارایی[1] مدل در پیش‌بینی رشد سکونتگاههای غیررسمی از کمیت‌سنجهای ریکال[2] و دقت[3] نیز مطابق رابطه (۷) استفاده شده است[۲۲]:

رابطه (۷)

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad , \quad Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

در این معادله، TP بعنوان مثبت حقیقی[4] بیانگر مساحت زمینهای توسعه یافته‌ای است که به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند. FP بعنوان مثبت کاذب[5] بیانگر مساحت زمینهای توسعه نیافته ایست که مدل آنها را توسعه یافته پیش‌بینی کرده است و FN بعنوان منفی کاذب[6] بیانگر مساحت زمینهای توسعه یافته ایست که مدل آنها را توسعه نیافته تلقی کرده است. در جدول (۷) نتایج ارزیابی کارایی مدل ارائه شده است و برای ارزیابی دقیقتر، مقدار مساحت مناطق توسعه‌یافته قبلی و مناطق ۱و۲ از محاسبات حذف شده است.

جدول ۶ : ارزیابی کارایی مدل

	مدل مساحت همسایگی (درصد)	مدل تعداد همسایگی (درصد)
ریکال	٪۸۵	٪۸۱
دقت	٪۶۱	٪۵۷

برای اینکه مدل رشد سکونتگاههای غیررسمی دارای کارایی مناسبی باشد باید بتواند اراضی توسعه یافته را به خوبی تشخیص دهد به عبارت دیگر باید حساسیت بالایی نسبت به اراضی توسعه یافته واقعی داشته باشد تا بتواند به خوبی این اراضی را غربالگری کند. همچنانکه در جدول (۷) مشاهده می‌شود مدل ارائه شده علی‌الخصوص در حالت مساحت همسایگی نتیجه مطلوبی برای کمیت ریکال به‌دست داده است. هدف این تحقیق ارائه مدلی برای "رشد" سکونتگاههای غیررسمی است لذا مدل به گونه ای طراحی گردیده است که دارای حساسیت بالایی نسبت به اراضی "توسعه یافته واقعی" باشد و در نتایج مدلسازی حتی‌الامکان هیچ یک از این اراضی را از دست ندهد لذا این رویکرد منجر به افزایش نسبی مقدار مثبت کاذب در نتایج مدلسازی و بالتبع کاهش مقدار دقت شده است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌که بافت سکونتگاه‌های غیررسمی دارای سیستمی پیچیده و پویاست لذا برای شبیه‌سازی فرایند رشد آن به مدل‌هایی نیاز است که بتواند تأثیر رفتارها و تصمیم‌گیری‌های فردی را لحاظ نماید. در این پژوهش از مدل‌سازی عامل مبنا برای طراحی و پیاده‌سازی فرایند رشد سکونتگاه غیررسمی استفاده گردید. در این مدل عامل‌های تصمیم‌گیر با عامل‌های پارسل ترکیب شدند و مدل‌سازی در مقیاس کاداستری انجام گردید. تصمیم‌گیری انتخاب مکان توسط افرادی انجام گرفت که در شهر و یا حاشیه شهر

[1] Performance Evaluation
[2] Recall
[3] Precision
[4] True Positive
[5] False Positive
[6] False Negative

فعالیت داشتند و موقعیت‌هایی را انتخاب می‌کردند که به محل فعالیتشان نزدیک‌تر باشد. از آنجاییکه در این تحقیق مدلسازی رشد سکونتگاههای غیررسمی در مقیاس محلی مد نظر است و بافتهای سکونتگاههای غیررسمی نیز غالباً ریزدانه هستند لذا اثر همسایگی در فرایند مدلسازی بصورت جزئی مورد بررسی قرار گرفت و فواصل همسایگی به‌صورت وزن‌دار و در سه شعاع ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰متر و با وزن‌های متغیر تعریف گردید.

نتایج مطلوب دقت تولیدکننده، دقت کاربر و دقت کلی نشان داد که این مدل قادر به شبیه‌سازی فرایند رشد سکونتگاه غیررسمی در مقیاس محلی می‌باشد.این تحقیق نشان داد هر چند برای توسعه یک قطعه زمین در مقیاس کاداستری تعداد همسایه‌های توسعه یافته آن اهمیت دارد لیکن مقدار مساحت همسایه‌های توسعه‌یافته نقشی پررنگ‌تر از تعداد آن‌ها دارد. همچنین یافته‌های این تحقیق بیانگر آن است که پارسلهای توسعه‌یافته واقع در شعاع ۱۲۰ متری همسایگی پارسل هدف متناسب با فواصلشان تا پارسل هدف تأثیر متغیری بر روند توسعه‌یافتگی آن پارسل دارند.

در این تحقیق مدل به گونه‌ای طراحی گردیده است که دارای حساسیت بالایی نسبت به اراضی "توسعه یافته واقعی" است و در نتایج مدلسازی حتی‌المقدور هیچ یک از این اراضی را از دست نمی‌دهد. این رویکرد از آن جهت در نظر گرفته شده است که هدف این تحقیق ارائه مدلی برای رشد سکونتگاههای غیررسمی است که نتایج ارزیابی نشان داد مدل دارای کارایی لازم در این زمینه می‌باشد.

در این تحقیق مدل‌سازی در سیستم اطلاعات مکانی برداری و زمانمند[1] پیاده‌سازی گردید. در سیستم اطلاعات مکانی برداری علاوه بر استفاده از مدل داده‌برداری از آنالیزهای مکانی برداری نیز استفاده شده است. با این وجود، مدل ارائه‌شده دارای برخی محدودیت‌هاست که بررسی آنها می‌تواند به‌عنوان پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده مدنظر قرار گیرد.

توسعه یک ماژول خودکار که با استفاده از رگرسیون منطقی وزن‌های مورداستفاده در مدل را به‌صورت خودکار محاسبه و به مدل معرفی نماید می‌تواند کارایی سیستم را بهبود بخشد. همسایگی در این تحقیق به‌صورت سه بافر با وزن‌های متفاوت تعریف گردید که در تحقیقات آینده می‌تواند تعاریف دیگری از همسایگی برای مدل‌سازی مدنظر قرار گیرد.

استفاده از عامل‌هایی با رفتار پیچیده‌تر که انطباق بیشتری با رفتار توسعه‌دهندگان زمین پیدا کنند و همچنین ایجاد روشی برای تبادل تجربیات عامل‌ها نیز مستلزم تحقیقات بیشتر است. این مطالعه در ساختار برداری و در مقیاس محلی انجام‌گرفته است که می‌توان عملکرد آن را در مناطق دیگر بازآزمایی کرد و برای کارهای آینده نیز می‌توان مدل‌سازی را در سطحی وسیع‌تر و در مقیاس منطقه‌ای انجام داد.

[1] Temporal

مراجع

[1] UN-HABITAT, The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003, London: Earth scan and UN-Habitat, 2003..

[2] UN-HABITAT, SUF Handbook Design Phase: Volume 1: An Approach to Financial Action Planning for Slum Upgrading and New Low-Income Residential Neighbourhoods. Nairobi: UN-HABITAT, Slum Upgrading Facility, 2006.

[3] M. Sarrafi, "Regularizing Informal Settlements In Light Of Good Urban Governance in Iran", Journal of urban development and organization-HaftShahr, Vol. 23-24 summer, pp. 4-13, 2008 (Persian).

[4] http://www.unhabitat.org.ir/

[5] O.O. Vincent, "Exploring Spatial Growth Pattern of Informal Settlements Through Agent-based imulation", Master's thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands. 2009.

[6] A. Patel, A. Crooks, N. Koizumi, "Slumulation: An agent-based modeling approach to slum formations". Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 15(4), 2. 2012.

[7] E. W. Augustijn-Beckers, J. Flacke, B. Retsios, "Simulating informal settlement growth in Dar es Salaam, Tanzania: An agent-based housing model". Journal of Computers Environment and Urban Systems, 35(2), 93-103, 2011.

[8] J. Jafari, "Agent based modeling of informal settlement growth", Master's thesis, K.N.T University of technology Faculty of geodesy and geomatic, Tehran, 2011 (Persian).

[9] J. Barros, "Exploring urban dynamics in Latin American cities using an agent-based simulation approach" in: Agent Based Models of Geographical Systems. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, M. Batty, Netherlands: Springer, pp. 571-589, 2012.

[10] K. Johnston, Agent-analyst: Agent-based Modeling in ArcGIS. ESRI Press, Redlands, California, 2013.

[11] K.C. Clarke, "Cellular Automata and Agent-Based Models". In: Handbook of Regional Science. M. Fischer, P. Nijkamp, Heidelberg: Springer, pp. 1217-1233,2014.

[12] C.M. Macal, M.J. North, "Tutorial on agent-based modelling and simulation", Journal of simulation, Vol. 4(3), pp.151-162, 2010.

[13] N. Gilbert, Agent-based models (quantitative applications in the social sciences). London: SAGE Publications Inc, 2007.

[14] P. M. Torrens, "Agent-based Models and the Spatial Sciences". Journal of Geography Compass, Vol. 4(5), pp.428-448, 2010.

[15] Municipality of Kashan, Studies of organizing and empowerment informal settlements of Kashan: On a scale of region and city with emphasis on urban poverty and identification of informal settlements, First Edition, Kashan, 2011 (Persian).

[16] Road and Urban Development Isfahan, Master Plan for Housing and Urban Development kashan city, Vol. 1-6, Isfahan, 2006 (Persian).

[17] K.R. Dahal and T.E.Chow,"A GIS toolset for automated partitioning of urban lands". Journal of Environmental Modelling & Software, Vol.55, pp. 222–234, 2014.

[18] K.R. Dahal and T.E.Chow, "Characterization of neighborhood sensitivity of an irregular cellular automata model of urban growth", International Journal of Geographical Information Science, Vol. 29(3), pp.475-497, 2015.

[19] G. Young, "Socioeconomic Analysis of Informal Settlement Growth in Dar es Salaam", Master's thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands, 2010.

[20] H. M. Deitel, P. J. Deitel, How to Program

Java. 10th edition, Prentice Hall, New Jersey, 2015.

[21] K.R. Dahal, T.E.Chow, "An agent-integrated irregular automata model of urban land-use dynamics", International Journal of Geographical Information Science, Vol. 28(11), pp. 2281-2303, 2014.

[22] DL. Olson, D. Denle, Advanced data mining techniques. first edition, Springer Science & Business Media; 2008.

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.4, No.1, Spring 2016

Multi-Agent Based Modeling of Informal Settlements Growth in Vector GIS

Mehrdad Bijandi [1], Mohammad Karimi*[2]

1- Ms.c student of GIS, Faculty of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology
2- Assisstant professor in Department of GIS, Faculty of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology (Center of Excellence in Geospatial Information Technology)

Abstract

One of the most complex issues of urban planning is informal settlement which is a multidimensional phenomenon with multiple indices. The spatial growth of informal settlements is affected by complex internal and external drivers. Combined use of GIS and agent based model as an approach of this research might be an adequate strategy for modeling these process. The purpose of this study is modeling informal settlement growth of the phenomenon on a cadastral scale in vector GIS, using land parcel agents and decision maker agents. Two scenarios were considered for defining the neighborhood effects and results of modeling were investigated and were evaluated for these scenarios. In this model decision maker agents as moving agents include people who are working in the downtown core and those who are working in industrial suburb areas.They search the surroundings to find suitable land for housing. Land parcel agents as immobilizing agents calculate their total suitability using spatial factor based on the preferences of decision maker agents. The proposed model was implemented on one of the informal settlements districts in the city of Kashan, Isfahan province, Iran. Evaluating results with actual data indicated that the proposed model was able to predict the informal settlements growth with 86% overall accuracy. This study indicated that although the developed neighboring numbers are important to develop a land parcel on cadastral scale, but developed neighborhood areas have a greater role than their numbers. The findings of this research also indicate that developed parcels located within the radius of 120 meters of a target land parcel have different effects on the development of target parcel proportional to their distances.

Key words: modeling, agent based, informal settlements, vector GIS, kashan.

Correspondence Address:Department of Geospatial Information System, Faculty of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
Tel: +98 21 88770218
Email: mkarimi@kntu.ac.ir