صفحات ۶۱ - ۷۰ (علمی-پژوهشی)
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۴ ● شماره ۴ ● زمستان ۱۳۹۸

کاربست مدل‌های فضایی به منظور پیش‌بینی رشد فضایی شهرساری*

اسفندیار زبردست[۱]، محمدرضا رستمی[۲]****

[۱] استاد دانشکده شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۲] کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۸/۱۹)

چکیده

رشد سریع مراکز جمعیتی و تبدیل آنها به شهرهای بزرگ موجب برهم‌خوردن تعادل میان محیط انسان ساخت و طبیعی می‌گردد. از این‌رو به همراه رشد بسیاری از شهرها در ایران، محیط طبیعی نیز به زیر ساخت‌وساز می‌روند که این امر در تضاد با اصل توسعه پایدار است. مقاله حاضر که با هدف بررسی رهیافت‌ها و مدل‌های مربوط به پیش‌بینی رشد شهر و بکارگیری مدل مناسب برای نمونه مورد مطالعه(شهر ساری) تدوین شده است، در پی آن بوده، که پیش‌بینی دقیقی از میزان و جهت رشد شهر ساری و مناطق اطراف آن ارائه دهد. بدین منظور با توجه به اهداف و امکانات از روش تحقیق استنتاجی و روش قیاسی استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان از آن دارد که مدل SLEUTH بدلیل توانایی آن برای انجام مدل‌سازی پویای فضایی- زمانی، عدم وابستگی به مقیاس مکانی، امکان شبیه‌سازی هم‌زمان چهار نوع رشد شهر، مناسب‌تر از سایر مدل‌های بررسی شده برای پیش‌بینی رشد شهر ساری است. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که رشد شهر ساری تا سال ۱۴۱۰ به اندازه ۳۹۴ هکتار می‌باشد. این رشد بیشتر در قسمت غرب، شمال غربی، شمال و شرق شهر بوده که دلیل آن را می‌توان وجود رشد ذاتی در این مناطق دانست.

واژه‌های کلیدی

الگوهای رشد شهری، مدل SLEUTH، مدل‌های پیش‌بینی رشد شهر، رشد شهر.

*مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده دوم تحت عنوان: "کاربست مدل‌های فضایی در هدایت و کنترل گسترش فضایی شهرها(نمونه موردی: شهر ساری) به راهنمایی نگارنده اول در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی است.

**نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۱۱۱۹۲۳۱۱، نمابر: ۶۶۴۱۵۲۸۲-۰۲۱، E-mail: Rostami_mrr@yahoo.com.

مقدمه

رشد شهری و مهاجرت جمعیت از روستاها به شهرها از مهم‌ترین پدیده‌های جهانی می‌باشند. مراکز جمعیتی کوچک و ایزوله، به صورت رو به رشدی در حال تبدیل‌شدن به مناطق بزرگ شهری هستند که این تبدیل به صورت واضح با تبدیل‌شدن مناطق طبیعی به کاربری شهری همراه می‌باشد. این موضوع در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران بدلایلی چون عدم توزیع متناسب منابع و خدمات در طرح‌ها و برنامه‌های ملی و منطقه‌ای از شدت بیشتری برخوردار است. نحوه رشد شتابان در برخی از شهرها حالتی پراکنده و گسسته داشته و با اتلاف اراضی کشاورزی و باغی حاشیه شهرها و تضییع منابع محیط زیست، به خصوص در شهرهای شمالی ایران که دارای اراضی با ارزش زیست محیطی می‌باشند، همراه بوده است. برنامه‌ریزی، در پاسخگویی به اصل توسعه پایدار، و به منظور حفظ این اراضی ارزشمند، نیاز به آگاهی از وضعیت احتمالی شهر در آینده دارد تا بتواند سیاست‌های مناسبی در این راستا اتخاذ نماید. مورد مطالعاتی این پژوهش(شهر ساری) نیز از این قائده مستثنی نیست. با وجود امکان توسعه درونی، سالانه مساحت زیادی از اراضی کشاورزی اطراف شهر ساری به کاربری‌های شهری اختصاص داده می‌شود که به رشد پراکنده و بی‌رویه این شهر دامن می‌زند. چنین رشدی مشکلات اقتصادی، اجتماعی، کالبدی و زیست‌محیطی فراوانی را در پی خواهد داشت.

از این رو هدف اصلی این پژوهش ارائه و بکارگیری روشی با استفاده از مدل‌سازی فضایی رشد شهر و GIS[1] در زمینه برنامه‌ریزی شهری است تا پیش‌بینی دقیقی از پدیده رشد شهری در شهر ساری و مناطق اطراف آن حاصل شود و به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیمسازی و تصمیم‌گیری زمینه لازم برای اتخاذ برنامه‌ها و سیاست‌های مناسب جهت هدایت و کنترل شهر ساری را فراهم آورد.

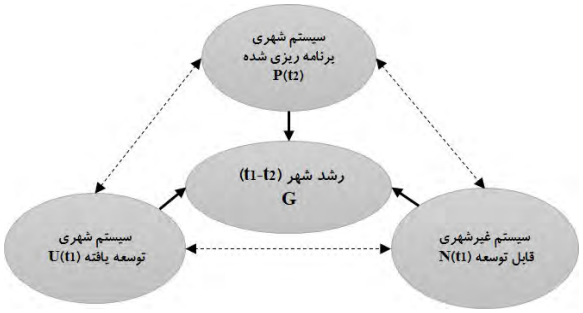
بنابراین به منظور دستیابی به هدف فوق پس از مروری مختصر بر متون نظری مرتبط و انتخاب مدل SLEUTH از میان مدل‌های مختلف و تشریح آن، این مدل در شهر ساری بکارگرفته می‌شود تا میزان و جهت رشد ساری تا سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی گردد که در ادامه بدان اشاره می‌گردد.

۲- مروری مختصر بر متون نظری مرتبط

توسعه شهری، متشکل از توسعه و گسترش فیزیکی (رشد شهر) و تغییرات عملکردی (شهرگرایی) است. برای ادراک رشد شهری، فضا و فعالیت باید به عنوان عوامل اصلی و پایه‌ای هر سیستمی تعریف شوند. در(نمودار ۱)، فرض بر این است که رشد شهری در دوره زمانی مشخص t_1 تا t_2 اتفاق افتاده است، بدیهی است که تحول رشد شهری ارتباط تنگاتنگی با سه سیستم با عناوین: سیستم شهری برنامه‌ریزی‌شده (P)، سیستم شهری توسعه یافته (U) و سیستم غیرشهری قابل توسعه (N) دارد (Cheng, 2003: 3). بنابراین می‌توان رشد شهر را یک نوع سیستم خودسازمانده دانست که ناشی از رفتار سه سیستم، همچون یک کل، است.

۲-۱. مروری بر رهیافت‌های مدل‌سازی پیچیدگی رشد شهر

یکی از گام‌های مهم برای درک الگوی رشد شهرها، کمی‌کردن رشد شهری و جابجایی‌های زمانی- فضایی آنها است (Berling-Wolff & Wu, 2004). مدل‌های رشد شهری می‌توانند نقش مهمی را در این فرآیند بازی کنند. برخی از این مدل‌ها از دهه ۱۹۵۰ میلادی توسط برنامه‌ریزان، جغرافیدانان و بوم‌شناسان شهری توسعه یافته‌اند (Berling-Wolff & Wu, 2004). به عنوان مثال، مدل‌های مبتنی بر سلول‌های خودکار[2] (CA)، مدل‌های آماری فضایی[3]، مدل‌های عامل مبنا[4] (ABM)، شبکه عصبی مصنوعی[5] (ANN)، مدل‌سازی فرکتال[6] و مدل‌سازی آشفتگی و فروگشتی[7] (Cheng et al., 2003) برخی از این تکنیک‌های مدل‌سازی هستندکه با شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد آتی شهر ارتباط دارند (Wu et al., 2009). پس از بررسی رهیافت‌های مختلف مرتبط با مقوله رشد شهر، مزایا و معایب هر کدام در (جدول ۱) ارائه شده است که در این میان، مدل‌های مبتنی‌بر سلول‌های خودکار (CA) بدلیل تمرکز بر مقیاس‌های کوچک (شهر و منطقه)، ارتباط با GIS (Cheng el al., 2003) و ویژگی اساسا فضایی و پویای آنها (White & Engelen, 2000) از مناسبت بهتری برای پیشبنی رشد شهر نسبت به سایر رهیافت‌ها برخوردارند.



نمودار ۱- رشد شهر کجا اتفاق می‌افتد؟
مأخذ: (Cheng et al., 2003, 3)

۲- ۲. مروری بر مدل‌های مربوط به رشد شهر

مدل‌های مختلف تغییر کاربری زمین در گزارش سازمان حفاظت محیطی ایالت متحده[8] (USEPA 2000) آورده شده‌اند، که خلاصه‌ای از مدل‌ها برای ارزیابی اثرگذاری آنها برروی رشد اجتماع و تغییر الگوهای کاربری زمین، ارائه می‌دهد. این گزارش اساسی برای بررسی و مقایسه مدل‌های مختلف در ارتباط با داده‌های مورد نیاز، توانایی‌های فضایی و زمانی، ویژگی‌های عملیاتی پایه و هزینه و تخصص مهارتی/ فنی می‌باشد. در ادامه نقاط قوت و محدودیت‌های مدل‌های مرتبط با رشد شهر (LUCAS, SLEUTH, CUF-2, ITLUP, LTM) مورد بررسی قرار گرفته‌اند (جدول ۲).

جدول ۱- مزایا و معایب رهیافت های کلان مدل‌سازی رشد شهر.

رهیافت های مدلسازی	مزایا	معایب
سلول های خودکار	• ساده و بسیار انعطاف‌پذیر است. • شبیه‌سازی از پائین به بالا. • اساسا پویا و فضایی است.	• تعدیل نمایش پدیده‌های جهان واقعی، معمولا بدلیل ویژگی-های خلاصه‌شان.
عامل مبنا	• وسیله‌ای مناسب برای ادراک پیچیدگی تصمیم گیری برای رشد شهر در مقیاس میکرو.	• بر شبیه‌سازی رفتاری در سطح میکرو تمرکز دارد نه رشد شهر.
آمارهای فضایی	• نسبتا به داده‌های کمتری نیاز دارد • نشان دادن روابط بین رشد شهری و عوامل محرک • پیش‌نیاز محاسباتی برای این مدل‌ها مانند مدل CA حساس نیستند.	• ناکارآمدی در مدلسازی داده‌های فضایی و زمانی، بدلیل وجود فرضیات پایه.
شبکه عصبی	• نیاز به دانش قبلی از ارتباطات متغیر ندارد. • ابزار مدلسازی با پتانسیل بالا که می‌تواند مسائل پیچیده غیر خطی را کشف کند.	• جعبه سیاه و ماهیت ایستای آن. • مناسب برای کوتاه مدت.
فرکتال	• مطالعه اثر سیاست شهری بر رشد، از منظر تعاملات میان واحدهای تابع توسعه.	• برای موضوعات طبیعی. • در نظر نگرفتن بعد زمان در مدلسازی. • تفسیر اندازه‌های فرکتالی الگوهای فضایی شهری دشوار است.
آشفتگی و فروگشتی	• توضیح رفتار پیچیده زمانی رشد شهر.	• برای سطوح کلان ترتیب داده شده است. • داده‌های در دسترس درمورد مقیاس زمانی رشد شهری بسیار محدودتر از آنست که بتواند رفتار آن در دراز مدت را کشف کند

طبق بررسی و مقایسه مدل‌های گوناگون رشد شهر، مدل SLEUTH به دلایل زیر از میان آنها انتخاب شده است:

* این مدل وابسته به مقیاس نمی‌باشد، پویا، آینده‌گرا و منطبق با نیاز ضروری شبیه‌سازی رشد شهر در این پژوهش است.

* قوانین رفتاری هدایت رشد شهر در این مدل تنها ویژگی‌های فضایی سلول‌های همسایگی را در نظر نمی‌گیرد بلکه حدود و گستردگی فضایی شهر در وضع موجود، حمل‌ونقل و شیب زمین را نیز در نظر می‌گیرد. حمل و نقل و شرایط زمین عامل مهم محرکه تغییر منظر و چشم‌انداز شهری شناخته شده‌اند.

* این مدل همچنین می‌تواند خود را در صورت رشد سریع و یا ایستا که منجربه انحراف از توسعه رشد خطی معمول می‌گردد، تغییر دهد. این امر برای تولید پیش‌بینی رشد منطقی با ارزش می‌باشد.

* برخلاف دیگر مدل‌های موجود که توسط گروه‌های تحقیقاتی مختلف توسعه یافته است، طراحی این مدل این اجازه را به کاربر می‌دهد تا آن را در مناطق دیگر با مجموعه داده‌های متفاوت استفاده نماید، بنابراین این مدل برای استفاده در یک منطقه خاص، توسعه نیافته است. این امر می‌تواند در زمان و انرژی برای طراحی و برنامه‌نویسی مدل صرفه‌جویی کند و به محقق اجازه دهد تا برتنظیم و اعتبارسنجی مدل همچون سناریو طراحی و شبیه‌سازی تمرکز نماید.

* جزء معدود مدل‌های رشد شهر است که برای محققان دانشگاهی و دولتی مورد استفاده می‌باشد.

* اعتماد و برازش را مورد سنجش قرار می‌دهد و غیرخطی است.

* وضوح فضایی آن متناسب با تعریف کاربر می‌باشد و وضوح زمانی آن می‌تواند سالیانه باشد. همچنین متناسب با اندازه داده‌های در دسترس گذشته، می‌تواند به پیش‌بینی آینده بپردازد.

* خروجی گرافیکی و آماری دارد.

* امکان شبیه سازی هم زمان چهار نوع رشد شهر (رشد خودبه‌خودی[۹]، پراکنده[۱۰]، ذاتی[۱۱] و متأثر از جاده[۱۲]) را داراست.

۳- معرفی مدل SLEUTH

مدل SLEUTH در سال ۱۹۹۷م. توسط دکتر کیت کلارک[۱۳] در دانشگاه کالیفرنیا، سنتا باربارا[۱۴]، گروه جغرافیا به جامعه شبیه‌سازی شهری معرفی گردید، ۱۵ سال بعد یعنی در سال ۲۰۱۲ به عنوان یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبیه‌سازی شهری در نظر گرفته شده است (USGS, 2013).

مدل SLEUTH جزئی از مدل‌های سلول‌های خودکار (CA) می‌باشد که می‌تواند برای مدل‌سازی پویایی رشد و تغییرات پوشش زمین مورد استفاده قرار گیرد. SLEUTH، مخفف لایه‌های اطلاعاتی (شیب[۱۵]، کاربری اراضی[۱۶]، مستثنیات[۱۷]، مناطق شهری[۱۸]، شبکه‌های حمل‌ونقل[۱۹] و لایه پستی و بلندی زمین[۲۰]) مورد نیاز آن است که در زبان برنامه‌نویسی (C) ارائه شده است و توسط سیستم عامل لینوکس[۲۱] اجرا می‌شود.

جدول ۳- خروجی ضرایب رشد در مرحله نهایی کالیبراسیون.

انواع مدل ها	نقاط قوت	محدودیت ها
مدل LUCAS	• این مدل یک رابط کاربر گرافیکی فراهم می‌کند که به‌صورت بصری و ساده توسط کاربران با گستره وسیعی از توانایی‌های فنی و تجربه قابل فهم است. • این سیستم یک محیط محاسباتی انعطاف‌پذیر و تعاملی را برای مطالعات مدیریت مناظر فراهم می‌آورد.	• به عنوان یک بسته GIS ای غیرتجاری، بسیاری اشکالات هنوز در نرم‌افزار GRASS وجود دارد. همچنین برخی از ویژگی‌های GRASS به خوبی ثبت نشده‌اند. • این مدل برای کالیبره کردن نیازمند آموزش و تجربه است. • این مدل یک محصول تجاری نیست و توسعه یاقته شده تا توسط محققانی که با مدیران منابع کار می‌کنند مورد استفاده قرار گیرد.
مدل SLEUTH	• شبیه‌سازی همزمان چهار نوع رشد شهر (خود به خودی، پراکنده، ذاتی، متاثر از جاده). • فراهم آورن خروجی گرافیکی و آماری. • شامل حرکت از فراز و فرود با استفاده از ضریب آستانه با فروپاشی زمانی بعدی. • امکان طرح‌ریزی سناریوهای گزینه نسبتا ساده را فراهم می‌آورد.	• صریحتا با اثرات جمعیت، سیاست‌ها و اقتصاد بر تغییر کاربری زمین مواجه نمی‌شود، به‌جز در زمینه رشد اطراف جاده‌ها.
مدل CUF-2	• سادگی در کاربرد و مشاهده. • قابلیت بسط‌پذیری. • رهیافت سیاسی دارد. • تنظیم شده براساس تجربه محلی گذشته.	• در دسترس نبودن مدل • نیازمند داده‌های زیادی نسبت به CUF-1 • کالیبره نمودن مدل نیازمند دانش آماری است.
مدل ITLUP (DRAM,EMPAL)	• توسط مناطق کلانشهری متعددی استفاده شده و در حال استفاده است و مدل قوی است. • دارای توانایی معرفی موانع و اثرات، به ویژه برای محاسبه دانش محلی. • برای ورود داده ها، از پایگاه داده‌ای در دسترس عموم استفاده می‌نماید. • تنظیم نمودن مدل به نسبت آسان است.	• اثر سیاست‌های منطقه‌بندی به خوبی در این مدل ارائه نشده است و انگیزه‌های مالی و غیرمالی برای هدایت توسعه کاربری زمین نتوانستند ارائه شوند. • تعداد معدود متغییرهای مستقل استفاده شده برای پیش‌بینی، ممکن است از حداقل تاثیر کامل برخی توسعه‌های زیرساختی نشات گیرند. • دارای حساسیت در تجزیه و تحلیل نمی‌باشد. • به منظور دستیابی سهولت نسبی در استفاده از مدل به جای تمرکز بر رفتار انتخاب فردی بر روی رفتار انتخاب جمعی متمرکز شده است. • این مدل نیازمند آموزش و تجربه است.
مدل LTM	• خروجی GIS فهم راحتی از نتایج را برای سهامداران و مدیران منابع فراهم می‌کند. • امکان بررسی انواع مختلف ورودی‌هایی که با استفاده از GIS مشخص شده‌اند را برای کاربر ایجاد می‌کند.	• محرک مدل پویا نیست، توانایی پیش‌بینی در حدود ۳۵٪ برای اندازه سلولی ۱۰۰متر×۱۰۰متر است. • برای اتصال به GIS و نرم‌افزار شبیه‌ساز شبکه عصبی نیازمند برنامه C می‌باشد. • برای اجرا نیازمند آموزش و تجربه است.

۳- ۱. ساختار و منطق مدل SLEUTH

این مدل از چهار نوع الگوی تغییر کاربری زمین شهری (رشد خودبه‌خودی، رشد پراکنده، رشد ذاتی و رشد متأثر از جاده) استفاده می‌کند. فرض اصلی مدل این است که با ادامه روند رشد تاریخی، وضعیت آینده رشد شهر می‌تواند از طریق گذشته پیش‌بینی گردد.

مدل رشد شهر، مؤلفه اصلی مدل SLEUTH است که شامل دو بخش عمده اجرایی «تنظیم»و «پیش‌بینی» است. در بخش «تنظیم»[۲۲]، براساس سوابق تاریخی منطقه مورد نظر، بهترین مجموعه برای ضرایب پنج‌گانه (ضریب پراکنش یا انتشار[۲۳]، زایش[۲۴]، پخش[۲۵]، مقاومت به شیب[۲۶] و گرایش به جاده[۲۷]) استخراج می‌شود. در بخش «پیش‌بینی»[۲۸] قوانین رشد مهم‌ترین نقش را دارند که توسط ضرایب تعیین شده در مرحله قبل کنترل می‌شوند قوانین رشد[۲۹] و ضرایب توأمان تشکیل‌دهنده قوانین انتقال در سلول‌های خودکار در مدل SLEUTH هستند. آخرین مرحله از اجرای مدل SLEUTH، انجام فرآیند «خودسازماندهی»[۳۰] است. فرآیند خودسازماندهی باعث می‌شود که مدل الگوی رشد واقعی‌تری ارائه کند. بدون مرحله خودسازماندهی مدل الگوی رشد خطی یا نمایی خواهد داشت (نمودار ۲).

۳- ۱- ۱. ضرایب پنج‌گانه مدل SLEUTH

ضرایب رشد (ضریب پراکنش یا انتشار، ضریب زایش، ضریب پخش، ضریب مقاومت به شیب و ضریب گرایش به جاده) در مرحله کالیبراسیون پس از سه مرحله درشت[۳۱]، ریز[۳۲] و نهایی[۳۳] تعیین می‌گردند. هر کدام از این ضرایب به منظور کنترل انواع الگوهای رشد شهر می‌باشند (نمودار ۳).

۳- ۱- ۲. الگوهای رشد شهری در مدل SLEUTH

چرخه رشد جزء اصلی در اجرای مدل SLEUTH است. این چرخه با تنظیم هر یک از ضرایب با یک ارزش منحصر به فرد آغاز می‌شود و سپس هر یک از قوانین رشد بکارگرفته می‌شود. نهایتا نتیجه نرخ رشد ارزیابی می‌گردد. اگر نرخ رشد اندکی بالاتر و یا پائین‌تر از ارزش‌های حد بالا و یا حد پائین باشد، خود سازماندهی مدل به‌کار گرفته می‌شود. این عمل اندکی ارزش ضرایب را تغییر می‌دهد تا رشد سریع و یا کند را که با رونق و رکود توسعه شهر در ارتباط است، شبیه‌سازی کند. شهری‌شدن حاصل جمع این چهار نوع رشد شهر(خودبه‌خودی، پراکنده، ذاتی و متأثر از جاده) است. قوانین رشد به ترتیب در طول هر چرخه (سالیانه) به‌کار گرفته می‌شود و توسط پنج ضریب(عامل) به نام‌های پراکنش، زایش، پخش، مقاومت به شیب و گرایش‌به جاده کنترل می‌شود (Clarke, Hoppen and Gaydos, 1997).

۳- ۱- ۳. فرآیند خودسازماندهی مدل SLEUTH

آخرین مرحله از اجرای مدل SLEUTH، انجام فرایند خودسازماندهی است. فرآیند خودسازماندهی باعث می‌شود که مدل، الگوی رشد واقعی‌تری ارائه نماید. بدون خودسازماندهی، مدل الگوی رشد خطی یا نمایی خواهد داشت. خودسازماندهی به کمک دو پارامتر رشد بالای بحرانی[۳۴] و رشد پایین بحرانی[۳۵] در دو وضعیت فراز[۳۶] و فرود[۳۷] از طریق مجموعه‌ای از قوانین به شرح زیر انجام می‌شود تا مدل، خود را تعدیل کند و نتایج واقعی‌تری را ارائه نماید (Clarke et al., 1997):

* اگر مقدار نرخ مطلق رشد در هر یک از سال‌ها، از مقدار پارامتر بالای بحرانی تعیین‌شده فراتر برود، ضرایب انتشار، زایش و پخش با ضرب شدن در عددی بیش از یک افزایش می‌یابند. این عمل باعث می‌شود که انتشار و رشد شهر سرعت بیشتری پیدا کند. به منظور جلوگیری از رشد نهایی کنترل‌نشده، هر چه که اندازه کلی سیستم افزایش می‌یابد عدد ضرب شده در ضرایب نیز کاهش می‌یابد (وضعیت Boom)؛
* اگر نرخ مطلق رشد از مقدار پارامتر پایین بحرانی تعیین شده کمتر شود، ضرایب انتشار، زایش و پخش در عددی کم‌تر از ۱ ضرب می‌شوند تا مقدار آنها کاهش یابد و رشد نیز سرعت کمتری داشته باشد(وضعیت Bust)؛
* هنگامی که شبکه‌های جاده در منطقه مورد نظر افزایش می‌یابد ضریب گرایش به جاده نیز افزایش یابد
* با گذر زمان که زمینه‌ای مناسب شهرسازی کاهش می‌یابد، ضریب مقاومت شیب نیز کاهش یابد.

۳- ۲. نمونه‌های کاربردی مدل SLEUTH

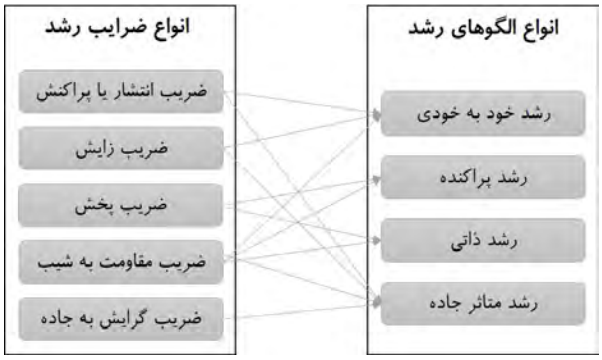
غلامعلی‌فرد در سال ۱۳۸۵ در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود با استفاده از مدل‌سازی دینامیک شهری در محیط GIS به ارائه مدل مکانی- زمانی عرضه و تقاضای زمین برای محله‌ای دفن مواد زائد جامد در شهر گرگان، پرداخته است. وی در این تحقیق برای مدل‌سازی دینامیک شهری گرگان از مدل SLEUTH استفاده نمود و به بررسی وضعیت توسعه شهر طی چندین سال آینده پرداخت. در این تحقیق مشخص شد که رشد شهر گرگان بیش از همه فاکتورها به شبکه حمل‌ونقل وابسته است و شیب، عامل محدودکننده‌ای برای رشد شهری گرگان در آینده محسوب نمی‌شود.

مومنی در سال ۱۳۸۹ در مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران رشد شهر تهران را تا سال ۲۰۵۰ م. با استفاده از مدل SLEUTH پیش‌بینی نموده است. در این پژوهش مساحت شهر تهران تا سال ۲۰۵۰ م.، ۸۱۳ کیلومترمربع پیش‌بینی شده، درحالی‌که این رقم در سال ۲۰۰۶ م.، ۵۰۲ کیلومترمربع بوده است. بیشتر رشد پیش‌بینی‌شده در قسمت جنوب و بخشی در قسمت غرب، جنوب شرقی و غربی و اندکی در قسمت شمال و شرق شهر تهران بوده است.

ژیالوژو و همکاران در سال ۲۰۰۸ م.[۳۸] به پیش‌بینی فرآیند شهری شدن چیانگ مای[۳۹] تایلند توسط مدل SLEUTH و ارزیابی دقت زمانی این مدل پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که دوره شبیه‌سازی تا اندازه‌های بروی دقت پیش‌بینی‌ها مؤثر می‌باشد. علاوه‌بر این معیارهای سیمای سرزمین مشخص کردند که این مدل می‌تواند مکانیزم رشد شهری را منعکس کند.

از پروژه‌های تحقیقاتی و عملیاتی کارشده با استفاده از مدل SLEUTH در کشورهای دنیا می توان به آریزونا (فونیکس)، کالیفرنیا (سانتاباربارا)، کلورادو (کرانه کلورادو)، فلوریدا (تمپا)، پنسیلوانیا (چستر)، واشنگتن (بندر سیاتل)، استرالیا (سیدنی)، برزیل (پرتو آلگر)، هند (پیونه، حیدرآباد) و دیگر موارد اشاره نمود (USGS، 2013).

نمودار ۲- فرایند کلی مدل SLEUTH.



نمودار ۳- ارتباط میان ضرایب رشد و انواع الگوهای رشد در مدل SLEUTH.

در این پژوهش، مدل SLEUTH به منظور رسیدن به میزان و مکان الگوهای محتمل رشد شهری آینده برای شهر ساری و مناطق اطراف آن استفاده خواهد شد. به منظور اجرای این فرآیند چهار مرحله کلان وجود دارد. این چهار مرحله فرآیند مدل‌سازی الگوی محتمل رشد شهری آینده در نمونه مورد مطالعه را خلاصه می‌نمایند که هر مرحله براساس خروجی مرحله قبل عمل می‌کند(نمودار ۴).

۴- به‌کارگیری مدل SLEUTH در شهر ساری و محیط اطراف آن

مدل SLEUTH دارای دو زیر مدل، رشد شهری[۴۰](UGM) و پوشش زمین دلتترون[۴۱](DLM) است. زیر مدل اول نیاز به اطلاعات مربوط به کاربری شهری را دارد و فقط رشد شهر پیش‌بینی می‌کند اما در DLM نیاز به اطلاعات کاربری اراضی است و توسعه شهر را با توجه به سایر کاربری‌ها پیش‌بینی می‌نماید. در این تحقیق از زیر مدل UGM به منظور مدل‌سازی روند رشد شهر ساری استفاده شده است. مدل‌سازی به کمک UGM در سه گام انجام می‌شود، گام نخست تهیه داده‌های مورد نیاز و اجرای آزمایشی مدل به کمک بخش آزمایشی[۴۲] است تا از سازگاری داده‌ها اطمینان حاصل شود.

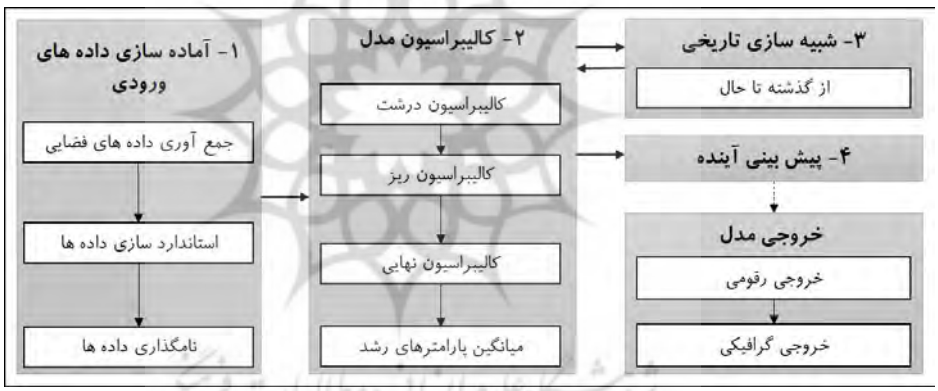
در گام دوم، مدل باید تنظیم شود تا بهترین مجموعه از ضرایب پنج‌گانه (ضریب انتشار، زایش، پخش، مقاومت به شیب و گرایش به جاده) به‌دست آید. و در گام آخر پیش‌بینی انجام می‌گردد. در این پژوهش سال شروع پیش‌بینی ۱۳۸۵ و سال پایان آن ۱۴۱۰ در نظر گرفته شده است.

۴- ۱. داده‌های مورد نیاز مدل SLEUTH

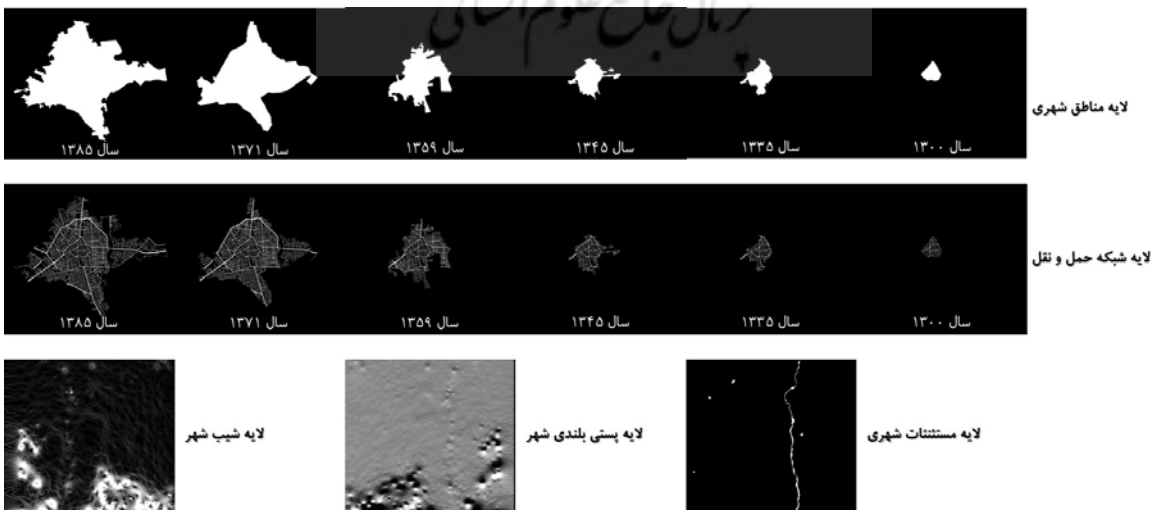
داده‌های مور نیاز برای مدل SLEUTH (شیب، مستثنعات، نقاط شهری، شبکه حمل و نقل و پستی و بلندی زمین) در محیط GIS در لایه‌های رستری با یک محدوده مشترک (شهر ساری و مناطق اطراف آن) و با سه وضوح تصویری متفاوت (۵×۵ متر، ۱۰×۱۰ متر و ۲۰×۲۰ متر) برای سه مرحله کالیبراسیون(درشت، ریز و نهایی) با فرمت GIF(فرمت تصاویر مورد پذیرش در مدل) آماده شده‌اند. که در نقشه ۱ نشان داده شده‌اند.

۴- ۲. تنظیم مدل[۴۳] SLEUTH

ویژگی اصلی مدل SLEUTH این است که با چگونگی تغییرات گذشته منطقه تنظیم می‌شود و بر این اساس به نحو معقولی تغییرات آینده را پیش‌بینی می‌کند (Clarke et al., 1997). با این فرض، مدل



نمودار ۴- چارچوب مفهومی کاربرد عملیاتی مدل SLEUTH. مأخذ: (Oğuz, 2004, 36)



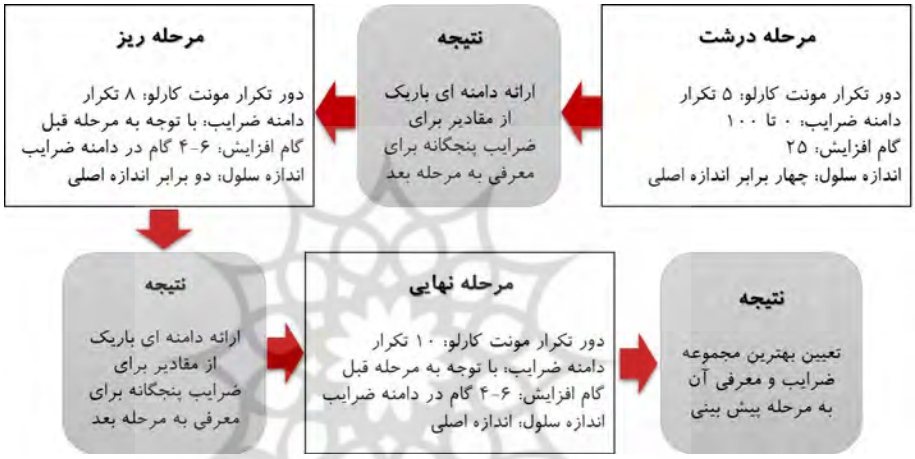
نقشه ۱- لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل SLEUTH.

با برازش داده‌های حاصل از شبیه‌سازی‌های تصادفی با داده‌هایی که به عنوان کنترل به آن داده شده است (مجموعه لایه‌هایی که در بخش قبل توضیح داده شد) بهترین مجموعه از ضرایب را به‌دست می‌دهد. به دلیل اینکه در اجرای چرخه رشد میزان تصادفی بودن بالا است، شبیه‌سازی‌های رشد به سبک مونت کارلو[۴۴] (یک روش ریاضی است که براساس مدل ریاضی موضوع، محتمل‌ترین خروجی و احتمالاتی که برای رویدادهای خاص رخ می‌دهد را تخمین می‌زند) تولید می‌شود تا استواری نتایج مدل‌سازی افزایش یابد. کالیبراسیون در SLEUTH به شیوه Brute Force[۴۵] انجام می‌شود. کالیبراسیون با این روش شامل سه مرحله درشت، ریز و نهایی است (نمودار ۳).

پس از انجام مرحله نهایی بهترین مجموعه ضرایب انتخاب می‌شود به‌گونه‌ای که سه داده برتر از ۵۰ داده انتخاب شده از نظر سنجه استاندارد مدل SLEUTH (OSM)[۴۶] درنظر گرفته می‌شود. از میان سه داده برتر انتخاب ده، برای هر ضریب حداقل مقدار به عنوان شروع بازه و حداکثر مقدار به عنوان پایان بازه در نظر گرفته می‌شود و گام افزایشی به صورتی انتخاب می‌گردد که ۴ تا ۶ گام از ابتدا تا انتهای بازه برداشته شود.

رشد شهر ساری در طول ۸۵ سال (سال ۱۳۰۰ تا ۱۳۸۵) بیش از همه متأثر از ضریب پخش بوده است (جدول ۳ و نمودار ۶). پس از آن به ترتیب ضرایب زایش، مقاومت به شیب، انتشار و نهایتاً گرایش به جاده بیشترین تأثیر را بر رشد شهر ساری داشته‌اند.

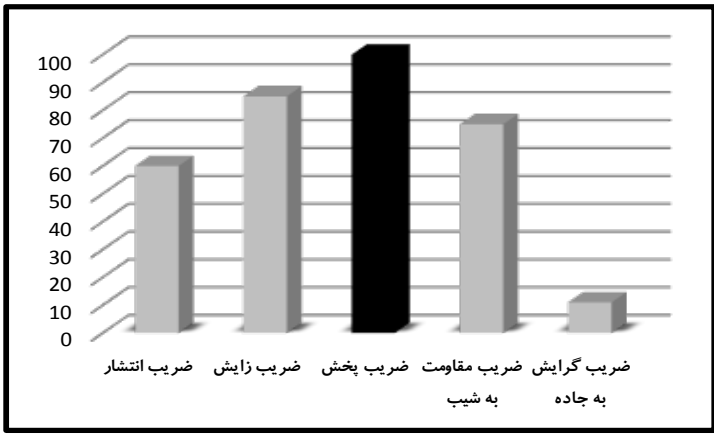
۴-۳. پیش‌بینی رشد شهر ساری و محیط اطراف آن با استفاده از مدل SLEUTH



نمودار ۵- فرآیند کالیبراسیون مدل SLEUTH.

جدول ۵- تغییرات مساحت شهر ساری از سال ۱۳۰۰ تا ۱۴۱۰.

ضریب OSM	ضریب انتشار	ضریب زایش	ضریب پخش	ضریب مقاومت به شیب	ضریب گرایش به جاده
۰,۱۲۶۰۱۱۳۳	۵۰	۸۰	۹۰	۷۵	۱۱
۰,۱۱۷۲۳۰۵۶	۶۰	۸۵	۱۰۰	۷۵	۱
۰,۱۱۱۱۹۷۵۲	۶۰	۸۵	۱۰۰	۷۵	۶

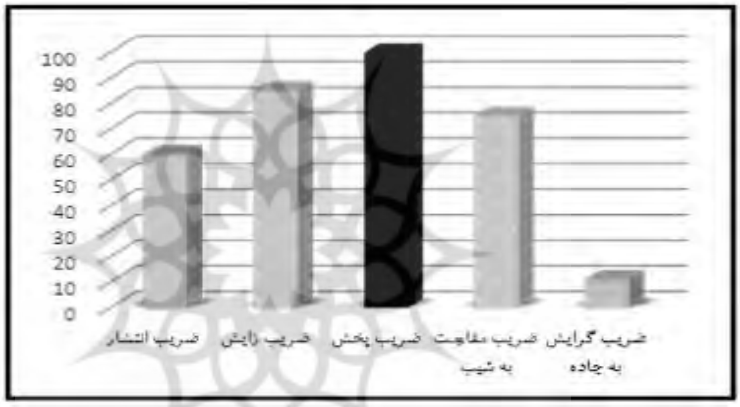


نمودار ۷- تغییرات مساحت شهر ساری از سال ۱۳۰۰ تا ۱۴۱۰.

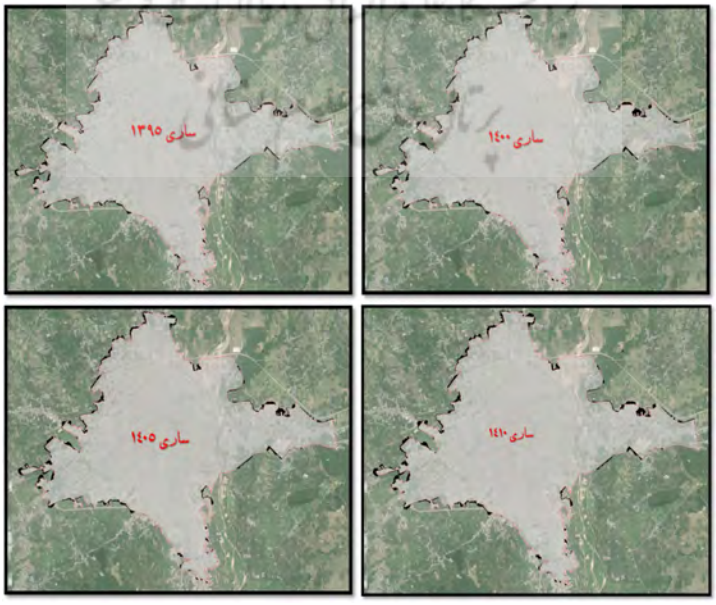
در این مرحله با تدقیق سناریوی پیش‌بینی رشد شهر که به زبان برنامه‌نویسی C نوشته شده است (جدول ۴)، عمل پیش‌بینی صورت می‌پذیرد. در این مرحله براساس تحقیقات جنتز و همکاران (۲۰۰۴)[۴۷] و دیتزل و کلارک (۲۰۰۵)[۴۸]، تعداد دور مونت‌کارلو بایستی ۱۰۰ و بیشتر از آن در نظر گرفته شود. طبق پیش‌بینی انجام‌گرفته بیشتر رشد شهر ساری به سمت غرب، شمال‌غرب، شمال و شرق می‌باشد (نقشه ۲، جدول ۵، نمودار ۷).

جدول ۴- اصلاحات سناریوی پیش‌بینی جهت مناسب‌سازی برای رشد شهر ساری.

ضرایب بهینه رشد	لایه‌های ورودی	دور مونت کارلو	سال شروع پیش‌بینی	سال پایان پیش‌بینی	حد بالای بحرانی	حد پائین بحرانی
ضریب انتشار: ۶۰ ضریب زایش: ۸۵ ضریب پخش: ۱۰۰ ضریب مقاومت به شیب: ۷۵ ضریب گرایش به جاده: ۱۱	شیب مناطق شهری شبکه حمل و نقل مستثنئات شهری پستی‌بلندی زمین	۱۰۰	۱۳۸۵	۱۴۱۰	۱,۲	۰,۸



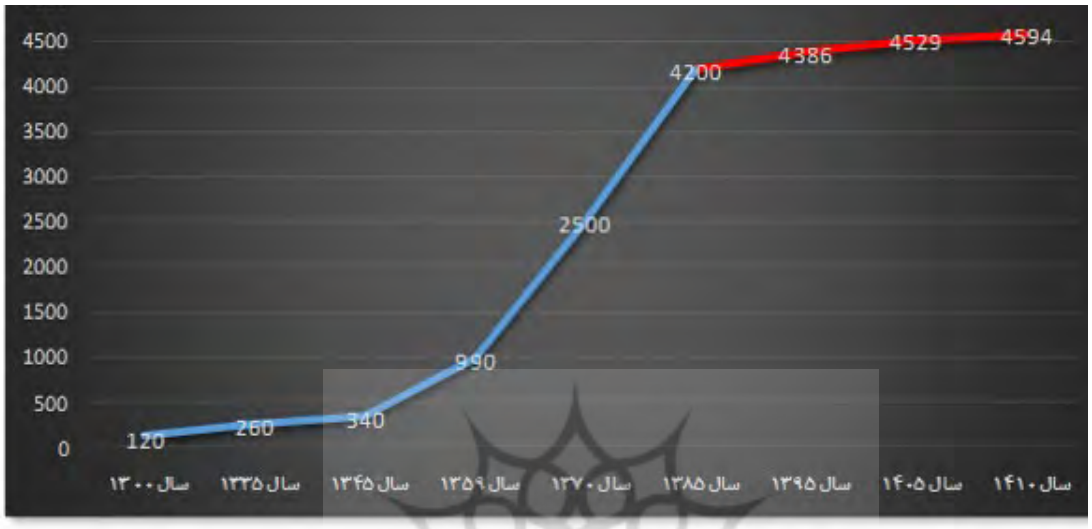
نمودار ۶- بهترین ضرایب رشد جهت پیش‌بینی رشد شهر ساری.



نقشه ۲- روند رشد شهر ساری از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۱۰.

جدول ۵- تغییرات مساحت شهر ساری از سال ۱۳۰۰ تا ۱۴۱۰.

سال‌های پیش بینی	سال ۱۳۰۰	سال ۱۳۳۵	سال ۱۳۴۵	سال ۱۳۵۹	سال ۱۳۷۰	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۹۵	سال ۱۴۰۵	سال ۱۴۱۰
مساحت (هکتار)	۱۲۰	۲۶۰	۳۴۰	۹۹۰	۲۵۰۰	۴۲۰۰	۴۳۸۶	۴۵۲۹	۴۵۹۴



نمودار ۷- تغییرات مساحت شهر ساری از سال ۱۳۰۰ تا ۱۴۱۰.

نتیجه

با توجه به پیچیدگی ذاتی شهر و رشد آن تنها می‌توان از طریق مدل‌سازی فضایی که تأثیر فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی بر تغییر کاربری زمین در گذر زمان را در نظر می‌گیرد. پیچیدگی رشد شهر را به زبانی ساده‌تر بیان نمود تا قابل درک و قابل پیش‌بینی باشد.

مدل‌های مبتنی‌بر سلول‌های خودکار بدلیل تمرکز بر مقیاسه‌ای کوچک(شهر و منطقه)، ارتباط با GIS و ویژگی اساساً فضایی و پویای آنها از بهترین مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین و رشد شهری هستند. از دیدگاه مدل‌سازی فضایی، نقاط قوت مدل SLEUTH در توانایی آن برای انجام مدل‌سازی پویایی فضایی، ورای فضای پیوسته و گسسته اقلیدسی است. این مدل توانایی آن را دارد تا پویایی فضایی- مانی صریحی را نمایش دهد که آن را مناسب‌ترین مدل برای این پژوهش ساخته است.

طبق پیش‌بینی انجام‌شده رشد شهر ساری تا سال ۱۴۱۰ به اندازه ۳۹۴ هکتار می‌باشد که این رشد بیشتر در قسمت غرب، شمال غربی، شمال و شرق شهر بوده است که دلیل آن را می‌توان وجود رشد ذاتی در این مناطق دانست زیرا ضریبی که بیشترین تأثیر را بر رشد شهر ساری در دهه‌های گذشته داشته است ضریب پخش بوده که رشد ذاتی و پراکنده را کنترل می‌کند از طرفی رشد پراکنده وابسته به رشد خودبه‌خودی است تا اثر خود را بر رشد شهر ساری بگذارد که این امر به دلیل عدم وجود رشد خودبه‌خودی محقق نشده است. بنابراین رشد ذاتی شهر بیشترین نقش را در پیش‌بینی رشد شهر ساری داشته است. در قسمت جنوبی شهر نیز بدلیل وجود شیب دامنه‌های رشته کوه البرز، ضریب مقاومت به شیب اجازه نداده است تا شهر به آن سمت رشد کند.

از جمله نقاط ضعف و محدودیت پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره نمود که مدل SLEUTH تنها عوامل محیطی (فیزیکی) را در امر مدل‌سازی دخالت می‌دهد. لذا نتایج مدل‌سازی، تنها بر پایه عوامل فیزیکی می‌باشد و فاکتورهای اقتصادی و اجتماعی در آن دخالت داده نشده است. بنابراین نتایج این مدل نیز همانند هر مدل دیگری می‌تواند با واقعیت فاصله داشته باشد. دلیل این اختلاف‌ها نیز دخالت‌دادن فاکتورهای محدود در امر مدل‌سازی است.

پی‌نوشت‌ها

1. Geographiy Information System.
2. Cellular Automata.
3. Spatial Statistics Modeling.
4. Agent Nased Models.
5. Artificial Neutral Network.
6. Fractal-Based Modeling.

7. Chaotic And Catastrophe Modeling.
8. United States Environmental Protection Agency (Usepa).
9. Spontaneous Growth.
10. New Spreading Center Growth (Diffusive).
11. Edge Growth (Organic).
12. Road Influenced Growth.
13. Dr. Keith Clarke.
14. Santa Barbara.
15. Slope.
16. Land Use.
17. Exclude.
18. Urban.
19. Transportation.
20. Hill Shade.
21. Linux.
22. Calibration Mode.
23. Diffusion Coefficient.
24. Breed Coefficient.
25. Spread Coefficient.
26. Slope-Resistance Coefficient.
27. Road-Gravity Coefficient.
28. Prediction Mode.
29. Growth Rules.
30. Self-Organization.
31. Coarse.
32. Fine.
33. Final.
34. Critical High Growth.
35. Critical Low Growth.
36. Boom.
37. Bust.
38. Xiaolu Zhou et el., 2008.
39. Chiang Mai.
40. Urban Growth Model.
41. Deltatron Landcover Model.
42. Test Mode.
43. Model Calibration.
44. Monte Carlo.

۴۵. یک فن کلی و یا الگوریتم خام حل مسأله می‌باشد که شامل گزینه‌های ممکن برای راه‌حل مسأله را بصورت سیستماتیک شمارش می‌نماید و امتحان می‌کند که آیا هر گزینه، موضوع مسأله را حل می‌نماید و یا خیر؟

46. Optimum SLEUTH Metric (OSM).
47. Gantz et al., 2004.
48. Dietzel and Clarke, 2005.

فهرست منابع

غلامعلی‌فرد، مهدی (۱۳۸۵)، *ارائه مدل مکانی- ارزیابی عرضه و تقاضا زمین برای محل‌های دفن مواد جامد شهری با استفاده از مدل‌سازی دینامیک شهری در محیط GIS*. تهران: دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس.

مومنی، ایمان (۱۳۸۸)، مدل‌سازی رشد شهری شهر تهران تا سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل SLEUTH، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد* مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشگاه تهران.

Berling-Wolff, S., & Wu, J. (2004), Modelling urban Landscape dynamics: A case study in Phonix, USA. *Urban Ecosystem*, 7(3), pp. 215-240.

Cheng, J., (2003), *Modelling Spatial and Temporal Urban Growth* (ISBN: 90-6164-212-4), 210 p, Enschede, Netherlands.

Cheng, J., Masser, I. & Ottens, H., (2003), Understanding urban growth system. Theories and Methods. *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Techniques for Urban Planning and Management CUPUM'03, May 27-29, 2003*, Sendai, Japan.

Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L, (1997), Methods and techniques for regorous calibration of a cellular automaton model of urban growth. Santa Fe, New Mexico, *Paper presented at the third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Eviremental Modeling*.

Oğuz, Hakan (2003). Modeling urban growth and land use/land cover change in the Houston Metropolitan Area from 2002 - 2030. *Doctoral dissertation*, Texas A&M University. Texas A&M University. Available electronically from http: / /hdl .handle .net /1969 .1 /2231.

U.S. Environmental Protection Agency, (EPA), (2000), A Summary of Models for Assessing the Effects of Community Growth and Change on Land-Use Patterns. [Online] Available at: http://www.epa.gov/ecocommunity/tools/reportfinal3.pdf [Accessed 14 9 2013].

USGS, (2003), Project giogalopolis: urban and land cover modeling, US Geological Survey, Website maintained by the University of California Santa Barbara. [Online]Available at: http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/ [Accessed 25 6 2013]

Wu, B., Huang, B., & Fung, T., (2009), Projection of land use change patterns using kernel logistic regression. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(8), pp. 971-979.

White, R., and G. Engelen., (2000), Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment And Planning B-Planning & Design*, Vol 24, pp. 235-246.

Application of Spatial Models in Prediction of Urban Spatial Growth of the City-Sari*

*Esfandiar Zebardast**[1] , Mohammadreza Rostami[2]*
[1]Professor, School of Urban planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Iran.
[2]Graduate Student in Urban Planning, Architecture and Urbanism faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
(Received 13 Oct 2015, Accepted 10 Nov 2019)

Urban development and migration from rural to urban areas is one of the major global phenomena. Small and isolated population centers, is increasingly converting to large urban areas that are clearly associated with becoming natural areas for urban use. The issue in developing countries, including Iran, for some reason, such as lack of appropriate distribution of resources and services at the national and regional plans is more severe. In some cities, rapid growth has scattered and fragmented state and has been associated with destruction of agricultural outskirts and wastage of environment resources, especially in the northern cities of Iran that have ecologically valuable lands. To respond to the principle of sustainable development, and to preserve this valuable land, planning need to be aware of the city's situation in the future to make an appropriate policy. So Sari's unbridled growth and its different outcomes (environmental, economic, social and physical) forced the writer to guide and control the spread of Sari. Therefore, it has been tried in this project to predict Sari's urban growth, to provide a basis for planning and policy for city of Sari and the surrounding environment. Physical development is a dynamic and continuous process and if this process become fast with no plan, not only it doesn't have a proper physical composition of urban spaces, citizens will torment many problems in access to urban services. Also irrational use of urban land, would bring forth detrimental effects on the environment. Also in Iran, these changes have been contained negative impact on social and economic aspects, like lack of coordination among land, urban network and environment patterns and ecological balance of the city. Following paper that has been developed to evaluate the approaches and models of urban growth prediction and use an appropriate model for the sample (City of Sari), is looking forward to provide an accurate prediction of the rate and direction of growth of the city- Sari and its surrounding areas to be an useful guide as a decision- making support system for future planning of the city. In this project by paying attention to goals and facilities, deductive and inductive research methods have been used. Therefor the concepts, theories and approaches related to the development and growth, land, land cover and spatial models have been studied. Then using the inductive method, appropriate model by evaluating different models of city is selected. Finally, after identifying the sample has been studied, selected model for forecasting its growth were conducted. Results of this research showed that the model, SLEUTH, due to its ability to perform spatial-temporal dynamic model, independence to locations, and ability to concurrent simulations of four different types of growth would be more suitable than other models which have been investigated to predict the growth of Sari. Also findings show that the growth of the city by 1410, will be 394 hectares. This growth will be in the West, Northwest, North and East areas of the city, due to the intrinsic growth in these areas.

Keywords

Urban Growth Patterns, Models of Urban Growth Prediction, SLEUTH, Urban Growth.

*This article is extracted from the second author`s master thesis, titled: "Application of Spatial Models in Control and Guidance of Urban Spatial Growth (Case study: Sari)" under supervision of the first author in Faculty of Architecture and Urbanism, Shahid Beheshti University in January 2014.

**Corresponding Author: Tel: (+98-911) 1192311, Fax:(+98-021) 66415282, E-mail: Rostami_mrr@yahoo.com