



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

doi: <https://dx.doi.org/10.22067/jgrd.2023.74275.1098>

مقاله پژوهشی-مطالعه موردی

مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال بیستم و یکم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، شماره پیاپی ۴۲

شناسایی عوامل محرک گسترش و رشد آتی محدوده‌های شهری (نمونه موردی گسترش محدوده شهر زاهدان)

عطاله اکبری (گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران)
محمد اسکندری ثانی (گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، نویسنده مسئول)
مرتضی اسماعیل نژاد (گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران)

صص ۳۸ - ۱

چکیده

اهداف: هدف این پژوهش ارزیابی و شناسایی روند الگوهای تاریخی رشد شهر، شبیه‌سازی و پیش‌بینی اندازه و نحوه رشد آینده شهر زاهدان است؛ و به دنبال بررسی و شناسایی عوامل مداخله‌گر در تعیین جهت هوشمندانه محدوده‌های شهری و قصد پاسخ‌گویی به این سوال کلیدی است؛ که آیا رشد محدوده شهری زاهدان مطابق با الگوهای تدارک و برنامه‌ریزی شده و همسان با جمعیت است.

روش: پژوهش حاضر از طریق جمع‌آوری داده‌های اسنادی و تصاویر سنجنش‌ازدور ماهواره لندست طی دوره‌های ده‌ساله زمانی از ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ و کاربست مدل SLEUTH-3R جهت بررسی روند رشد محدوده شهر در گذشته و پیش‌بینی آینده آن تا سال ۱۴۳۰ و استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی ArcGIS و Envi انجام شد.

یافته/نتایج: نتایج نشان داد روند رشد تاریخی شهر زاهدان بیشتر براساس رشد ارگانیک، رشد براساس گرایش به جاده و رشد مناطق شهری به صورت لبه‌ای و

رشد آتی شهر به صورت درونی و سپس در کناره‌های بافت موجود خواهد بود. نتایج رشد آینده شهر زاهدان نشان داد که رشد بیشتر به سمت غرب و بخش‌هایی از جنوب خواهد بود که با در نظر گرفتن مطلوبیت توسعه اراضی در نیمه غربی الگو و میزان رشد محدوده در آینده را منطقی و مناسب می‌نماید. نتایج برآوردهای آتی رشد محدوده کالبدی و جمعیتی نشانگر کاهش تراکم جمعیت به میزان ۵۷ نفر در هکتار از ۸۹ نفر در هکتار خواهیم بود. این مقدار نشانگر سبقت میزان رشد فیزیکی شهر از رشد جمعیتی آن و به معنای گسترش افقی شهر و پراکنده‌رویی بیش از حد شهر زاهدان است.

نتیجه‌گیری: باتوجه به پژوهش انجام شده و پیش‌بینی روند گسترش افقی و کمی رشد محدوده شهر بدون توسعه راهبردی همه‌جانبه و هم‌راستا با برنامه‌های شهری در نظر گرفته شده بهترین گزینه برای توسعه شهر زاهدان، توسعه درونی یا توسعه میان‌افزا است که بر زمین‌های بایر و خالی درون شهر اتفاق می‌افتد.

کلمات کلیدی: رشد شهر، مدلسازی، شبیه‌سازی، مدل SLEUTH-3R، شهر زاهدان.

۱. مقدمه

گرایش به شهرنشینی به دلیل افزایش جمعیت در اغلب مناطق جهان به شدت در حال گسترش است (کوهن، ۲۰۰۶)^۱. براساس گزارش سازمان ملل متحد از سال ۲۰۰۷، بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود میزان جمعیت شهرنشین جهان تا سال ۲۰۳۰ به ۶۰ درصد برسد (سازمان ملل، ۲۰۲۰)^۲. رشد سریع جمعیت، شهرنشینی و پیامدهای ناشی از آن در شهرها، پدیده‌های انکارناپذیر است؛ چراکه شهرها به پیروی از نقش و موقعیت جدیدی که پیدا کرده‌اند، شکل‌های تازه‌ای از زندگی اجتماعی را بر خود و فضای پیرامونی خویش تحمیل می‌کنند که آثار آن بر آب و هوا، محصولات کشاورزی، بهداشت عمومی و عدالت اجتماعی تاثیرگذار است (اسفنده، دانه‌کار و سلمان

1. Cohen

2. United Nations

ماهینی، ۱۴۰۰، ص. ۵۳) هنگامیکه شهرها از نظر اندازه و تعداد جمعیت رشد می‌کنند، توجه به هماهنگی میان جنبه‌های کالبدی، اجتماعی و محیط‌زیستی آن‌ها بسیار حائز اهمیت است و پایداری شهر در گرو همخوانی میان این عوامل خواهد بود. در این میان محیط‌زیست به عنوان بستر توسعه نقش بسزایی در روند شکل‌گیری شهرها دارد و بهره‌مندی از محیط‌زیست سالم و بوم‌سازگان‌های پایدار نه تنها تأمین‌کننده نهاده‌های لازم در فرآیند توسعه است، بلکه فراهم‌کننده محیطی مناسب برای زیستن بشر و شرکت مناسب او در این فرآیند خواهد بود (میرقعی، ۱۳۸۹، ص. ۱۲؛ رسولی و کامیاب، ۱۳۹۵، ص. ۳). همانطور که گفته شد، توسعه شهری و تغییرات الگوی کاربری زمین باعث ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و محیط‌زیستی می‌گردد. این تأثیرات شامل کاهش فضاها، طبیعی، تجمع وسایل نقلیه، کاهش زمین‌های کشاورزی با توان تولید بالا، تأثیر بر زهکش‌های طبیعی و کاهش کیفیت آب و تغییر اقلیم محلی است، لذا درک چگونگی تغییرات پوشش و کاربری زمین، چه از نظر کمیت تغییرات و چه از نظر الگوی مکانی آن‌ها به دلیل اثرات گسترده بر محیط‌زیست، چرخه‌های آبی و زیستگاه‌های طبیعی، حیاتی به نظر می‌رسد (کامیاب، سلمان‌ماهینی و غلامعلی‌فرد، ۱۳۹۰، ص. ۱۰۰).

شهر زاهدان به‌عنوان بزرگترین شهر در جنوب شرق ایران یکی از بی‌قاعدترین روندها در گسترش فیزیکی شهری را طی سه دهه گذشته در ایران دارا بوده است (ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۳، ص. ۳). به‌ادعان کارشناسان اداره اتباع و مهاجرین خارجی شهرستان زاهدان جمعیت این شهر در حال حاضر به مرز یک میلیون نفر رسیده و به‌طور متوسط سالانه ۶/۶ درصد رشد داشته است و در حال حاضر طبق نتایج مرکز آمار ایران (۱۳۹۵) بخش بزرگی از جمعیت شهری آن حاشیه‌نشین است. مساحت محدوده قانونی شهر زاهدان در سال ۱۳۸۴ تقریباً ۶۴۶۸/۵ هکتار بوده است که بخش وسیعی از آن به کاربری‌های آموزشی، درمانی، ورزشی و اداری تعلق داشته و بخشی نیز مربوط به اراضی بایر، باغات و اراضی کشاورزی در داخل محدوده و در میان بافت داخلی شهر است (جمشیدزهی شه‌بخش و قنبری، ۱۳۹۹، ص. ۹۳). علاوه بر مساحت محدوده قانونی، سطحی در حدود ۳۹۶/۶ هکتار نیز در خارج از محدوده قانونی است که روستاهای همجوار و سطوح بیمارستانی، مذهبی و... را تشکیل می‌دهند. بنابراین کل محدوده مورد مطالعه در حال حاضر ۶۸۶۵/۲ هکتار است که ۹۴/۲ درصد آن در

داخل محدوده و ۵/۷ درصد در خارج از محدوده قرار دارد. محدوده مطالعاتی فوق را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. خزش شهر ناشی افزایش جمعیت ۴۰ درصدی که نشان می‌دهد درحال حاضر ۲۰۰ هکتار از محدوده خارج از قانونی شهر به محدوده قانونی اضافه شده که هم‌اکنون در زمره حاشیه شهر قرار دارند و باتوجه به رشد شهر در آینده نزدیک نیز روند روبه‌رشدی را طی می‌کنند. بنابر آنچه بیان شد شهر زاهدان باتوجه به وسعت محدوده شهر و هجوم متصرفین و عدم تصویب قوانین اجرایی قوی شکل هندسی حریم دایما دستخوش تصرفات و مالکیت‌های بخش عمومی و خصوصی قرار گرفته و هدایت و توسعه شهر را تحت تاثیر قرار داده و اجرای بسیاری از برنامه‌های توسعه آتی را با چالش جدی مواجه می‌کند از آنجایی که درجهت رفع این مشکلات برنامه‌ها و طرح‌های متعدد ارایه گردیده، اما اثرگذار نبوده است، پژوهش حاضر قصد دارد به ارزیابی و شبیه‌سازی رشد شهر زاهدان طی دوره‌های زمانی تاریخی بپردازد و بر این اساس امکان تعیین جهت هوشمندانه گسترش محدوده شهر را میسر و عوامل مداخله‌گر در این تغییرات را شناسایی کند.

۲. مبانی تحقیق

مدل‌ها، ابزار مناسبی برای بیان پیچیدگی فرآیندهای توسعه در بیانی ساده هستند. از ویژگی‌های بارز فرآیند رشد شهری متغیر بودن آن در بستر زمان و مکان است. از آنجا که مدل‌سازی اینگونه فرآیندها توسط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی که در ابتدا برای کار با داده‌های مکانی (بدون قید زمان) توسعه یافته‌اند، صورت می‌گیرد، بنابراین روش معرفی بعد زمان در GIS می‌تواند از اهمیت بسزایی در این زمینه برخوردار باشد (اسفنده، دانه‌کار و سلمان‌ماهینی، ۱۴۰۰، ص. ۵۴). به طور کلی سه روش مجزا جهت تلفیق ابعاد پویای زمانی با تجزیه و تحلیل‌های مکانی در GIS وجود دارد (کریمی، ۱۳۹۱، ص. ۷) نظریه سلول‌های خودکار^۱ (CA)، تئوری عامل‌ها^۲، تئوری فراکتال‌ها^۳. بر این اساس، جهت بررسی سیستم‌ها و فرآیندهای پویای مکانی (مانند فرآیند رشد شهری)، مدل‌های متفاوتی حاصل از تلفیق GIS با

1. Cellular Automata (CA)

2. Agents

3. Fractal

یک یا چند مورد از این مدل‌ها توسعه یافته‌اند. به این ترتیب انواع مدل‌های برپایه سلول‌های خودکار که بارزترین وجه تمایز در بکارگیری این مدل‌ها، نحوه تعیین و محاسبه قوانین انتقال در آنها است، عبارتند از (۱) مدل ماکرو و میکرو تلفیق شده با سلول‌های خودکار، (۲) مدل سلول‌های خودکار فازی، (۳) مدل سلول‌های خودکار شبکه‌های عصبی مصنوعی، (۴) مدل سلول‌های خودکار تصادفی، (۵) مدل سلول‌های خودکار برپایه آمار (ساکیه، ۱۳۹۴، ص. ۱۲). مدل‌های CA به دلیل داشتن ماهیت پویا و همچنین خصوصیات منحصر به فرد آنها در مدل‌سازی از عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین و همچنین توسعه زمین‌های شهری پیدا کرده‌اند (اسفنده، دانه‌کار و سلمان‌ماهینی، ۱۴۰۰، ص. ۵۴). مدل CA اولین بار در دهه ۱۹۴۰ توسط دو ریاضیدان به نام‌های اولام و نیومن به منظور شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده در فیزیک و زیست‌شناسی به کار گرفته شد. از آن پس در سایر حوضه‌های مطالعاتی مانند مدل‌سازی شهری مورد استفاده قرار گرفت (زارعی و آل‌شیخ، ۱۳۹۱، ص. ۴). هر شبکه خودکار یک سیستم پویای گسسته است که فضا در آن به سلول‌های مکانی منظم و جریان زمانی به مراحل مختلف تقسیم می‌گردد. هر سلول در این سیستم دارای یکی از وضعیت‌های محدود مانند زنده یا مرده است. وضعیت هر سلول براساس قوانین محلی که در آن مقطع زمانی خاص بستگی به وضعیت کنونی آن و وضعیت همسایگانش در مرحله زمانی قبل دارد، تعیین خواهد شد (ولفرام، ۱۹۸۴، ص. ۲). در شبکه خودکار پنج عنصر اصلی وجود دارد که شامل سلول، وضعیت، قوانین انتقال، قوانین همسایگی و زمان می‌شوند. در جدول ۱ برخی از انواع مدل‌های CA از جنبه‌های متفاوت با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول ۱. انواع مدل‌های سلول‌های خودکار، ویژگی‌ها، نقاط ضعف و قوت

(مأخذ: اسفنده، دانه‌کار و سلمان‌ماهینی، ۱۴۰۰، ص. ۵۶)

نام مدل	نوع مدل	عوامل مورد بررسی	نرم‌افزار مورد نیاز	قوت	ضعف
UrbanSim	CA	ساختار حمل و نقل، زون بندی محلی، طرح های شهری، کاربری اراضی	Java، نرم افزار اقتصادسنجی، مدل حمل و نقل	مدل‌سازی پویا بر اساس تصمیم‌گیری‌های واقعی صاحبان مسکن و کار در پاسخ به سیاست‌گذاری‌ها	نیاز به داده‌های صریح و مشخص، عدم دسترسی همیشگی به داده‌های ورودی، کالیبراسیون طولانی و پیچیده
SLEUTH	CA	ساختار حمل و نقل، زون بندی محلی، طرح های شهری، تغییر در مناطق شهری طی زمان	UNIX, gnu C compiler	سادگی استفاده در مناطق مختلف، اجرا در بیش از ۱۰۰۰ شهر، قابلیت استفاده از فرآیند مدلسازی پویا، عملکرد ساده و توانایی زیاد در نشان دادن تغییرات پیچیده شهری، نیاز به اطلاعات مکانی مختلف اما اندک و قابل دسترس، قابلیت استفاده در مقیاس‌های مختلف، نرم‌افزار رایگان و پشتیبانی توسط سایت رسمی Gigalopolis	مراحل کالیبراسیون نسبتاً پیچیده، لزوم آشنایی با UNIX
DINAMICA	CA	ساختار حمل و نقل، زون بندی محلی، کاربری اراضی	GIS	امکان استفاده از عدم قطعیت	استفاده عموماً به صورت منطقه‌ای
Markov Chain	CA	کاربری اراضی	IDRISI	نتایج دقیق در مقیاس‌های بزرگ	پیش‌بینی فضایی تغییرات صرفاً بر اساس تغییرات کاربری اراضی

در میان تمام این مدل‌ها، مدل SLEUTH (حاصل تلفیق رویکرد مدل‌سازی سلول‌های خودکار با علوم آمار، کامپیوتر و GIS) احتمالاً مناسب‌ترین آنها باشد، زیرا دورگه‌ایی از دو گروه مدل CA است که توانایی مدل‌سازی توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی را دارد (کامیاب و سلمان‌ماهینی، ۱۳۹۷، ص. ۵). مدل SLEUTH به منظور شبیه‌سازی فرآیند رشد شهری بر مبنای شبکه‌های خودکار ایجاد شد. نام مدل از شش لایه ورودی آن شامل شیب، پوشش زمین، مناطق مستثنی از توسعه، مناطق شهری، شبکه حمل و نقل و لایه سایه روشن گرفته شده است. این مدل الگوهای شهری را با کاربرد چهار نوع از تغییرات کاربری شهری شامل رشد خودبخود، رشد مرکز انتشار جدید، رشد حاشیه و رشد متأثر از جاده استخراج می‌کند. چهار نوع رشد شهری در طول هر چرخه رشد به کار برده می‌شوند و از طریق کنش متقابل با پنج ضریب رشد (پخش، زایش، گسترش، جاذبه جاده و مقاومت شیب) کنترل می‌گردند (کلارک و گایدوس، ۱۹۹۸، ص. ۷۰۲؛ کلارک، هاپن، و گایدوس، ۱۹۹۷، ص. ۲۵۰).

پس از گسترش شهرنشینی و مهاجرت‌های بی‌رویه و به دنبال صنعتی شدن، شهرها با پدیده‌ای تحت عنوان رشد خودبه‌خودی مواجه شدند. همین عامل منجر شد که پس از جنگ جهانی دوم، انگلستان در جهت جلوگیری از این معضل شهری مفهوم کمربند سبز را طرح کرد و به دنبال آن آمریکا در اوایل دهه ۱۹۷۰ راهکار مدیریت شهری را عنوان کرد (کوهن، ۲۰۰۶). این اصطلاحات آخرین اقدامات و پژوهش‌ها در حوزه محدوده شهر و کنترل آن نبوده و به دنبال برخورد با مشکلات رشد بی‌رویه شهرها پژوهش‌های متعددی توسط محققان در کشورهای مختلف صورت پذیرفت که نمونه آنها معرفی خواهد شد. لیائو، بیشاپ، و ایوانز^۱ (۲۰۰۱)، مدل‌سازی پویایی شهر را در ارزیابی مکان دفع پسماند در مناطق شهری به استفاده کرد در این تحقیق از مدل SLEUTH که براساس CA است، استفاده شده است. یانگ و لو^۲ (۲۰۰۲)، از CA در مدل‌سازی رشد شهری و تغییر منظر در آتلانتا استفاده کرد. این مطالعه نشان داد روش‌های مدل‌سازی سلولی و اطلاعات جغرافیایی، روش‌های مفید در طرح‌ریزی

1. Leao, Bishop and Evans

2. Yang and Lo

مناطق شهری می‌باشند. بارردو، کاسانکو، مک‌کامیک، و لاول^۱ (۲۰۰۳)، از CA در مدل‌سازی پویایی شهر دوبلین استفاده کرد. در این تحقیق با استفاده از CA، رشد شهر تا سال ۱۹۹۸ مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که CA قابلیت خوبی برای استفاده در مدل‌سازی شهر دارد. لیائو، بی‌شاپ، و ایوان^۲ (۲۰۰۴)، قابلیت مدل‌های CA را در مناطق شهری کشورهای در حال توسعه با مطالعه در پورتو آلگره^۳ برزیل نیز بررسی کرد. این تحقیق نشان داد که مدل‌های CA پایه نتایج رضایت بخشی نیز برای مدل‌سازی شهرهای کشورهای در حال توسعه ارائه می‌کنند. لی^۴ (۲۰۰۵) تدابیری همچون محدوده رشد شهری، محدوده خدمات شهری و کمربند سبز را به عنوان سیاست‌های مهار شهری طرح کرد. وو، هو، هی، بو، آنستد، و ژی^۵ (۲۰۰۹)، به ارزیابی مدل SLEUTH در محدوده شهری شنیانگ در شمال شرق چین پرداختند. آن‌ها به صورت کمی، کارایی مدل را بر حسب میزان و موقعیت مکانی توسعه شهری، الگوهای مکانی شهری و قابلیت پیشگویی آزمایش نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل در شنیانگ از کارایی بسیار خوبی برخوردار است. وانی و رامانچاندرا پراساد^۶ (۲۰۲۱)، با هدف مقایسه کارایی مدل رشد شهری مشهور مبتنی بر CA و SLEUTH و یک مدل ترکیبی مبتنی بر CA با الگوریتم ژنتیک (GA) برای توسعه سناریوهای رشد آینده شهر پرداختند. مدل‌ها با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین که از تصاویر ماهواره‌ای لندست به دست آمده‌اند، ساخته، کالیبره شده و اعتبارسنجی شده‌اند. تحلیل اهمیت آماری عوامل محرک نشان می‌دهد که زمین و تراکم جمعیت دو عامل غالب تأثیرگذار بر گسترش شهر هستند. هر دو مدل خروجی در پیش‌بینی رشد شهری نشان می‌دهند که فضاهای باز موجود در محدوده شهر موجود بیشتر به ساخته شده تبدیل می‌شوند که نشان‌دهنده توسعه پرشده است و رشد بیشتری در حاشیه شهر موجود رخ می‌دهد. ایل‌یاسووا، کانتاکومار و بوید^۷ (۲۰۲۱)، در این تحقیق، مدل رشد شهری SLEUTH برای اولین بار برای شهرهای پس از اتحاد جماهیر

1. Barredo, Kasanko, McCormick and Lavallo
2. Leao, Bishop and Evans
3. Porto Alegre
4. Lee
5. Wu, Hu, He, Bu, Onsted and Xi
6. Vani and Rama Chandra Prasad
7. Ilyassova, Kantakumar and Boyd

شوروی کالیبره و تایید شده است. در هدف از این مطالعه، پایش، ارزیابی، شبیه‌سازی و مقایسه پویایی‌های رشد شهری مکانی و زمانی و الگوهای فضایی دو شهر بزرگ آلمانی و آستانه با استفاده از داده‌های سنجش از دور رایگان است. معیارهای گسترش شهری و مدل SLEUTH برای ارزیابی پویایی رشد شهری استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی رشد شهری از SLEUTH نشان می‌دهد که آستانه از رشد شهری آلمانی پیشی خواهد گرفت و تا سال ۲۰۳۰ به عنوان بزرگترین شهر قزاقستان ظاهر خواهد شد. آستانه ممکن است پیشرفت‌های جهشی و روبانی بیشتری را تجربه کند. در آلمانی، رشد شهری ممکن است در شمال و شمال غرب رخ دهد. جوارنه^۱ (۲۰۲۱)، توسعه شهری و از دست دادن زمین‌های عمدتاً کشاورزی دو چالش پیش روی اردن است. رشد شهری کنترل نشده شهرداری اردن بزرگ (GIM) که در پربارترین منطقه کشاورزی اردن واقع شده است، چالش بزرگی را هم در حفظ زمین‌های زراعی برتر و هم در توسعه استراتژی‌های برنامه ریزی جامع ایجاد کرده است. این مطالعه از دست دادن زمین کشاورزی برای رشد شهری در GIM از سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۵۰ را بررسی کرد و پیامدهای منفی فرآیند ادغام سال ۲۰۰۱ بر از دست دادن زمین‌های کشاورزی را نشان داد. در ایران نیز تحقیقاتی با استفاده از این مدل انجام شده است. مطالعه روند، الگوی فضای رشد، عوامل اثرگذار بر رشد شهری و پیش‌بینی رشد آینده کلانشهر تبریز تا سال ۲۰۳۵، داداش‌پور، عزیزی و مقدسی (۲۰۱۹)، برنامه ریزی کاربری اراضی در شهر گرگان با ترکیب مدل رشد شهری SLEUTH با روش ارزیابی چند معیاره و مدل ارزیابی اثرات بلند مدت هیدرولوژیکی، کلارک و ماهینی (۲۰۱۳) و اسفنده، دانه‌کار و سلمان‌ماهینی (۱۴۰۰)، در پژوهشی به شناسایی الگوهای تاریخی و پیش‌بینی اندازه و نحوه رشد آینده شهری و تغییرات کاربری اراضی در مناطق ساحلی با استفاده از جدیدترین نسخه مدل SLEUTH-3R پرداختند. این تحقیقات نشانگر پتانسیل و کارایی آن برای تحقیقات مشابه است. هدف از این پژوهش ارزیابی و شبیه‌سازی رشد شهر زاهدان است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

لایه‌های ضروری برای اجرای مدل SLEUTH شامل لایه‌های شیب، کاربری اراضی، استثنائات، لایه‌های شهری، لایه‌های شبکه حمل‌ونقل و لایه پستی‌وبلندی که برگرفته از مخفف نام این مدل می‌باشند. زیر مدل UGM^۱ فقط به مدل‌سازی رشد شهری می‌پردازد و مدل‌سازی از طریق پنج لایه اصلی انجام گردید. مدیریت رشد شهری UGM به منظور مدل‌سازی و محاسبه ضرایب برآزش به حداقل ۳ لایه مناطق شهری مربوط به سه سال مختلف، دو لایه شبکه حمل‌ونقل مربوط به دو سال مختلف، یک لایه درصد شیب، لایه مستثنیات و همچنین لایه سایه‌روشن پستی‌وبلندی‌ها به منظور مدل‌سازی نیاز دارد.

لایه‌های ورودی در محیط GIS و به کمک داده‌های سنجش‌ازدور و مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه شد. از آنجایی که در محیط GIS داده‌های گوناگونی از منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد تمام داده‌های مورد استفاده باید از نظر هندسی باهم همخوانی و مطابقت داشته باشد و همچنین از سامانه مختصات و سیستم تصویر واحدی تبعیت کند. بنابراین در این تحقیق تمام داده‌ها مورد استفاده به کمک نقاط کنترل به‌عنوان مبنا با RMS^2 قابل قبول ($RMS < 1$) (براساس مطالعات وبر و زمردیان، ۱۹۸۸؛ نقل از مهدی‌زاده و جمور، ۱۳۹۷، ص. ۱۸۵) مورد تطابق هندسی و ترازیبی قرار گرفته‌اند. از طرفی داده مورد استفاده باید اندازه سلول یکسانی داشته باشند. بنابراین کلیه لایه‌ها به‌اندازه سلول یکسان نمونه‌گیری مجدد^۳ شد.

۳.۱. پردازش تصاویر ماهواره‌ای و لایه‌های ورودی مدل

تصاویر ماهواره‌ای ابزار مناسبی برای کسب اطلاعات در ارتباط تغییرات زمانی و توزیع مکانی مناطق شهری هستند و به‌طور متناوب به‌منظور کشف تغییرات، مدل‌سازی و پیش‌بینی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی مدل رشد شهری، حداقل به چهار لایه تاریخی-زمانی براساس دوره‌های زمانی مورد نیاز است. تعیین اینکه کدام سال

1. Urban Growth Management (UGM)

2. Root Mean Square

3. Resample

به‌عنوان سال پایه تاریخی-زمانی باشد بستگی به خود محقق بر اساس رصد کردن تغییرات رشد شهر در مقاطع زمانی می‌باشد. در این پژوهش تعیین سال پایه جهت کالیبراسیون و ارزیابی رشد شهری براساس تحلیل رشد شهری بین سال‌های مختلف انجام گرفت و در نهایت بهترین بازه زمانی جهت شبیه‌سازی روند گذشته و کالیبراسیون جهت تعیین ضرایب بین سال‌های ۱۳۷۰-۱۴۰۰ تعیین گردید. چهار تصویر شهری انتخاب شده به ترتیب برای سال‌های تاریخی-زمانی ۱۳۷۰-۱۳۸۰-۱۳۹۰-۱۴۰۰ نهایی گردید. سال ۱۳۷۰ به‌عنوان سال پایه جهت شروع فرآیند کالیبراسیون و سال‌های تاریخی-زمانی دیگر به‌عنوان سال‌های کنترل در نظر گرفته شدند. مدل رشد شهری براساس سال پایه شروع به کالیبراسیون تحت کنترل سه سال کنترلی می‌نماید تا براساس تحلیل روند و الگوی رشد در بازه مقاطع ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ به تعیین ضرایب رشد پردازد. بعد از تعیین مقاطع تاریخی-زمانی، نیاز به تصاویر ماهواره‌ای بود که حدود شهر براساس آن‌ها تعیین گردد. براساس تحقیقات دیگر انجام شده در دنیا و ایران و همچنین در دسترس بودن اطلاعات ماهواره‌ای، تصاویر ماهواره لندست به‌عنوان تصاویر مرجع انتخاب گردید. سپس به تهیه این نقشه‌ها از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (www.usgs.gov) اقدام گردید. سعی شد تا تمام تصاویر مربوط به مقاطع زمانی با تاریخ اخذ یکسان باشد. مثلاً تمام تصاویر مربوط به فصل بهار یا زمستان و در شرایط بدون ابر و دیگر شرایط نامناسب جوی باشد.

جدول ۲. مشخصات مداری و ابعاد تصاویر ماهواره‌های لندست

(مأخذ: (www.usgs.gov))

سال تصاویر دریافتی	سنجنده	قدرت تفکیک
۱۳۷۰/۷/۰۹	TM	۳۰ متر
۱۳۸۰/۰۵/۲۸	ETM+	۳۰ متر
۱۳۹۰/۰۴/۰۷	ETM+	۳۰ متر
۱۴۰۰/۰۸/۲۲	OLI	۳۰ متر

پس از اخذ تصاویر، مرحله دوم کار یعنی طبقه‌بندی تصاویر شروع می‌شود؛ اما به دلیل اینکه تصاویر دریافتی مربوط به ماهواره‌های مختلف لندست می‌باشد که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را دارد و همچنین جهت برطرف کردن ایرادات تصاویر دریافتی مانند خطای رادیومتریک، اصلاحات جوی و اصلاحات هندسی تصاویر در نرم‌افزار انوی^۱ از روش پردازش و اصلاح کاهش تیرگی^۲ پدیده اقدام گردید. تصحیحات رادیومتریک در قبال تغییرات منظر، نوردهی، دید هندسی، شرایط جوی و نویز سنجنده ماهواره جهت افزایش کیفیت و دقت تصاویر ماهواره‌ای باید صورت گیرند.

روش‌های مختلفی از جمله روش کاهش تیرگی پدیده و روش باقیمانده‌های لگاریتمی^۳ در نرم‌افزار انووی وجود دارد. در این پژوهش از روش کاهش تیرگی پدیده برای اصلاحات رادیومتریک، جوی و هندسی در نرم‌افزار انووی استفاده شد (آرخی و طارم‌سری، ۱۳۹۴، ص. ۱۷۴).

بعد از انجام اصلاحات لازم، تمامی چهار تصاویر برای انجام طبقه‌بندی^۴ آماده گردیدند. در این پژوهش با توجه به نوع داده‌ها و هدف پژوهش و خروجی‌های مورد انتظار از نرم‌افزار سنجنش‌ازدور، همچنین با در نظر گرفتن دیگر پژوهش‌های مرتبط انجام گرفته در دنیا، روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال به‌عنوان روش طبقه‌بندی انتخاب گردید. طبقه‌بندی حداکثر احتمال، یکی از دقیق‌ترین و پرکاربردترین روش نظارت‌شده است. ابتدا تصویر رنگی کاذب از منطقه ایجاد شد. جهت انجام عملیات طبقه‌بندی لازم است که برای تصاویر ماهواره‌ای براساس تعداد باندها و شرایط باندها، بهترین ترکیب باندها برای به دست آوردن بهترین وضوح که تفاوت کاربری شهری با سایر کاربری‌ها را نشان دهد، انجام گیرد. نمونه انتخابی این پژوهش ترکیب باندها ۵،۳،۱ (Red:5, Green:3, Blue:1) سنجنده ETM لندست ۷ برای تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۷۰ می‌باشد. اثر ترکیب باندها در بارز سازی کاربری مورد انتظار شهری در این مورد فراوان است.

1. ENVI v4.8

2. Dark Subtract

3. Log Residuals

4. Classification

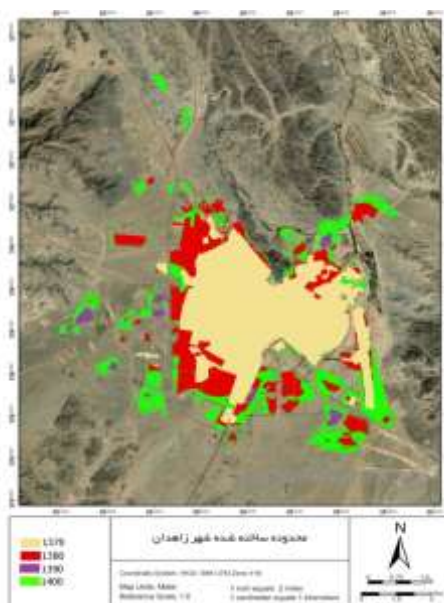
پس از تعیین روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست اخذشده، جهت طبقه‌بندی تصاویر ابتدا تمام تصاویر در محیط انوی اندازه محدوده موردپژوهش برش داده‌شده و پس از تعیین محدوده پردازش به انجام طبقه‌بندی مبادرت گردید. با توجه به نوع خروجی موردانتظار با درنظر گرفتن لایه‌های شهری موردنیاز برای ورود به مدل رشد شهری (شهر/غیر شهر) نمونه‌های تعلیمی جهت انجام طبقه‌بندی در چند کلاس مختلف از هرکدام از طبقات کاربری اراضی درروی تصویر رنگی کاذب مشخص شد. در این پژوهش براساس نیاز و ترکیب باندی انجام‌شده، دو کلاس نمونه تعلیمی برای کاربری شهری و کاربری اراضی بایر تعریف گردید. تفکیک‌پذیری طبقات مختلف با استفاده از میانگین آن‌ها در هر یک از باندها بررسی شد. نمونه‌های تعلیمی در مرحله بعد از نظر مکان مربوط به هر پیکسل به‌طور تصادفی جابجا شدند و سپس به دو قسمت ۷۵ درصدی و ۲۵ درصدی تقسیم گردیدند. این کار جهت کاهش اثر همبستگی مکانی صورت گرفت. پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی و اختصاص کلاس‌های کاربری، به انجام طبقه‌بندی کاربری اراضی به روش حداکثر احتمال^۱ گردید. روش حداکثر احتمال دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش نظارت شده است. فرآیند طبقه‌بندی حداکثر احتمال فرض را بر این می‌گذارد که داده‌های آماری آموزشی برای هر کلاس در هر باند، به صورت نرمال^۲ توزیع شده‌اند (آرخی و طارم‌سری، ۱۳۹۴، ص. ۲۳۱). پس از طبقه‌بندی فیلتر مد^۳ (اکثریت) به‌منظور حذف تک پیکسل‌های و قطعات کوچک اجرا شد. فیلتر مد یا میانه هر پیکسل مرکزی را با مقدار میانه عوض می‌کند. به عبارتی دیگر نوعی از فیلترهای یکدست‌ساز تصویر در برنامه انووی و ابزارهای آن می‌باشد که خطاهای طبقه‌بندی یا نویزهای تصاویر پس پردازش را اصلاح می‌نماید. برای مثال کاربری غیر شهری داخل شهر را به کلاس شهری تبدیل می‌نماید زیرا اکثریت پیکسل‌های طبقه‌بندی دارای کلاس شهری می‌باشند (آرخی و طارم‌سری، ۱۳۹۴، ص. ۳۳۹). بنا بر نوع داده‌های ورودی مدل رشد شهری که به لایه‌های شهری به‌صورت باینری شهر/غیرشهری نیاز دارد، در نرم‌افزار انوی تمامی کلاس‌های دیگر باهم ترکیب‌شده و با باز طبقه‌بندی نقشه تهیه‌شده به دو طبقه شهر و غیرشهر نقشه مناطق

1. Maximum Likelihood

2. Gaussian

3. Majority Filter

شهری برای هریک از سال‌های کنترل تولید شد. سپس خروجی نهایی جهت ورود به GIS تهیه گردید. نقشه‌های طبقه‌بندی شده در نرم افزار انوی برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ به صورت شهر/غیرشهری به محیط ArcMap v10.3 وارد گردیدند (شکل ۱).



شکل ۱. روند رشد شهر زاهدان برای سال‌های ۷۰-۱۴۰۰

اولین پردازش بر روی این لایه‌ها تبدیل رستر به وکتور، جهت حذف و اصلاح نقاطی است که به دلیل خطای طبقه‌بندی به عنوان مناطق شهری در نظر گرفته شده‌اند. برای انجام این کار از روش مشاهده مستقیم کاربر (چشمی) استفاده گردید که در این روش کاربر به صورت مستقیم با در نظر گرفتن نقشه‌ای مشخص به صورت چشمی به اصلاح مناطق دارای خطا می‌پردازد. سپس تمام لایه‌های شهری به رستر تبدیل گردیدند. جهت ورود لایه‌های شهری به مدل رشد شهری لازم است تا تمامی تصاویر و لایه‌ها به فرمت GIF با عمق پیکسل ۸ بیت (Pixel Depth= 8) تبدیل گردند. پس از انجام پردازش رستری لایه‌ها، مرحله تبدیل لایه‌ها به فرمت GIF انجام گرفت که لایه‌های نهایی به صورت طیفی از ۰-۲۵۵ تبدیل گردیدند، با این تفسیر

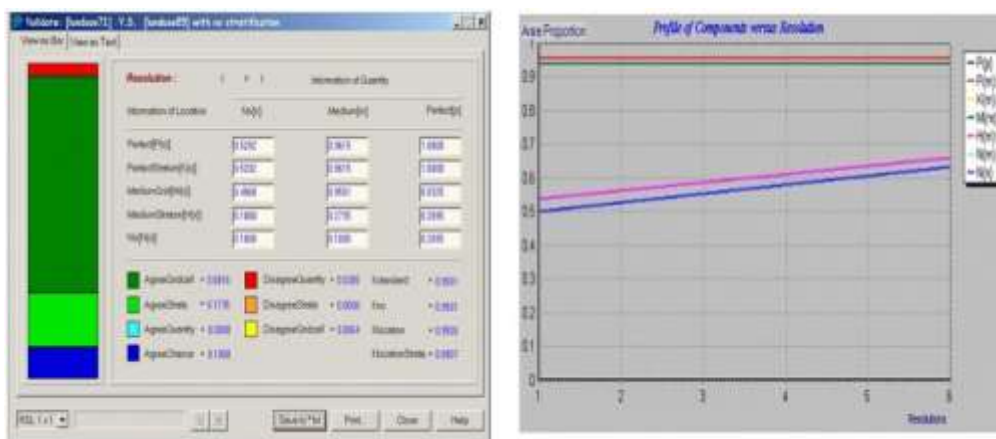
که صفر به معنی عدم وجود شهر و ۲۵۵ به معنی وجود شهر می‌باشد. (غیرشهر = ۰ / شهر = ۲۵۵). در نهایت نیز تمام چهار لایه مربوط به چهار سال به‌اندازه تفکیک مکانی ۳۰ متر نمونه‌گیری مجدد گردیدند. کاربری مورد انتظار این پژوهش کاربری شهری می‌باشد که نقاط ساخته‌شده انسانی را پوشش داده است. پس از انجام طبقه‌بندی لازم است تا دقت و صحت انجام طبقه‌بندی انجام پذیرد تا از میزان کارایی آن اطمینان حاصل گردد. برای ارزیابی دقت کلی طبقه‌بندی^۱ روش ضریب شاخص کاپا^۲ انتخاب گردید که از روش‌های پرکاربرد جهت ارزیابی صحت برای این منظور می‌باشند.

منظور از اعتبارسنجی آن است که یک مدل در زمینه کاربردی محدوده‌ای از دقت رضایت‌بخش را داشته باشد (رایکی جونور، ۱۹۹۶، ص. ۲۳۲)^۳. مدل‌های شهری با مقایسه خروجی شبیه‌سازی شده با مشاهدات دنیای واقعی به کمک روش‌های مقایسه‌ای بصری ماتریس‌های Confusion و خطا اعتبارسنجی می‌گشوند. اعتبارسنجی مدل CA یکی از چالش‌های پیشرو در کاربرد CA است. تاکنون بیشتر مدل‌های CA از مقایسه بصری برای تأیید نتایج شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. بررسی عملکرد خود مدل نیز بسیار بحث‌برانگیز است؛ زیرا در سیستم‌های خودسازمانده وضعیت خاصی وجود دارد. مدل‌های CA باید بر پایه معقولیت این مدل‌ها ارزیابی شود. اعتبارسنجی مدل در این پژوهش با استفاده از مازول Validate در نرم‌افزار Idrisi انجام شده است. نتایج مقایسه تصویر شبیه‌سازی شده و کاربری اراضی واقعی سال ۱۴۰۰ در شکل ۱ قابل مشاهده است. این مازول روشی را که سازش یا توافق بین دو تصویر (نقشه مقایسه که تصویر شبیه‌سازی شده بوده و مدل فراهم کرده و نقشه مرجع که تصویر واقعی زمین است) اندازه‌گیری می‌کند، ارائه می‌دهد. مازول Validate تحلیل آماری جامع را که همزمان به دو پرسش مهم جواب می‌دهد فراهم می‌کند. یکی اینکه چگونه یک جفت از نقشه‌ها در بخش‌هایی از کمیت سلول‌ها در هر دسته با هم سازش دارند؟ و دیگر اینکه چگونه یک جفت از نقشه‌ها در بخش‌هایی از موقعیت سلول‌ها در هر دسته با هم سازش دارند. روش Validate از شاخص‌های مختلف ضریب کاپا برای پاسخدهی به این

1. Overall Accuracy
2. KAPA Index
3. RykielJr, 1996

پرسش‌ها استفاده می‌کند. آمارها نشان می‌دهد چطور نقشه مقایسه با نقشه مرجع سازش دارد. آنالیز سازش و غیرسازش را میان دو تصویر با استفاده از مؤلفه‌های زیر جدا می‌کند:

سازش به دلیل تغییر؛ سازش به دلیل کمیت؛ سازش به دلیل موقعیت در سطح طبقه‌بندی شده؛ سازش به دلیل موقعیت در سطح سلولی شبکه؛ سازش نکردن به دلیل موقعیت در سطح سلولی شبکه؛ سازش نکردن به دلیل موقعیت در سطح طبقه‌بندی شده؛ سازش نکردن به دلیل کمیت. با توجه به شکل ۲ نتیجه می‌گیریم، دقت مدل اسلوس ۹۵ درصد است که این رقم برای شبیه‌سازی در میان دیگر روش‌های مرسوم شبیه‌سازی، جزء بهترین نتایج قابل دستیابی است.



شکل ۲. محاسبه دقت طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از شاخص کاپا در نرم‌افزار Idrisi

۲.۳. لایه شبکه حمل و نقل

باتوجه به نیاز مدل رشد شهری به دولایه حمل و نقلی از منطقه مورد مطالعه، تعداد دو لایه شبکه حمل و نقلی آماده گردید. شبکه راه‌های منطقه به صورت لایه‌برداری از روی تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده از منطقه و همچنین طرح جامع حمل و نقل زاهدان به شیوه رقومی کردن روی صفحه استخراج شد. سپس لایه‌برداری ایجاد شده به ساختار رستری با اندازه تفکیک مکانی ۳۰ متر، فرمت GIF به صورت باینری راه/غیرراه (راه = ۲۵۵/غیرراه = ۰) با عمق

پیکسل ۸ تبدیل شد. در ترسیم شبکه حمل و نقلی سعی گردید تا راه‌های اصلی و تأثیرگذار مورد رقومی‌سازی قرار بگیرند. این تصاویر قبلاً با استفاده از نقشه طرح تفصیلی شهر زاهدان مورد تطابق هندسی قرار گرفتند. این لایه به کمک مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه از نقشه رقومی ارتفاع تهیه شده از سازمان زمین‌شناسی آمریکا به دست آمد. ابتدا نقشه رقومی ارتفاع تهیه شده به سیستم مختصات UTM Zone 41 N انتقال یافت و سپس به اندازه محدوده مورد مطالعه مورد برش قرار گرفت. نقشه تهیه شده دارای اندازه تفکیک حدود ۲۷ متر است که ابتدا با درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایه به اندازه تفکیک ۳۰ متر نمونه‌گیری مجدد شد. سپس از این داده نقشه شیب منطقه به درصد تهیه شد. در نهایت به فرمت GIF با عمق پیکسل ۸ تبدیل گردید.

۳.۳. لایه سایه‌روشن پستی و بلندی

از این لایه می‌توان به عنوان زمینه در نقشه‌های خروجی استفاده کرد. مدل مدیریت رشد شهری نیز از سایه و روشن پستی و بلندی‌ها تنها به منظور زمینه خروجی‌ها استفاده می‌کند. برای تهیه نقشه سایه‌روشن زاویه ارتفاعی ۴۵ درجه و آزیموت ۲۲۵ درجه در نظر گرفته شد. سپس با تبدیل نقشه حاصل به رستر با تفکیک مکانی ۳۰ متر و فرمت GIF با عمق پیکسل ۸ بیتی نقشه سایه و روشن منطقه برای ورودی مدل آماده شد.

۳.۴. لایه مطلوبیت توسعه (مستثنیات)

این لایه به عنوان لایه‌ای کاربر-تعریف در مدل رشد شهری UGM در نظر گرفته شده است. در ورژن‌های اولیه مدل وظیفه این لایه، دخالت عوامل محدودکننده رشد شهر یا عوامل مستثنا از رشد شهر می‌باشد. برای مثال مناطق حفاظت‌شده، مناطق مردابی، مناطق غیرقابل گسترش دیگر. در پژوهش‌های اخیر از این لایه به قابلیت جهت ایجاد لایه جذابیت/دافعه شهری استفاده می‌گردد. به عبارت دیگر محقق می‌تواند عواملی که می‌تواند در جاذبه یا دافعه شهرنشینی مؤثر باشد را با توجه به نوع روش خاص خود محقق و چارچوب نحوه ایجاد مقادیر لایه‌ها در مدل رشد شهری، در رشد آینده شهر دخالت دهد. بنابراین در این مطالعه از

این لایه بعنوان لایه‌ای جامع (جدول ۲) از ترکیب عوامل محرک و موانع رشد شهری زاهدان استفاده شده است.

۳.۵. تحلیل و جمع بندی امکانات، پتانسیل ها و موانع رشد شهری زاهدان

در این پژوهش جهت نشان دادن شایستگی لایه‌ها برای رشد شهری، از ارزیابی چندمعیاره (MCE) استفاده گردید. شاخص‌های جدول ۳ براساس مرور پیشینه و ادبیات تحقیق استخراج شدند که در نهایت با توجه به در دسترس بودن داده‌ها و تطابق با هدف تحقیق و شرایط زاهدان، نهایی شدند. ارزیابی چندمعیاره اغلب به منظور ترکیب لایه‌های رستری برای رسیدن به یک لایه شایستگی عوامل استفاده می‌شود. در طی فرآیند ارزیابی چند معیاره، لایه‌های رستری عوامل محیطی مؤثر با سلول‌های دارای مقادیر مختلف آماده می‌شوند. در این پژوهش از میان مدل‌های ارزیابی چندمعیاره، مدل فرآیند ارزیابی سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. ۲۰ متخصص در حوزه برنامه ریزی و مدیریت شهری انتخاب شدند که در نهایت ۱۵ پرسشنامه قابل استفاده شد.

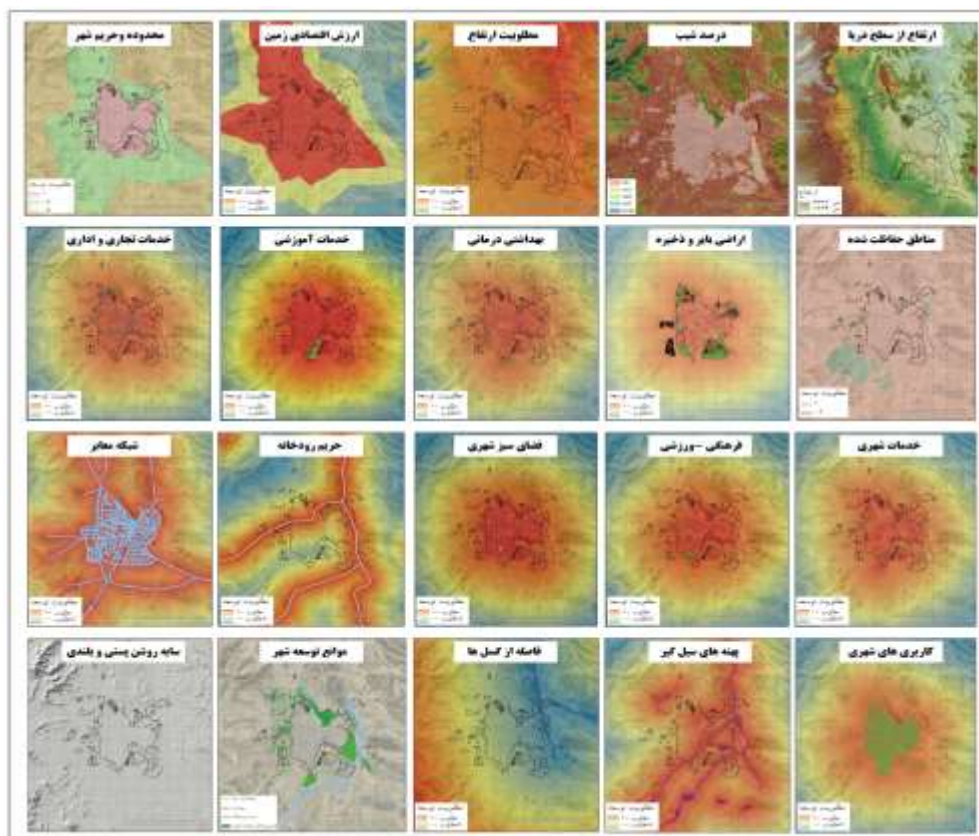
جدول ۳. عوامل موثر در رشد شهری زاهدان و نتایج وزن‌دهی روش AHP

وزن AHP	میزان شایستگی	فاکتورها	عوامل
۰,۰۲۶۹	براساس افزایش شیب از ۳۰ درصد به بالا، مطلوبیت توسعه کاهش پیدا می کند	شیب	عوامل فیزیکی و کالبدی
۰,۰۶۱۶	میزان شایستگی مناطق سیل خیز = ۰ / سایر مناطق = ۱	سیل	
۰,۰۵۶۷	براساس میزان فاصله اقلیدسی (به متر) از بیشترین فاصله (۱) تا کمترین فاصله (۰) که با افزایش فاصله میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت افزایش می یابد.	گسل	
۰,۰۲۰۲	براساس افزایش میزان ازتفاع از ۱۵۵۰ به بالا، مطلوبیت توسعه به صورت یکنواخت کاهش پیدا می کند.	ارتفاع	
۰,۰۱۲۲	میزان شایستگی در فاصله ۰-۲۵۰ متر = ۰ / میزان شایستگی در فاصله ۲۵۰ متر به بالا = با افزایش فاصله میزان مطلوبیت کاهش می‌یابد.	فاصله از رودخانه‌ها	
۰,۰۱۰۱	توسعه در این محدوده ها ممکن نیست = ۰ / سایر مناطق = ۱	موانع محدود کننده رشد	

وزن AHP	میزان شایستگی	فاکتورها	عوامل
۰,۰۱۵۶	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی (1) تا کمترین دسترسی (۰) که با کاهش دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.	دسترسی به خدمات بهداشتی و درمانی	عوامل دسترسی به خدمات شهری
۰,۰۵۶۴	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی (1) تا کمترین دسترسی (۰) که با کاهش دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.	دسترسی به خدمات تجاری و اداری	
۰,۰۲۶۵	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی (1) تا کمترین دسترسی (۰) که با کاهش دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.	دسترسی به خدمات فرهنگی و ورزشی	
۰,۰۱۲	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی (1) تا کمترین دسترسی (۰) که با کاهش دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.	دسترسی به پارک ها و فضای سبز	
۰,۰۲۰۲	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی (1) تا کمترین دسترسی (۰) که با کاهش دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.	دسترسی به تجهیزات و خدمات شهری	
۰,۰۱۲۲	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی (1) تا کمترین دسترسی (۰) که با کاهش دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.	دسترسی به خدمات آموزشی	
۰,۰۱۶۳	مطلوبیت توسعه با کاهش ارزش زمین براساس دوری از محدوده شهری، کاهش پیدا می کند	قیمت و ارزش زمین	عوامل اجتماعی-اقتصادی
۰,۰۱۴	براساس شدت تراکم در محدوده، با فاصله از مراکز تراکم جمعیتی، میزان مطلوبیت کم می شود.	تراکم و توزیع فضایی جمعیتی	
۰,۰۰۲۵	مطلوبیت توسعه در محدوده مصوب شهری = $۱ / \text{حریم شهر}$ = $۰,۷۵ / \text{خارج حریم} = ۰,۵$	مرز خدمات شهرداری و توسعه های آتی	عوامل سیاسی و اداری
۰,۰۲۱	اراضی بایر و ذخیره شهری = ۱ مطلوبیت سایر اراضی براساس فاصله از اراضی ذخیره، کاهش می یابد.	اراضی بایر و ذخیره شهری	
۰,۰۲۰۶۳	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی (1) تا کمترین دسترسی (۰) که با کاهش دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می یابد.	دسترسی به شبکه حمل-ونقل	حمل و نقل و شبکه ارتباطی
۰,۰۱۰۵۸	براساس میزان دسترسی اقلیدسی (به متر) از بیشترین دسترسی	دسترسی به اراضی ساخته	کاربری

وزن AHP	میزان شایستگی	فاکتورها	عوامل
	(1) تا کمترین دسترسی (0) که با کاهشی دسترسی میزان مطلوبیت به صورت یکنواخت کاهش می‌یابد.	شده شهری	
۰,۰۳۵	میزان مطلوبیت مناطق اکولوژیک = ۰,۲ / سایر مناطق = ۱	محدوده های اکولوژیکی و حفاظت شده	

براساس نتایج مدل AHP عامل دسترسی به شبکه حمل و نقل بیشترین اهمیت را در مقایسه با سایر عوامل موثر در رشد شهر زاهدان دارد. عامل مهم بعدی دسترسی به کاربری های شهری است که رتبه دوم را از نظر اهمیت دارد. عامل سوم نیز دسترسی به خدمات تجاری و اداری است.



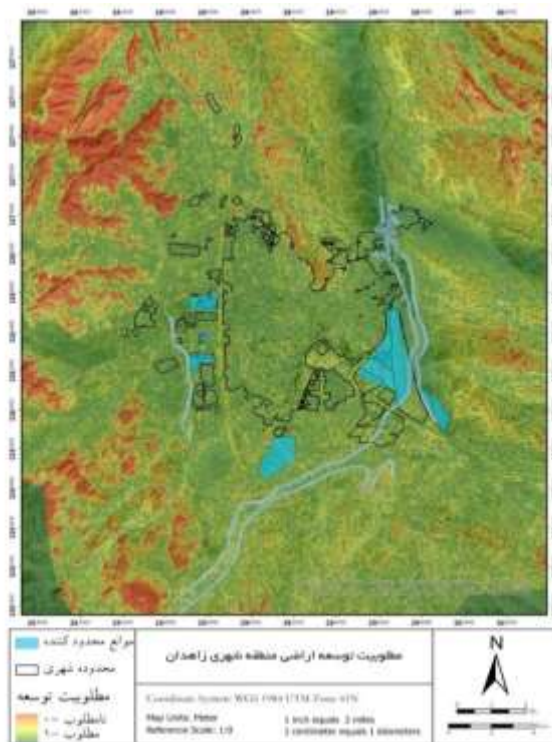
شکل ۳. مطلوبیت توسعه اراضی شهر زاهدان

۳.۶. ترکیب لایه ها از همپوشانی WLC و ساخت لایه مطلوبیت توسعه نهایی

به طور کلی دو روش عمده برای همپوشانی لایه‌های عوامل در روش GIS-MCE، روش ترکیب خطی-وزنی و روش بولین می‌باشند. در روش ترکیب خطی-وزنی، ابتدا لایه‌های عوامل را استانداردسازی می‌کند و سپس با تخصیص وزن اهمیت نسبی به لایه‌های عوامل، لایه‌های استاندارد شده و وزن‌های آن‌ها را با هم ترکیب می‌کند و یک نقشه شایستگی نهایی تولید می‌کند. در روش ترکیب خطی-وزنی خاصیت جبرانی وجود دارد. به گونه‌ای که امتیاز کم یک موقعیت خاص در یک لایه عامل می‌تواند با امتیاز بالای همان موقعیت در لایه عامل جبران گردد. طریقه همپوشانی در ترکیب خطی-وزنی به صورت فرمول زیر است.

$$S = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$

که در این معادله S به معنی شایستگی نهایی یا کلی اراضی، X_i نشان دهنده مقدار استاندارد شده عامل i و W_i بیانگر وزن محاسبه برای عامل i می‌باشد. که در این معادله n تعداد عوامل مورد استفاده در تعیین شایستگی را نشان می‌دهد. تمام عوامل موثر در رشد شهر زاهدان که در قسمت قبل به آن‌ها اشاره شد، به روش ترکیب خطی-وزنی مورد همپوشانی رستری در نرم‌افزار GIS قرار گرفتند. با توجه به اینکه در فرآیند تهیه‌سازی لایه‌های عوامل، استانداردسازی به روش فازی و الگوریتم تابع عضویت خطی بر اساس جدول ۲ انجام شده است، در این مرحله هرلایه به وزن AHP مربوطه خود ضرب گردیده و در نهایت طبق فرمول بالا مورد همپوشانی نهایی قرار گرفتند. این لایه نیز نیز بر اساس دستورالعمل داده‌های ورودی مدل به فرمت GIF با تفکیک مکانی ۳۰ متر و عمق تصویر ۸ بیت در بازه ۰-۲۵۵ گسترش داده شد. لایه نهایی مطلوبیت توسعه در شکل ۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۴. مطلوبیت توسعه اراضی شهر زاهدان

نکته قابل توجه در ورودی لایه‌های مدل رشد شهری UGM، الزام نام‌گذاری لایه‌ها همانند خواست مدل، تعریف محدوده یکسان (سطر و ستون) برای تمام لایه‌ها، فرمت مشخص GIF با بسط در بازه ۰-۲۵۵، سیستم تصویر یکسان، عمق تصویر ۸ بیت برای تمام لایه‌ها می‌باشد؛ که در فرآیند تهیه داده‌ها تمامی لایه‌ها طبق دستورالعمل مدل تهیه گردیدند.

۵. یافته‌های تحقیق

۵.۱. نتایج شبیه‌سازی و کالیبراسیون رشد شهری با استفاده از مدل SLEUTH-3r

هدف از مرحله کالیبراسیون لایه‌های ورودی، به دست آوردن بهترین مقادیر ضرایب رشد برای منطقه مورد مطالعه است. کالیبراسیون مدل SLEUTH به شیوه BurtForce انجام می‌گیرد. مدل SLEUTH براساس مجموعه ضرایبی که در مرحله کالیبراسیون تعیین می‌شود پیش‌بینی را انجام می‌دهد. مجموعه ضرایب تعیین شده در مرحله کالیبراسیون ضرایب اولیه

هستند و بیان‌کننده نحوه تغییرات از گذشته تاکنون است؛ اما در مدل SLEUTH به دلیل انجام خودسازمان‌دهی ضرایب تغییر خواهند کرد و اصلاح خواهند شد. مدل SLEUTH ضرایب رشد را به صورت کلی برای محدوده مورد مطالعه کالیبره کرده و براساس همین ضرایب، رشد آتی برای کل محدوده را پیش‌بینی می‌نماید. کالیبراسیون از سال ۱۳۷۰-۱۴۰۰ انجام پذیرفت. سپس ضرایب رشد، از بین ترکیب سنجه‌هایی که بهترین عملکرد را داشته‌اند انتخاب شد تا از این بهترین ضرایب برای انجام مرحله پیش‌بینی استفاده شود. جدول ۴ نمونه نتایج کالیبراسیون مدل برای شهر زاهدان را نشان می‌دهد.

جدول ۴. خروجی کالیبراسیون مدل و سنجه‌های آن جهت تعیین ضرایب مدل SLEUTH

run	diffusion	breed	spread	slp_resst	road_grav	control	area	run	cluster	run	edges
۱۰۰	۱	۱	۱۰۰	۱	۱	۲۰۰۵	۰,۲۱	۱۰۰	۰,۲۷	۱۰۰	-۰,۲
۱۰۱	۱	۱	۱۰۰	۱	۲۵	۲۰۲۰	۰,۲۱	۱۰۱	۰,۲۹	۱۰۱	-۰,۱۹
۱۰۵	۱	۱	۱۰۰	۲۵	۱	۲۰۰۵	۰,۱	۱۰۵	۰,۳	۱۰۵	-۰,۲۱
۷۵	۱	۱	۷۵	۱	۱	۲۰۲۰	۰,۰۹	۷۵	۰,۳۲	۷۵	-۰,۲۱
۷۶	۱	۱	۷۵	۱	۲۵	۲۰۰۵	۰,۱	۷۶	۰,۳۳	۷۶	-۰,۲
۱۰۳	۱	۱	۱۰۰	۱	۷۵	۲۰۲۰	۰,۲۲	۱۰۳	۰,۳۳	۱۰۳	-۰,۱۸
۱۰۴	۱	۱	۱۰۰	۱	۱۰۰	۲۰۰۵	۰,۲۲	۱۰۴	۰,۳۳	۱۰۴	-۰,۱۸
۱۰۲	۱	۱	۱۰۰	۱	۵۰	۲۰۲۰	۰,۲۲	۱۰۲	۰,۳۳	۱۰۲	-۰,۱۸
۸۰	۱	۱	۷۵	۲۵	۱	۲۰۰۵	-۰,۰۱	۸۰	۰,۳۳	۸۰	-۰,۲۲
۷۱	۱	۱	۵۰	۱۰۰	۲۵	۲۰۲۰	-۰,۳۸	۷۱	۰,۳۳	۷۱	-۰,۲۸
۹۶	۱	۱	۷۵	۱۰۰	۲۵	۲۰۰۵	-۰,۲۷	۹۶	۰,۳۴	۹۶	-۰,۲۵
۸۱	۱	۱	۷۵	۲۵	۲۵	۲۰۲۰	۰	۸۱	۰,۳۴	۸۱	-۰,۲۱
۷۰	۱	۱	۵۰	۱۰۰	۱	۲۰۰۵	-۰,۳۸	۷۰	۰,۳۴	۷۰	-۰,۲۸
۱۲۲	۱	۱	۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۲۰	-۰,۲۱	۱۲۲	۰,۳۴	۱۲۲	-۰,۲۳
۱۲۳	۱	۱	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۲۰۰۵	-۰,۲۱	۱۲۳	۰,۳۴	۱۲۳	-۰,۲۳
۱۲۴	۱	۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۲۰	-۰,۲۱	۱۲۴	۰,۳۴	۱۲۴	-۰,۲۳
۱۰۶	۱	۱	۱۰۰	۲۵	۲۵	۲۰۰۵	۰,۱	۱۰۶	۰,۳۴	۱۰۶	-۰,۲۱
۹۷	۱	۱	۷۵	۱۰۰	۵۰	۲۰۲۰	-۰,۲۷	۹۷	۰,۳۵	۹۷	-۰,۲۴
۹۸	۱	۱	۷۵	۱۰۰	۷۵	۲۰۰۵	-۰,۲۷	۹۸	۰,۳۵	۹۸	-۰,۲۴

در این پژوهش باتوجه به نظرات پژوهش جانتز^۱ و همکاران (۲۰۱۴) از بین سنجه‌های تولید شده توسط مدل SLEUTH-3r در مرحله کالیبراسیون، سنجه‌های تفاوت کسری Cluster, Edge و Area مورد استفاده قرار گرفت. نتایج سنجه‌های کنترل تولید شده در مرحله کالیبراسیون با خطای (± 10 درصد) در نظر گرفته شدند تا از اعتبار بیشتری برخوردار باشند. نتایج نهایی سنجه‌های انتخاب شده در جدول ۵ نشان داده شده است.

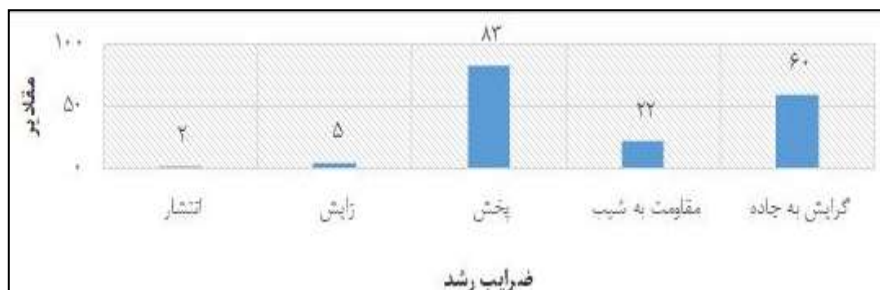
جدول ۵. مقادیر سنجه‌های کنترل برای سناریو‌ها به تفکیک زیر مناطق

Calibration metrics		
AFD ^۲	EFD ^۳	CFD ^۴
0.042	-0.067	-0.07

ضرایب حاصل از کالیبراسیون شهر زاهدان نشان می‌دهد که ضریب پخش با مقدار ۸۳ بالاترین مقدار را دارد. بالا بودن مقدار این ضریب نشان می‌دهد که رشد شهر به‌صورت ارگانیک و خودبه‌خودی است. به‌عبارت‌دیگر از سال ۱۳۷۰ به‌عنوان سال پایه کالیبراسیون تا سال ۱۴۰۰ که سال اتمام کالیبراسیون است، رشد شهر بیشتر به‌صورت رشد از لبه و رشد ارگانیک بوده است که این نوع رشد مربوط به رشد ذاتی شهرهاست و معمولاً در داخل شهر و حاشیه آن رخ می‌دهد و مناطقی که هنوز ساخته نشده‌اند به کاربری شهری تغییر پیدا می‌کنند. این رشد به شبیه‌سازی رشد لبه‌ای در کناره‌های مراکز جدید شهر شده یا در لبه مراکز شهری موجود می‌پردازد. این نوع رشد تحت کنترل ضریب پخش است. ضریب پخش، احتمال اینکه هر سلول غیرشهری با حداقل سه همسایه شهری، منجر به تولید یک سلول شهری اضافه در محل‌هایی که شیب مناسب دارند، می‌شود. ضریب گرایش به جاده با مقدار ۶۰ می‌باشد و در رده دوم قرار دارد، بیانگر تأثیر جاده‌ها و زیرساخت‌های حمل‌ونقلی در رشد و توسعه شهر و ساخت‌وسازهای جدید می‌باشد. ضریب رده سوم با مقدار ۲۲ ضریب

1. Jantz
2. AFD (Area Fractional Difference)
3. EFD (Edges Fractional Difference)
4. CFD (Cluster Fractional Difference)

مقاومت به شیب می‌باشد. ضریب شیب به شکل دوگانه‌ای برخورد می‌کند. چنانچه ضریب مقاومت شیب بالا باشد و نزدیک به ۱۰۰، احتمال اینکه پیکسل مورد بررسی تبدیل به شهر بشود پایین و در صورتی که مقاومت شیب پایین باشد، شیب تأثیر زیادی در مناطق با شیب بیشتر بر گسترش شهر ندارد. با توجه به مقدار ضریب شیب که مقدار پایینی دارد، بیانگر این موضوع است که شیب زمین در رشد شهر زاهدان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ تأثیر چندانی نداشته است.



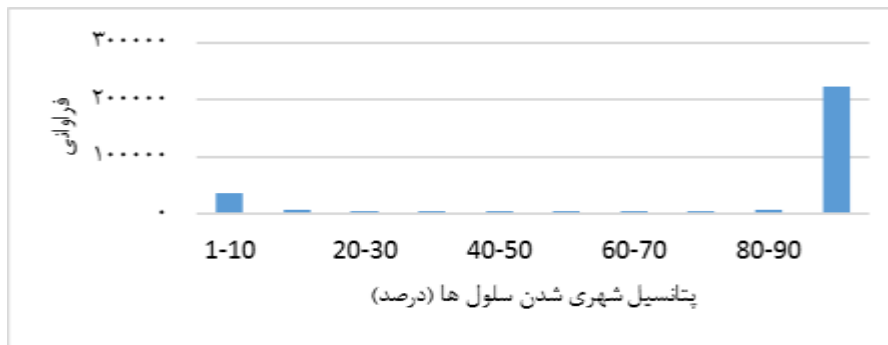
شکل ۵. ضرایب رشد حاصل از فرآیند کالیبراسیون داده‌های شهر زاهدان

ضریب زایش ضریب با مقدار ۵، در رتبه چهارم از نظر تأثیر در رشد شهر زاهدان قرار دارد. با توجه به تعریف این ضریب که احتمال این که پیکسل شهر شده طی رشد خودبه-خودی، مرکز جدید توسعه و شهرسازی شود را تعیین می‌کند و شکل رشد تحت تأثیر از جاده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، این ضریب تأثیر بسیار کمی در رشد شهر زاهدان داشته است. به عبارت دیگر رشد از طریق مراکز جدید در روند رشد زاهدان بسیار کم اتفاق افتاده است. آخرین ضریب که تقریباً در فرآیند رشد شهر تأثیری نداشته است، ضریب انتشار با مقدار ۲ می‌باشد. این ضریب شکل رشد خودبه‌خودی را هدایت می‌کند (ضریب انتشار تعداد دفعاتی که یک پیکسل به‌طور تصادفی به‌عنوان پیکسل قابل شهرسازی در رشد خودبه‌خودی، انتخاب خواهد شد را کنترل می‌کند). بنابر مقدار پایین این ضریب رشد خودبه‌خودی در روند رشد شهر زاهدان کمترین سهم را داراست. براساس مقادیر ضرایب حاصل از کالیبراسیون منطقه پژوهش، الگوهای رشد ذاتی یا ارگانیک و الگوی رشد گرایش به جاده بیشترین تطابق

را دارند و براساس نتایج کالیبراسیون می‌توان این‌گونه اظهارنظر کرد که رشد شهر زاهدان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ براساس رشد ارگانیک و رشد تحت تأثیر جاده و شبکه‌های حمل‌ونقل اتفاق افتاده است.

در این پژوهش جهت اعتبارسنجی خروجی‌های مدل به منظور اطمینان به نتایج کالیبراسیون جهت پیش‌بینی رشد آتی از اعتبارسنجی نقشه‌های تولید شده به صورت فضایی، پیش‌بینی آزمایشی گذشته تا حال از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ اجرا شد. سپس خروجی تولید شده در این مرحله، با نقشه واقعی سال ۱۴۰۰ به وسیله روش کاپا اعتبارسنجی گردید. پیش‌بینی آزمایشی مدل از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ براساس ضرایب حاصل از کالیبراسیون مدل SLEUTH برای شهر زاهدان انجام گرفت. باتوجه به اینکه رشد شهر متأثر از عوامل متعددی است که طیف وسیعی از عوامل فضایی و اجتماعی و... را دربر می‌گیرد، این نکته باید موردتوجه قرار گیرد که شبیه‌سازی انجام‌شده تمام واقعیت را ارائه نمی‌دهد، به عبارت دیگر خروجی‌های مدل عین واقعیت انجام‌شده در رشد شهر زاهدان نیست. بلکه نتیجه عواملی مانند شیب و تأثیر شبکه حمل‌ونقل و عوامل فیزیکی است که در این مدل گنجانده شده است. نتایج شبیه‌سازی رشد گذشته تا حال شهر زاهدان براساس شکل ۷ می‌باشد. خروجی نتایج شبیه‌سازی به صورت یک فایل تجمعی شامل پتانسیل سلول‌ها برای شهرنشینی از ۰ تا ۱۰۰ در یک فایل تجمعی نهایی با فرمت رستر ذخیره می‌گردد. همچنین برای هر دوره شبیه‌سازی به صورت سالانه نیز مقدار رشد هر سال در فایل‌های رستری به نام همان سال‌ها ذخیره می‌گردد. نمودار فراوانی سلول‌های پیش‌بینی شده در فایل تجمعی نهایی پیش‌بینی، براساس پتانسیل شهری شدن از عدد ۱-۱۰۰ (سلول‌های دارای مقدار صفر به دلیل قطعیت در عدم شهری بودن از محاسبات حذف می‌گردد) نشان می‌دهد که با فرض پتانسیل شهری شدن بالا برای خروجی مدل، بیشترین فراوانی مربوط به بازه ۹۰-۱۰۰ می‌باشد. براساس بررسی نتایج با یافته‌های اسفنده و دانه‌کار و سلمان ماهینی (۱۴۰۰) به عبارت دیگر، اگر قرار است بازه‌ای از سلول‌های دارای پتانسیل شهری شدن جهت تبدیل به سلول‌های شهری انتخاب گردد، مناسب‌ترین بازه، بازه ۹۰-۱۰۰ درصد می‌باشد. براساس این تحلیل، فایل تجمعی نهایی شبیه‌سازی شده وارد نرم‌افزار GIS

گردید و سلول‌های دارای پتانسیل شهری شدن ۹۰ درصد به بالا به‌عنوان سلول‌های شهر شده در نظر گرفته شدند.



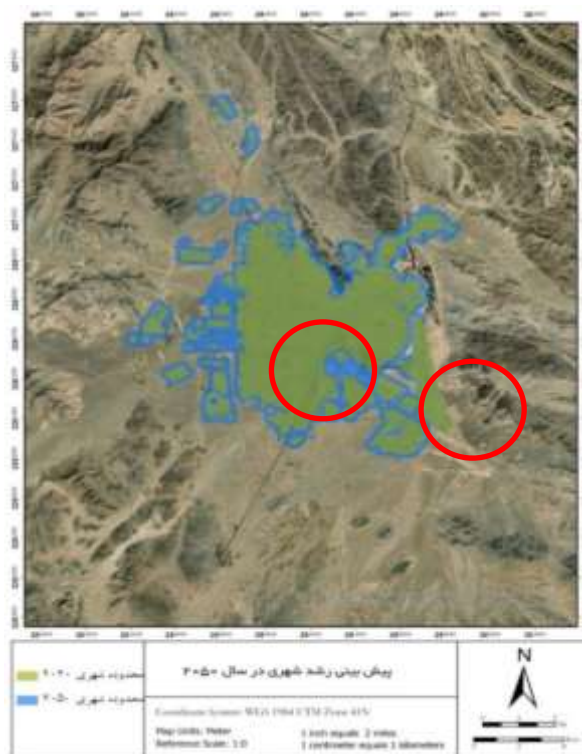
شکل ۶. فراوانی سلول‌های دارای پتانسیل شهری در شبیه‌سازی گذشته تا حال (به درصد)

برای اعتبارسنجی خروجی مدل، از روش ضریب کاپا استفاده گردید. در اعتبارسنجی به روش کاپا، نقشه شهری باینری سال ۱۴۰۰ به‌عنوان مرجع انتخاب گردید. سپس خروجی شبیه‌سازی نیز به‌صورت باینری شهر/غیرشهر تهیه شد. برای اعتبارسنجی به روش کاپا هر دو نقشه وارد نرم‌افزار ENVI که دارای این قابلیت می‌باشد گردید و ضریب کاپای محاسبه‌شده، مطابقت ۹۵ درصدی نتایج شبیه‌سازی با واقعیت را نشان داد؛ که این عدد نشان می‌دهد که رشد شهر زاهدان تنها براساس عوامل فیزیکی نبوده است. بلکه ۴۰ درصد باقی‌مانده عوامل اجتماعی و اقتصادی و... می‌باشند که رشد و الگوی رشد شهر را از سال ۱۹۹۰ تاکنون تحت تأثیر قرار داده‌اند. البته در تحلیل این عدد فقط به درصد موفقیت‌آمیز ۶۰ نمی‌توان بسنده کرد؛ زیرا الگو و شکل گسترش شهر در طی زمان نیز می‌تواند نتایج شبیه‌سازی را بیشتر به عوامل غیرفیزیکی سوق دهد.

پس از تنظیم ضرایب به‌دست‌آمده در مرحله کالیبراسیون، بخش پیش‌بینی مدل اجرا می‌شود در آن مرحله تعداد تکرار مونت‌کارلو باید تعداد زیاد در نظر گرفته شود. در این تحقیق به‌منظور پیش‌بینی تعداد تکرار مونت‌کارلو برابر با ۱۰۰ به دلیل حداکثر تکرار و محاسبه بیشترین حد صحت پیش‌بینی در نظر گرفته شد. نتایج اجرای پیش‌بینی، تولید تصاویر با فرمت

GIF برای هر یک از سال‌های مدت پیش‌بینی است. در این تحقیق بازه زمانی ۳۰ ساله از ۱۴۰۰ تا ۱۴۳۰ مدنظر است. هریک از تصاویر خروجی دارای مقادیری است که نشان‌دهنده احتمال شهر شدن آن در سال موردنظر است که پس از ورود تصاویر به محیط GIS پیکسل‌های با احتمال بیش از ۷۰ درصد به‌عنوان مناطق شهری در نظر گرفته شد و به کمک تابع باز طبقه‌بندی، نقشه مناطق شهری در سال‌های موردنظر تهیه شد. براساس نتایج پیش‌بینی رشد شهری زاهدان تا افق سال ۱۴۳۰ میلادی، شاهد رشد مناطق شهری اغلب به صورتی لبه-ای خواهیم بود. بدین صورت که رشد آتی شهر در کناره‌های بافت موجود شکل می‌گیرد. رشد شهری زاهدان در درجه اول به صورت درونی خواهد بود. بدین معنا که ابتدا اراضی بایر و ذخیره شهری داخل محدوده مصوب رشد خواهند داشت و بعد از پرشدن این اراضی، رشد شهر از لبه‌های شهر اتفاق می‌افتد. اما این روند رشد از لبه در همه مناطق به یک شکل اتفاق نمی‌افتد و برخی از مناطق بخصوص دو محدوده مشخص شده در شکل ۷ رشد بیشتری را متحمل می‌شوند. از آنجایی که عمده رشد حاشیه‌نشینی زاهدان در قسمت شما شرقی و شرق آن، حتی از خارج از حریم شهر بوده است، رشد دو منطقه مشخص شده در غرب و جنوب غربی شهر، نشانگر مطلوبیت بالای این مناطق برای رشد آتی خواهد بود و زمین‌های قابل سکونت در قسمت‌های حاشیه‌نشین رو به اتمام خواهد بود. این بدین معنی است که رشد مناطق مذکور می‌تواند به صورت کاملاً برنامه‌ریزی شده طراحی گردد. الگوی رشد شهر زاهدان نیز تا افق ۱۴۰۰ تمایل به حفظ شکل فعلی شهر دارد. برخلاف الگوی رشد شهر مابین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ که عمدتاً در غرب شهر شاهد ایجاد لکه‌های شهری به صورت پراکنده در غالب سیاست‌های شهرک‌سازی‌های گسترده آن دهه بوده‌ایم، رشد شهری تا افق سال ۱۴۳۰ رشد خودبخودی و پراکنده‌ای نخواهد داشت و عمدتاً از الگوی وضع موجود و به صورت لبه‌ای در غالب الحاق شهرک‌های غدیر و جهاد به مناطق ۲ و ۱ شهر زاهدان پیروی خواهد کرد. همچنین با در نظر گرفتن اینکه مطلوبیت توسعه اراضی در نیمه غربی شهر بیشتر از نیمه شرقی آن است، الگو و میزان رشد ۱۴۰۰ منطقی‌تر و مناسب‌تر می‌نماید. باتوجه به اینکه بیشتر عوامل محدود کننده رشد شهری در قسمت شرقی قرار گرفته‌اند مانند فردوگاه، مسیل سیلاب‌ها، ارتفاعات با شیب‌های نامناسب و... تغییر جهت الگوی رشد در افق ۱۴۳۰ به

سمت غربی و جنوبی نشانگر موفقیت طرح‌های توسعه شهر و برنامه‌ریزان شهری در شکل-دهی مطلوب به توسعه شهر زاهدان است. همین‌طور عامل مهم شبکه ارتباطی نیز نقش بسیار پررنگی در رشد آینده ایفا می‌کند به گونه‌ای که حتی به صورت بصری نیز می‌توان مشاهده کرد که رشد فیزیکی آتی شهر به سمت رشد متمایل به جاده است و سعی در پرکردن خلأ-ء‌های بین راه‌ها و بافت موجود دارد. به گونه‌ای که حتی کمربندی شهر نیز نتوانسته است مانع این تمایل به رشد متاثر از جاده گردد و آن را محدود کند.



شکل ۷. شبیه‌سازی رشد شهری زاهدان تا افق ۱۴۳۰

رشد فیزیکی شهر باید هماهنگی و تناسب با رشد جمعیت داشته باشد و به گونه‌ای باید رشد داشته باشد که جوابگوی جمعیت اضافه شده باشد. با توجه به شکل ۷ روند رشد مساحت مابین سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ از ۳۶۸۴ هکتار به ۷۲۹۷ هکتار، یعنی تقریباً دو برابر شده

است. براساس خروجی‌های حاصل از مدل SLEUTH این رشد مساحت شهر زاهدان تا سال ۱۴۳۰ به مقدار ۱۰۸۱۹ هکتار خواهد رسید که تقریباً ۳۰ درصد نسبت به سال ۱۴۰۰ رشد خواهد داشت. بنابراین براساس روند رشد مساحت در بازه مورد بررسی تقریباً روند یکنواختی دارد. از نظر رشد جمعیتی اما الگوی رشد بعد از سال ۱۳۷۰ با نرخ کمتری رشد داشته است و باتوجه به میانگین نرخ رشد جمعیت زاهدان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰، جمعیت آینده در سال ۱۴۳۰ براساس همین نرخ رشد برابر با ۶۱۸۶۶۳ نفر خواهد بود. از طرفی باتوجه افزایش مساحت حدود ۳۰ درصدی در سال ۱۴۳۰، شاهد کاهش تراکم جمعیت در سال ۱۴۳۰ به میزان ۵۷ نفر در هکتار از ۸۹ نفر در هکتار خواهیم بود. این مقدار نشانگر سبقت گرفتن میزان رشد فیزیکی شهر از رشد جمعیتی آن است و به معنای گسترش افقی و کالبدی شهر بیش از حد نیاز شهر زاهدان است.



شکل ۷. نتایج برآورد مساحت و جمعیت شهر زاهدان

(مأخذ: نتایج پژوهش و بازنگری طرح تفصیلی شهر زاهدان، مهندسین مشاور شهر و خانه، ۱۴۰۰)

۲.۵. نتایج امکان‌سنجی جمعیت‌پذیری گسترش شهر زاهدان در افق ۱۴۳۰

برآورد جمعیت‌پذیری مناطق رشدیافته در سناریوهای رشد شهری نقش مهمی در برنامه‌ریزی کالبدی و خدماتی آن خواهد داشت. در این پژوهش جمعیت‌پذیری مناطق گسترش‌یافته جدید براساس تراکم جمعیتی ۱۱۳ نفر در هکتار پیشنهادی طرح جامع ابلاغی

۱۳۹۰ انجام شد. بدین ترتیب مساحت مناطق رشدیافته جدید براساس تراکم جمعیتی محاسبه گردیده و از این طریق جمعیت پذیری حداقل محاسبه می‌گردد.

$$\text{PoP} = A * Ca$$

در این رابطه PoP جمعیت شهر در آینده به نفر، A مساحت جدید اضافه شده به شهر به مترمربع، Ca تراکم جمعیتی (نفر در هکتار) می‌باشد.

$$A = ۱۴۰۰ \text{ مساحت سال } ۱۴۳۰ - \text{مساحت سال } ۱۴۰۰ = ۳۵۲۱/۸۴۷۵$$

$$\text{PoP} = ۳۵۲۱/۸۴۷۵ * ۱۱۳ = ۳۹۷۹۶۸ \text{ نفر}$$

جدول ۶. برآورد جمعیت پذیری شهر تا سال ۲۰۵۰ بر اساس تراکم جمعیتی

برآورد جمعیت نهایی شهر (به نفر)	برآورد جمعیت پذیری مساحت اضافه شده (به نفر)	برآورد مساحت اضافه شده (به هکتار)	برآورد مساحت کل شهر (به هکتار)
۹۸۵۶۹۸	۳۹۷۹۶۸	۳۵۲۱,۸۴۷۵	۱۰۸۱۹,۶۴۷۵

باتوجه به جدول ۵ مساحت اضافه شده به شهر زاهدان در سال ۱۴۳۰ برابر با ۳۵۲۱ هکتار خواهد بود که اضافه شدن این مقدار مساحت به شهر، قابلیت جمعیت پذیری ۳۹۷۹۶۸ نفری را خواهد داشت. براین اساس، جمعیت پذیری نهایی شهر زاهدان در افق سال پیش بینی برابر با ۹۸۵۶۹۸ نفر خواهد بود. این مقدار در مقایسه با برآورد رشد جمعیت براساس میانگین نرخ رشد جمعیت، حدود ۳۰۰ هزار نفر بیشتر است. این بدین معنی است که میزان مساحت اضافه شده به شهر زاهدان تا افق ۱۴۳۰ کاملاً جوابگوی افزایش جمعیت و ساکنان خواهد و هیچ نیازی به توسعه محدوده‌های جدید نخواهد بود. باتوجه پیش‌بینی‌ها و خروجی‌های این مطالعه، تراکم جمعیتی ۱۱۳ نفر در هکتار مدنظر طرح جامع شهر زاهدان برای افق ۱۴۳۰ بسیار رقم بزرگتری نسبت به جمعیت‌پذیری و رشد جمعیتی شهر دارد و می‌توان اینگونه بیان کرد که این مقدار باعث پراکنده‌رویی و رشد بیش از حد افقی شهر می‌گردد. رشد افقی شهرها مشکلات بسیاری مانند هزینه‌های بالای تامین خدمات شهری مانند آب آشامیدنی، فاضلاب و حمل و نقلی و... را دارد و می‌تواند به گسترش افسار گسیخته مناطق حاشیه‌نشین و اسکان غیررسمی نیز دامن بزند. بنابراین، طبق پیش‌بینی‌های این مطالعه از طریق شبیه‌سازی رشد

شهری براساس مطلوبیت اراضی برای توسعه و الگوهای رشد حاصل از مدل SLEUTH-3r، الگوی مناسب توسعه شهری زاهدان، الگوی متراکم و فشرده با الویت توسعه در مناطق درونی محدوده و سپس مناطق غربی و جنوبی بافت موجود است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش ذکر این نکته را ضروری می‌نماید که باتوجه به محدودیت‌های تمامی مدل‌ها در مدل‌سازی شهر، مدل SLEUTH نیز محدودیت‌هایی دارد که از آن جمله تعامل ضعیف این مدل در قلمداد کردن عوامل غیرفضایی و ذهنی مانند عوامل فرهنگی و هرگونه عاملی که نمی‌توان به صورت فضایی، مکانی و کمی تبدیل کرد. پس خروجی‌های این مدل و در نتیجه این پژوهش نیز نمی‌تواند بازخورد تمام عوامل مؤثر در رشد شهر را در شبیه‌سازی رشد آینده شهر دخالت دهد و واقعیتی قطعی از رشد آینده ارائه کند؛ اما در این پژوهش برای کاستن از محدودیت‌های مدل روش شبیه‌سازی با در نظر گرفته عوامل مؤثر در رشد شهر زاهدان به دخالت عوامل مؤثر در رشد آینده شهر از دیدگاه‌های مختلف پرداخته است.

الگوی شهر زاهدان بر اساس نتایج کالیبراسیون مدل، رشد متأثر از شبکه حمل‌ونقل و رشد ارگانیک می‌باشد که در شبیه‌سازی‌های رشد آینده نیز همین الگوهای رشد بیشتر نمایان هستند. پیش‌بینی‌های مدل‌سازی برای سال ۱۴۳۰ نشان داد که باوجود درصد رشد شهری در سال‌های بین ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰، در افق پیش‌بینی از سرعت رشد فیزیکی شهری کاسته می‌گردد. یکی از موارد مؤثر در این موضوع، در نظر گرفتن محدودیت‌ها و عوامل مؤثر در رشد شهری زاهدان به طور منحصر بفرد است. زیرا عمده پیش‌بینی‌های انجام شده به صورت بسیار ساده از نتیجه برآورد حداقل زمین مورد نیاز طبق سرانه است. اما این مطالعه، با در نظر گرفتن نقش عوامل مهم و تاثیرگذار در رشد منحصر بفرد زاهدان و تحلیل نرم‌افزاری و دریافت نظرات کارشناسان از طریق روش AHP، توانسته است الگو و میزان واقع‌گرایانه‌تری از رشد آتی شهر زاهدان را ارائه کند. همانگونه که انتظار می‌رفت، اراضی غربی شهر پتانسیل و مطلوبیت بیشتری برای توسعه داشتند که در عمل نیز نتایج پیش‌بینی مدل برای سال ۱۴۳۰ نیز بر این موضوع تاکید دارد. بنابراین الگو و میزان رشد شهر زاهدان بیانگر تاثیرپذیری از عوامل

مورد استفاده در این مطالعه بوده است. باتوجه به اینکه اقلیم و جغرافیای شهر زاهدان، خشک و بیابانی است، گسترش شهری پیش‌بینی شده در این مطالعه نشان داد که این رشد آسیمی به محیط‌زیست و اکولوژی طبیعی شهر نمی‌رساند و عمده اراضی بایر اطراف شهر به کاربری شهری تبدیل می‌شوند. اما در برخی مناطق مانند مناطق شرقی، الگو و میزان رشد باعث گسترش شهر در مناطق نامناسب از نظر شیب و ارتفاع و مسیل‌های سیل‌گیر می‌شود که علاوه بر این تامین خدمات شهری را نیز با مشکل مواجه می‌کند. در شهر زاهدان با دپدیده شهر رسمی و غیررسمی مواجه هستیم. زاهدان شهری است که میزان اسکان غیررسمی و حاشیه‌نشینی در آن بسیار بالاست و عمده این مناطق نیاز در سمت شرقی شهر و حتی خارج از محدوده و حریم شهر گسترش یافته‌اند. علاوه بر این آمارهای جمعیتی نیز گاه ضدونقیض می‌شود. همین موارد باعث می‌شود تا اثرات رشد شهری برای تحلیل‌هایی که به صورت رسمی آماده می‌شوند همواره مطابق با واقعیت نباشند. در این مطالعه، سعی شد تا درصد تغییرات اراضی شهری و مدل‌سازی رشد آینده را فقط به محدوده‌های سیاسی محدود نکرد و با در نظر گرفتن محدوده‌ای بزرگتر از حریم شهر، بتوان بیشتر سکونتگاه‌های موجود را در نظر گرفت. همانگونه که نتایج مدل‌سازی رشد تا افق ۱۴۳۰ و محاسبات جمعیت‌پذیری نشان داد، تغییرات رشد شهری و جمعیتی تفاوت فاحشی باهم دیگر دارند که این موضوع به عدم وجود آمار جمعیتی درست از شهر و گسترش بیش از اندازه محدوده‌های غیررسمی است. در مجموع می‌توان این‌گونه اظهار نظر کرد که باتوجه به کارکرد مناسب مدل رشد شهری SLEUTH-3r در کالیبراسیون الگوها و ضرایب رشد شهری، در نظر گرفتن عوامل موثر منحصر بفرد در رشد شهر زاهدان و اعتبارسنجی نتایج مدل، از نتایج این تحقیق در برنامه‌ریزی‌های آتی شهر زاهدان استفاده کرد.

براساس نتایج و یافته‌های بدست آمده از این پژوهش و مقایسه با مطالعات گلاستر و همکاران (۲۰۱۸)، پراکندگی به‌عنوان یک فرایند بدون در نظر گرفتن الگو نمی‌تواند مشخص شود. آریا و کابرا (۲۰۱۹) چنین نرخ رشد بالایی در منطقه مورد مطالعه خود را بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ گزارش داده بودند. این نکته حقیقت آن است که افزایش در مناطق ساخته‌شده می‌تواند به‌عنوان کاهش در زمین‌های طبیعی در حاشیه شهرها تعبیر گردد. این مطالعه با

استفاده از مدل SLEUTH-3R که نسخه بهبود یافته مدل (SLEUTH) یکی از انواع مدل-های سلول‌های خودکار است، انجام شد. بنابراین این پژوهش از نظر شیوه اجرا و نوع مدل مورد استفاده، با تمام مطالعات انجام شده در کشور متفاوت بوده اما با مطالعات انجام شده در خارج از کشور، توسط ساکسنا و جات (۲۰۱۹)، آگیمانگ و همکاران (۲۰۱۹)، لی و همکاران (۲۰۱۸)، مارتلوزو و همکاران (۲۰۱۸) یکسان است. همچنین این پژوهش در یکی از نواحی ساحلی کشور انجام شده است و با مناطق مطالعاتی مورد بررسی در مطالعات سلمان ماهینی و کریمی (۲۰۱۱)، ماهینی و غلامعلی‌فرد (۲۰۰۷)، مومنی (۱۳۸۹)، رفیعی (۱۳۸۶)، رسولی و همکاران (۱۳۹۵)، جعفرنژاد و ماهینی (۱۳۹۴)، ساکیه و همکاران (۲۰۱۵)، بی‌همتا و همکاران (۲۰۱۵)، کلارک و ماهینی (۲۰۱۳) و داداش‌پور و همکاران (۲۰۱۹) متفاوت است. ضرایب حاصل از کالیبراسیون شهر زاهدان نشان می‌دهد که ضریب پخش با مقدار ۸۳ بالاترین مقدار را دارد. ضریب گرایش به جاده با مقدار ۶۰ می‌باشد و در رده دوم قرار دارد، بیانگر تأثیر جاده‌ها و زیرساخت‌های حمل‌ونقلی در رشد و توسعه شهر و ساخت‌وسازهای جدید می‌باشد. ضریب رده سوم با مقدار ۲۲ ضریب مقاومت به شیب می‌باشد. ضریب زایش ضریب با مقدار ۵، در رتبه چهارم از نظر تأثیر در رشد شهر زاهدان قرار دارد. آخرین ضریب که تقریباً در فرآیند رشد شهر تأثیری چندانی در شهر زاهدان نداشته است، ضریب انتشار با مقدار ۲ می‌باشد. کالیبراسیون مدل نشان می‌دهد که مهم‌ترین نیروی محرکه رشد شهری در منطقه مورد مطالعه ضرایب پخش، جاذبه جاده و مقاومت به شیب هستند. به نحوی که رشد شهری بیشتر از طریق توسعه اراضی رها شده‌ی درون شهری و همچنین در حاشیه‌ها، تحت تأثیر شبکه حمل و نقل صورت می‌گیرد، اما این توسعه تا حد زیادی متأثر از ویژگی‌های توپوگرافی منطقه کنترل می‌شود. ضرایب دیگر شامل ضریب زایش و انتشار، نقش کمتری در روند کلی رشد شهر زاهدان دارند، به این معنی که توسعه خوشه‌های جدید شهری در مناطقی که زیرساخت‌های شهرسازی وجود ندارد، با احتمال بیشتری پخش خواهد شد و رشد شهر توسط عوامل طبیعی مانند شیب، ارتفاع و عوامل انسان ساخت همچون جاده‌ها نظم داده می‌شود. با در نظر گرفتن سایر کاربردهای مدل SLEUTH در ایران (مشهد، گرگان، علی‌آباد، اصفهان، تبریز و کرج) می‌توان گفت که ضرایب تعیین کننده انواع الگوهای رشد شهری در این

مطالعات دارای مقادیر تفاوت هستند که این امر به دلیل قابلیت بالای مدل SLEUTH در قسمت‌ها و منطقه‌های مختلف بوده و موجب شده که مقادیر این ضرایب، منعکس کننده خصوصیات محلی منطقه مورد مطالعه باشند. با توجه به اینکه توسعه شهری فرآیندی سیستمی و پیچیده است و به فاکتورها و عوامل زیاد و مختلفی ارتباط دارد، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به منظور پیش‌بینی و شبیه‌سازی هوشمندتر و کم‌خطا از رشد شهری در نظر گرفتن مولفه‌های متعدد در مدلسازی، سناریوهای مختلف تاثیر بر محیط‌زیست، اقتصادی-اجتماعی تهیه و مورد آزمون قرار گیرند. در نهایت پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، به منظور بدست آوردن نتایج دقیق و درست از مکانیسم رشد چندزمانی-تاریخی و سناریوهای پیش‌بینی رشد کالبدی-فیزیکی در دنیای واقعی، به استفاده از قوانین خوداصلاحی مدل SLEUTH-3r توجه بیشتری شود.

کتابنامه

۱. ابراهیم زاده، ع.؛ و بریمانی، ف.؛ نصیری، ی. (۱۳۸۳). حاشیه نشینی؛ ناهنجاری‌های شهری و راهکارهای تعدیل آن موردشناسی؛ کریم‌آباد زاهدان. جغرافیا و توسعه، ۲(پیاپی ۳)، صص ۱۲۱-۱۴۳.
۲. اسفنده، س.؛ دانه‌کار، ا.؛ سلمان‌ماهینی، ع. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی و پیش‌بینی الگوی رشد شهری تا سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل SLEUTH-3R (مطالعه موردی: ناحیه ساحلی شهرستان پارسیان). مجله محیط‌شناسی، دوره ۴۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، صص ۵۳-۷۲.
۳. جمشیدزهی شه‌بخش، ا.؛ قنبری، سیروس. (۱۳۹۹). خزش شهری و تحولات کالبدی - فضایی سکونتگاه‌های پیراشهر زاهدان. مجله توسعه فضاهای پیراشهری.
۴. رسولی، م.؛ سلمان‌ماهینی، ع.؛ کامیاب، ح. ر. (۱۳۹۵). تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل SLEUTH برای شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزادشهر. آمایش جغرافیایی فضا، ۲۱(۶)، ۱-۱۲.
۵. ساکیه، ی. (۱۳۹۴). تعیین محورهای توسعه پایدار شهر کرج بر اساس شبیه‌سازی توسعه شهر و توان محیط‌زیست، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۶. کامیاب، ح؛ سلمان ماهینی، ع. (۱۳۹۷). مقدمه‌ای بر مدلسازی توسعه شهری و کاربردهای آن (چاپ اول). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۷. کریمی، م. (۱۳۹۱). درسنامه سامانه‌های پشتیبان برنامه‌ریزی مکانی، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
۸. مبرقعی، ن. (۱۳۸۹). لزوم تحقق مدیریت یکپارچه محیط زیست شهری.
۹. مومنی، ا. (۱۳۸۹). مدلسازی رشد شهری شهر تهران تا سال ۲۰۱۰ با استفاده از مدل SLEUTH. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران.
۱۰. مهدی‌زاده، ح؛ جمور، ی. (۱۳۹۷). مطالعه امکان‌سنجی جایگزینی ترازیبی دقیق با GPS/Levelling در منطقه ایران. نشریه علمی-پژوهشی علوم زمین، سال ۲۷، شماره ۱۰۷، بهار ۱۳۹۷، صص ۱۸۵-۱۹۲.
11. Agyemang, F. S. K., Silva, E., Poku-Boansi, M., kamuzu, F., Silva, E., & Poku-Boansi, M. (2019). Understanding the urban spatial structure of Sub-Saharan African cities using the case of urban development patterns of a Ghanaian city-region. *Habitat International*, Volume 85, Pages 21-33.
12. Akin, A., Clarke, K.C. and Berberoglu, S., (2014). The impact of historical exclusion on the calibration of the SLEUTH urban growth model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27, pp.156-168.
13. Al-shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S. and Al-Sharif, A.A., (2013). Modelling urban growth evolution and land-use changes using GIS based cellular automata and SLEUTH models: the case of Sana'a metropolitan city, Yemen. *Environmental earth sciences*, 70(1), pp.425-437.
14. Barredo, J.I., Kasanko, M., McCormick, N. and Lavalle, C., (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and urban planning*, 64(3), pp.145-160.
15. Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH Urban Growth Model to Simulate Future Urban Expansion of the Isfahan Metropolitan Area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43(2), 407-414.
16. Clarke, K. C., & Gaydos, L. J. (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science* : IJGIS, 12(7), 699-714.
17. Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 247-261.

18. COHEN, B. 2006. Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technology in society*, 28, 63-80.
19. Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Analyzing spatial patterns, driving forces and predicting future growth scenarios for supporting sustainable urban growth: Evidence from Tabriz metropolitan area, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101502.
20. JANTZ, C., DRZYZGA, S. & MARET, M. 2014. Calibrating and Validating a Simulation Model to Identify Drivers of Urban Land Cover Change in the Baltimore, MD Metropolitan Region. *Land*, 3, 1158-1179.
21. Leao, S., Bishop, I. and Evans, D., (2001). Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modeling in a GIS environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 33(4), pp.289-313
22. Leao, S., Bishop, I. and Evans, D., (2004). Simulating urban growth in a developing nation's region using a cellular automata-based model. *Journal of Urban Planning and Development*, 130(3), pp.145-158.
23. Li, F., Wang, L., Chen, Z., Clarke, K. C., Li, M., & Jiang, P. (2018). Extending the SLEUTH model to integrate habitat quality into urban growth simulation. *Journal of Environmental Management*, 217, 486-498.
24. Mahini, A. S., Gholamalifard, M. (2007). Dynamic spatial modeling of urban growth through cellular automata in a GIS environment. *International Journal of Environmental Research (IJER)*, 1(3), 272-279.
25. Sakieh, Y., Amiri, B. J., Danekar, A., Feghhi, J., & Dezhkam, S. (2015). Simulating urban expansion and scenario prediction using a cellular automata urban growth model SLEUTH, through a case study of Karaj City, Iran. *Journal of Housing and the Built Environment*, 30(4), 591-611. <http://www.jstor.org/stable/43907352>.
26. Sakieh, Y., Salman Mahiny, A., Jafarnezhad, J., Mehri, A., Kamyab, H., & Galdavi, S. (2015). Evaluating the strategy of decentralized urban land-use planning in a developing region. *Land Use Policy*, 48, 534-551.
27. Saxena, A., & Jat, M. K. (2019). Capturing heterogeneous urban growth using SLEUTH model. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 426-434.
28. Saxena, A., & Jat, M. K. (2020). Land suitability and urban growth modeling: Development of SLEUTH Suitability. *Computers, Environment and Urban Systems*, 81, 101475.
29. UNITED NATIONS, D. O. E. A. S. A., POPULATION DIVISION 2020. World urbanization prospects, the 2021 revision. *United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division*. New York.
30. Wang, H., He, S., Liu, X., Dai, L., Pan, P., Hong, S. and Zhang, W., (2013). Simulating urban expansion using a cloud-based cellular automata model: A case study of Jiangxia, Wuhan, China. *Landscape and urban planning*, 110, pp.99-112.

31. Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature*, 311(5985), 419–424.
32. Wu, X., Hu, Y., He, H.S., Bu, R., Onsted, J. and Xi, F., (2009). Performance evaluation of the SLEUTH model in the Shenyang metropolitan area of northeastern China. *Environmental modeling & assessment*, 14(2), pp.221-230.
33. Yang, X. and Lo, C.P., (2003). Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(5), pp.463-488.
34. ZHOU, X., Wang, Y. and SANGAWONGSE, S., Prediction Urbanization Process using SLEUTH and Its Temporal Accuracy Evaluation. *Department of Geography, National University of Singapore & Department of Geography, Chinag Mai University*.