نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵

Vol.4, No.3, Autumn 2016

۸۹-۱۰۷

این مقاله در اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به‌عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می‌رسد.

مدلسازی الگوی رشد قطعات شهری با استفاده از یک الگوریتم رشد قطعه بر مبنای اتوماتای سلولی در مجموعه شهری تهران

ساناز علائی مقدم[۱]، محمد کریمی[۲*]

۱- دانشجوی دوره‌ی دکتری GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (قطب علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۱۱

چکیده

مجموعه‌های شهری نوع جدیدی از سکونتگاه‌های شهری هستند که در دهه‌های اخیر با رشد چشمگیر شهرنشینی بوجود آمده‌اند. این مجموعه‌ها از تجمع قطعات شهری بزرگ و کوچکی که با الگوهای متفاوتی رشد نموده‌اند، تشکیل گردیده‌اند. ویژگی‌های مکانی این قطعات متاثر از عوامل گوناگونی مانند نزدیکی به هسته اصلی شهرها و شبکه ارتباطی کلان مجموعه شهری می‌باشد. اتوماتای سلولی به عنوان متداولترین مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی رشد شهری، به دلیل عملکرد پایین به بالا، در مدلسازی ساختار مکانی قطعات شهری ناتوان است و علی‌رغم قدرت شبیه‌سازی بالا در سطح سلول، در سطح قطعه عملکرد ضعیف‌تری دارد. از اینرو در این تحقیق روشی به منظور شبیه‌سازی الگوی رشد قطعات شهری ارائه گردیده است که در تلفیق با اتوماتای سلولی لجستیکی به منظور مدلسازی رشد شهری استفاده شده است. در این روش، از یک طرف نقشه پتانسیل رشد با استفاده از رگرسیون لجستیکی تهیه می‌گردد و از طرف دیگر دو شاخص اندازه و نوع رشد قطعه با تلفیق عوامل موثر بر الگوهای رشد قطعات شهری، در هر موقعیتی محاسبه می‌شود. در نهایت طبق چارچوب پیشنهادی اطراف هر سلول‌های انتخابی، قطعه‌ای با ویژگی‌های محاسبه شده تشکیل و نقشه رشد شهری تهیه می‌گردد. مدل پیشنهادی در این تحقیق در مجموعه شهری تهران و برای دوره‌های زمانی ۱۳۷۹-۱۳۸۵-۱۳۹۱-۱۳۹۷ پیاده‌سازی شده‌است. دقت کلی و شاخص سازگاری نتایج به ترتیب برابر است با ۹۱/۰۱ و ۳۷/۹۶ که نسبت به مدل اتوماتای سلولی دقت بهتری ارائه کرده است. همچنین اعتبارسنجی نقشه تهیه شده در این مطالعه با استفاده از محاسبه شاخص‌های مکانی، نشان دهنده افزایش دقت مدل پیشنهادی در شبیه‌سازی ساختار مکانی قطعات شهری می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: قطعات شهری، شبیه‌سازی رشد شهری، مجموعه شهری، شاخص مکانی، اتوماتای سلولی

*نویسنده مکاتبه کننده: محمد کریمی ،تهران، بالاتر از ونک، تقاطع میرداماد و ولیعصر، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۰۹۱۲۳۸۹۸۳۸۵

Email: mkarimi@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

طی چند دهه گذشته، بیشتر شهرهای جهان، به خصوص در کشورهای در حال توسعه، رشد شهری را تجربه نموده و شهر نشینی به یک پدیده جهانی مبدل شده است [۱]. هر چند این رشد منجر به افزایش کیفیت زندگی و فعالیت‌های اقتصادی گردیده است ولی از طرف دیگر انواع مشکلات محیطی و اجتماعی را بدنبال داشته است [۲ و۳]. یکی از مفاهیمی که در سال‌های اخیر همراه با رشد چشمگیر کلانشهرها، وارد حوزه برنامه‌ریزی شهری گردیده است، مفهوم مجموعه شهری[۱] می‌باشد. محدوده مجموعه شهری، در برگیرنده تعداد قابل توجهی قطعات[۲] بزرگ و کوچک شهری است که اطراف هسته اقتصادی یک یا دو کلانشهر تجمع یافته‌اند [۴]. در سرتاسر کره زمین، مجموعه‌های شهری بالاترین نرخ توسعه را در بین محدوده‌های شهری به خود اختصاص داده [۵] و گفته می‌شود مجموعه‌های شهری دربرگیرنده یک دهم فعالیت‌های تجاری و صنعتی کل دنیا هستند [۶]. رشد بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی مجموعه‌های شهری، تخریب چشم‌اندازهای طبیعی و ایجاد مشکلات محیطی و بیولوژیکی مانند تغییر دما، مصرف بی‌رویه منابع، کمبود آب، آلودگی هوا، ترافیک و معظلات اجتماعی مانند افزایش زمان سفرهای روزمره را در محدوده‌ای وسیع به همراه دارد [۷ و ۸].

ارتباطات و تعاملات تنگاتنگ عناصر کلان یک مجموعه شهری شامل شهرها، شبکه ارتباطی و صنایع عمده، منجر به رشد قطعات شهری با اندازه‌های مختلف در حاشیه قطعات موجود و یا با فاصله از آنها گردیده که به ترتیب دو نوع رشد حاشیه‌ای و خارج از مرکز را بوجود می‌آورند. با این حال اغلب مدلهای موجود در زمینه مدلسازی رشد شهری مانند اتوماتای سلولی[۳] و مدل عاملی، بر مبنای استراتژی‌های سلول مبنا عمل کرده و نحوه شکل‌گیری قطعات شهری را لحاظ نمی‌نمایند. مدل‌های متداولی که عملکردی در سطح سلول داشته، در تولید ساختار مکانی واقعی در مقیاس‌های اکولوژیکی و ناحیه‌ای ناموفق‌اند [۹،۱۰] و همچنین عملکرد پایین به بالای آنها که با استفاده از قوانین محلی بین یک سلول و سلولهای مجاور، به شبیه‌سازی رشد می‌پردازند در مدلسازی رشد خارج از مرکز ناتوان است [۱۱]. به عبارتی سکونت‌گاههای جدید (رشد خارج مرکز) اغلب در مکانهایی با تناسب بالای توسعه شهری و اغلب بدون توجه به کاربری‌های شهری موجود، پدیدار می‌شوند [۶]. در اغلب تحقیقات میزان انطباق ساختار مکانی قطعات شهری بین نقشه شبیه‌سازی شده و واقعیت، به عنوان یک پس‌پردازش و با استفاده از شاخص‌هایی مکانی به منظور ارزیابی مدل استفاده می‌گردد [۱۲] و کمتر به ارائه الگوریتمی جهت شبیه‌سازی ساختار مکانی تغییرات کاربری و پدیده قطعه‌قطعه‌شدگی۴ پرداخته شده است [۲۲] .از اینرو در این تحقیق هدف اصلی مدلسازی ساختار مکانی قطعات شهری است.

در زمینه مدل‌سازی ساختار مکانی قطعات شهری، تحقیقات اندکی انجام شده است، از این تحقیقات می‌توان به تحقیق کلارک و همکاران [۱۶]، مینتمیر و همکاران [۱۳]، چن و همکاران [۱۴]، لی و همکاران [۶] و لی و همکاران [۱۱] اشاره نمود. کلارک و

[۱] مجموعه شهری (Megalopolis) یا مگاشهر اولین بار توسط پاتریک گدس، جامعه‌شناس اسکاتلندی، در کتاب "شهرهای در حال تغییر" او در سال ۱۹۱۵ و سپس توسط اوسوالد اسپنگلر و لوئیس مامفورد استفاده گردید.

[2] Patch

[3] Cellular automata (CA)

[4] Fragmentation

همکاران [۱۶] در مدل سلوث[1]، ۴ نوع رشد شهری خودکار، پراکنده، خطی و ارگانیک تعریف نموده و به صورت تصادفی نقاطی را به عنوان رشد خارج از مرکز انتخاب می‌نماید. مینتمیر و همکاران [۱۳] به منظور شبیه‌سازی رشد قطعات شهری، مدلی با سه ماژول پتانسیل، الگوریتم رشد قطعه و تقاضا پیشنهاد داده است. در این مدل ابتدا به طور تصادفی و با روش مونت کارلو سلولی انتخاب می‌نماید. در مرحله بعد سلولهای مجاور آن از نظر پتانسیل رتبه‌بندی شده و تا رسیدن به اندازه قطعه معینی، انتخاب و تبدیل به قطعه شهری می‌شوند. چن و همکاران [۱۴] از یک اتوماتای سلولی (CA-Cellular Automata) قطعه مبنا برای شبیه‌سازی رشد هر قطعه شهری استفاده کرده است. در این مدل ابتدا به صورت تصادفی یک سلول انتخاب و پنجره متحرکی اطراف آن تشکیل می شود. سپس در این پنجره، سلولی با بیشترین پتانسیل رشد انتخاب و پنجره متحرک به آن سلول انتقال می‌یابد. این مراحل تا رسیدن به اندازه قطعه مورد نظر ادامه می‌یابد. لی و همکاران [۶] از مدل CBR[2]-CA استفاده نموده‌اند. در این مدل رشد یک سلول، با توجه به نوع رشد قطعاتی که از نقطه نظر فاکتورهای رشد شهری، مشابه قطعه مورد نظر هستند، تعیین میگردد. لی و همکاران [۱۱] مدلی به منظور مدلسازی دو نوع رشد خارج از مرکز و رشد حاشیه‌ای ارائه نمودند. در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل رگرسیون خطی و الگوهای رشد موجود، منطقه مورد مطالعه به نواحی کاندید برای رشد خارجی و نواحی کاندید رشد حاشیه‌ای تقسیم گردیده‌اند. به منظور شبیه‌سازی الگوی رشد حاشیه‌ای از مدل CA و خارج از مرکز به ترتیب از مدل مونت کارلو استفاده نمودند.

میزان تصادفی بودن پارامترها در اکثر تحقیقات فوق بسیار زیاد بوده که منجر به کاهش دقت مدلسازی رشد شهری می‌شود. همچنین دو شاخص عمده در شبیه‌سازی ساختار مکانی رشد قطعات شهری در تحقیقات فوق، اندازه و نوع رشد قطعات است که مکانیزم دقیق نحوه تعیین آنها مشخص نشده است. علاوه بر موارد ذکر شده، تحقیقات نشان میدهد که الگوهای رشد قطعات شهری تابعی از عناصر کلان مجموعه شهری من جمله شهرها و شبکه ارتباطی کلان است [۱۵ و ۲۳]، در حالیکه در تحقیقات انجام شده در زمینه مدلسازی رشد قطعات شهری، روابط مذکور لحاظ نشده است.

با توجه به مطالب عنوان شده، در این تحقیق مدلی قطعه مبنا بر پایه CA به منظور مدلسازی الگوی رشد قطعات شهری ارائه شده است. در این مدل ابتدا با بررسی تحقیقات گذشته و طرحهای شهرسازی محدوده مورد مطالعه عوامل کلان موثر بر الگوی رشد قطعات استخراج شده است. سپس با استفاده از مدل رگرسیون خطی، ضرایب عوامل فوق در تعیین دو شاخص اندازه و نوع رشد قطعه محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد نقشه پتانسیل رشد شهری با استفاده از مدل رگرسیون لجستیکی تهیه می‌شود. سپس سلولی به عنوان مرکز رشد قطعه، به روش انتخاب گسسته[3] با استفاده از نقشه پتانسیل رشد شهری انتخاب می‌گردد. در مرحله بعد الگوریتمی بر پایه مدل CA پیشنهاد شده است که با استفاده از آن قطعه‌ای اطراف سلول انتخاب شده در راستای تامین اندازه و الگوی رشد مورد نظر تشکیل می‌گردد. این مراحل تا رسیدن به تقاضای رشد کل مجموعه شهری ادامه می‌یابد. ارزیابی نتایج در دو سطح سلول و قطعه صورت گرفته است. در سطح سلول سلول با استفاده از ماتریس انتقال و سازگاری[4] میزان انطباق سلولهای

[1] SELUTH
[2] Case Based Reasoning
[3] Discrete Choice
[4] FOM

نقشه رشد شهری تهیه شده با واقعیت محاسبه شده است و در سطح قطعه، با استفاده از شاخص‌های مکانی میزان انطباق ساختار مکانی قطعات رشد یافته در دو نقشه پیش‌بینی و واقعی محاسبه شده است. مدل پیشنهادی نه تنها ضعف تحقیقات گذشته از دیدگاه میزان تصادفی بودن انتخاب اندازه و نوع رشد قطعه مورد نظر را مرتفع می‌سازد، بلکه الگوریتم رشد قطعه پیشنهاد شده، روش ارائه شده توسط چن و همکاران [۱۴] را بهبود می‌بخشد. همچنین در این تحقیق میزان و چگونگی تاثیر عوامل کلان رشد مجموعه شهری بر الگوهای رشد قطعات تعیین می‌شود.

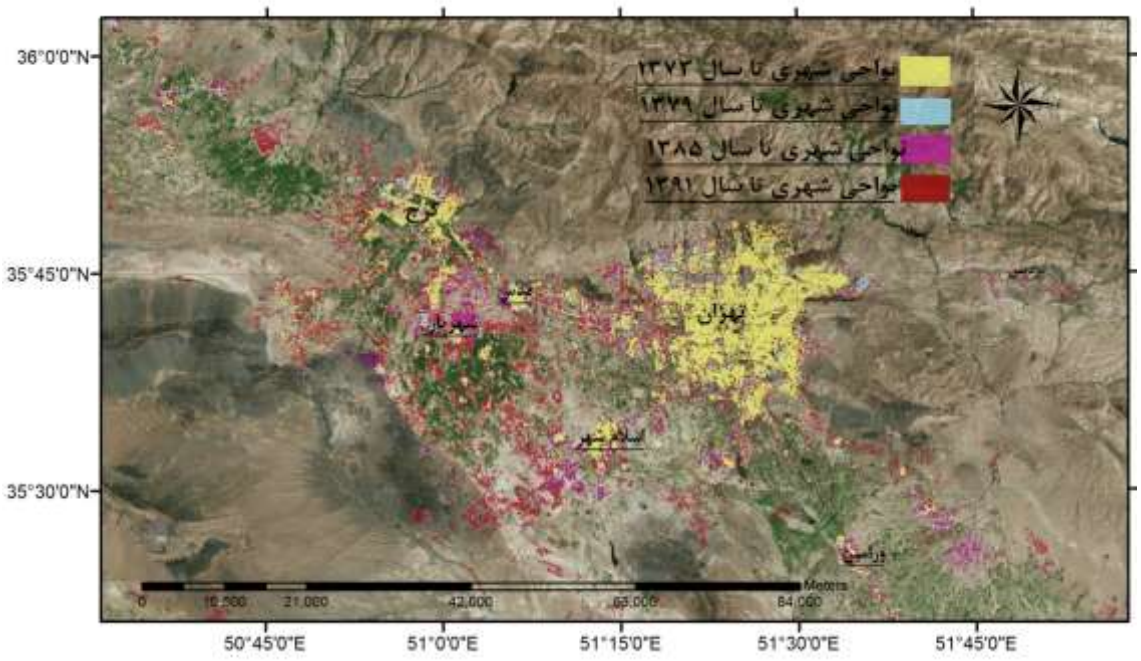
مدل پیشنهادی در محدوده مجموعه شهری تهران برای دوره‌های زمانی ۱۳۷۹- ۱۳۸۵- ۱۳۹۱ پیاده‌سازی و ارزیابی شده است و رشد مجموعه شهری تهران تا سال ۱۳۹۷ پیش‌بینی گردیده است. در بخش ۲ ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه و چگونگی رشد آن در دوره‌های گذشته مورد بررسی قرار گرفته است. بخش ۳ شامل داده‌های مورد استفاده و پردازش‌های انجام شده بر روی آنها، بخش ۴ روش‌های مورد استفاده، بخش ۵ نتایج و بخش آخر بحث و نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه مجموعه شهری تهران واقع در عرض جغرافیایی ۵۰/۴۸ و ۵۱/۰۵ درجه و طول جغرافیایی ۳۵/۲۷ و ۳۶/۰۵ درجه و شامل ۵۳ شهر بزرگ و کوچک می‌باشد (شکل (۱)). تهران بزرگ، شامل استان‌های تهران و البرز با تاثیرگذاری بر استان قم، قزوین و مازندران و با جمعیتی بالغ بر ۱۵ میلیون نفر و وسعتی معادل ۱۸۸۰۰ کیلومتر مربع یکی از مهمترین نواحی شهری در خاورمیانه و مرکز فعالیت‌های اقتصادی، تجاری، آموزشی و فرهنگی ایران است [۲۴]. به دلیل فراهم کردن زمینه‌های اشتغال‌زایی و ارائه خدمات رفاهی، آموزشی، درمانی و هم چنین تمرکز فعالیت‌های دولت، شهر تهران و محدوده‌های پیرامون آن به عنوان بزرگترین مقصد مهاجرت از اقصی نقاط کشور، با سرعت بالایی گسترش یافته‌اند [۲۵].

پس از وقایع جنگ جهانی دوم، اهنگ رشد و گسترش شهر تهران شدت گرفت و جمعیت آن در فاصله ۴۵-۱۳۰۰، ۱۳ برابر شده و به ۲/۷۲ میلیون نفر رسید. این رشد بیشتر در داخل شهر تهران بوده، طوریکه در سال ۱۳۴۵ بزرگترین کانون جمعیتی اطراف تهران، شهر کرج با جمعیتی ۴۴ هزار نفر بود. از این زمان به بعد، همراه با توسعه راه‌ها و صنایع اطراف تهران و همچنین سیاست‌های طرح‌های شهرسازی مانند طرح جامع شهر تهران و طرح مجموعه شهری تهران مبنی بر تمرکز زدایی از شهر تهران، شهرها و آبادی‌های اطراف آن به سرعت رو به گسترش نهادند. آمار چند دهه گذشته نشان می‌دهد، در حالیکه جمعیت محدوده قانونی شهر تهران حدود ۲/۵ برابر شده، جمعیت بقیه استان ۴/۹ برابر شده است [۲۱]. در کلیه طرح‌های شهرسازی مجموعه شهری تهران به دلیل وجود ارتباطات و تعاملات شهری به کل‌نگری و مدیریت یکپارچه شهری تاکید شده است.

نقشه رشد شهری بین سالهای ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است (شکل (۱)). رشد نواحی شهری در دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۵ بیشتر در نواحی حاشیه تهران و کرج به خصوص مناطق شمالی این دو شهر بوده و در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۱ نواحی به نسبت دورتر از تهران مانند مناطق جنوب غربی اسلام شهر، اطراف پاکدشت، ماهدشت و شرق کرج رشد نموده اند. نرخ رشد سالانه در دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۱ تقریبا ۱/۴ برابر دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۵ می باشد.



شکل ۱: رشد نواحی ساخته شده بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۱ در محدوده مورد مطالعه

۳- داده‌ها و پیش پردازشها

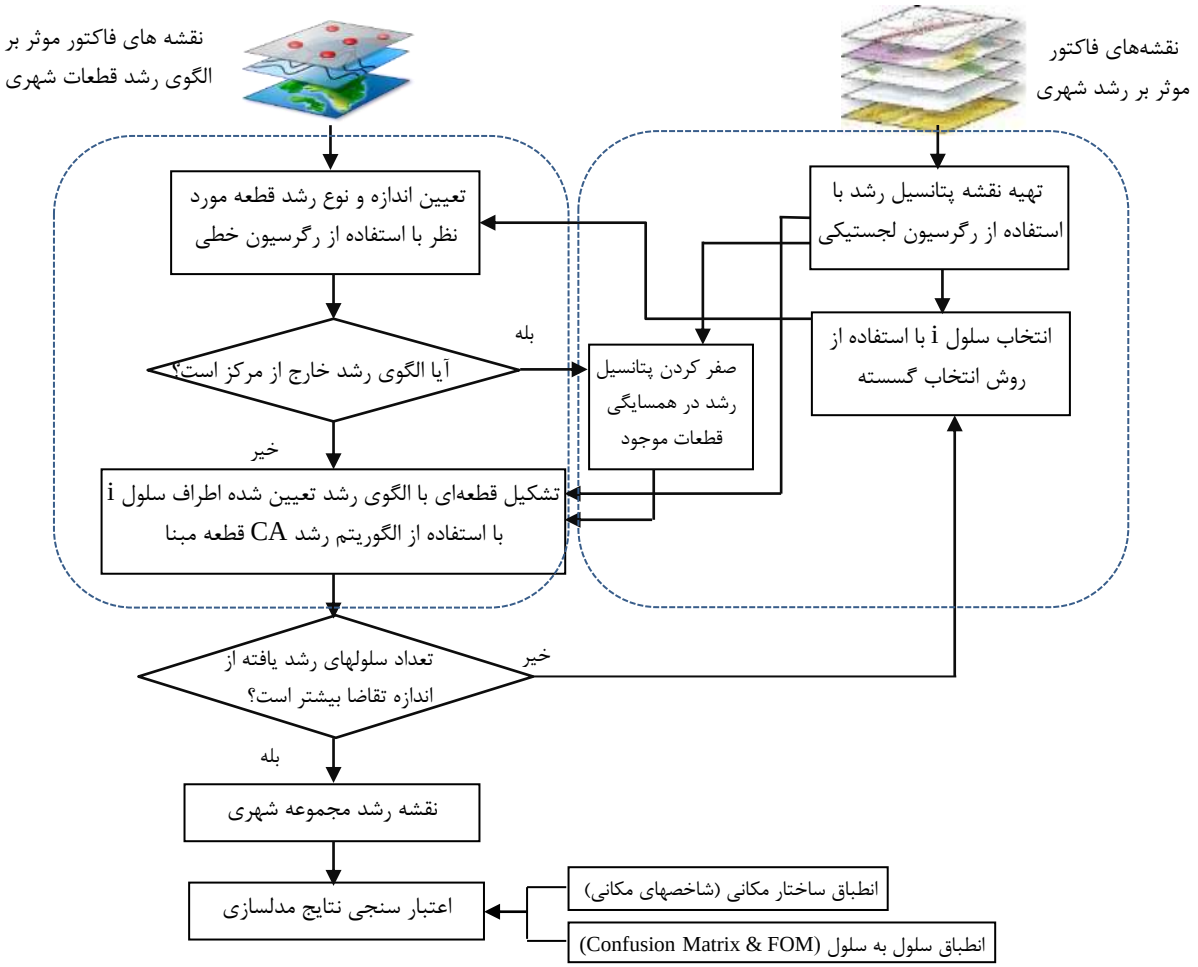
داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های شبکه راه‌ها (شامل بزرگراه‌ها، آزادراه‌ها، راه‌های اصلی و خیابانها)، کاربری زمین‌های مجموعه شهری تهران، مدل رقومی زمین و ایستگاه‌های مترو می‌باشد. شبکه راه ها و مدل رقومی زمین توسط سازمان نقشه برداری کشور و کاربری پارسل‌ها محدوده مجموعه شهری توسط شهرداری تهران تهیه شده است. تصاویر ماهواره‌های لندست ۴، ۵، ۸، به منظور پایش رشد گذشته و استخراج کلاس‌های کاربری در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ استفاده گردیده‌است. کلاس‌بندی تصاویر در نرم افزار ENVI 4.0 با استفاده از روش **بیشترین شباهت**[1] انجام شده‌است. ابتدا تصاویر به ۸ کلاس بلوک ساختمانی، کشاورزی، راه، بایر، کوهستانی، آب، پارک و فضای سبز و صنعتی کلاسبندی شده و به منظور اعتبارسنجی ضریب کاپای کلاسبندی محاسبه گردید. این ضریب برای تصاویر سال های ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ به ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۸۰ و ۰/۸۶ است. در مرحله بعد سلولها به دو کلاس شهری شامل بلوک ساختمانی، صنعتی و راه و غیرشهری شامل باقی کلاسها، تقسیم گردیدند. با توجه به ابعاد منطقه، مطالعات گذشته و همچنین بررسی پیکسل سایزهای مختلف، ابعاد سلولها ۱۰۰*۱۰۰ متر در نظر گرفته شده‌است.

۴- روش‌ها

مدل پیشنهادی در تحقیق پیشرو شامل دو بخش کلی تعیین پتانسیل رشد و الگوریتم رشد قطعه می‌باشد (شکل (۲)). در بخش تعیین پتانسیل رشد، فاکتورهای موثر بر رشد مجموعه شهری تهران با استفاده از مدل رگرسیون لجستیکی تلفیق شده و نقشه پتانسیل رشد شهری تهیه می‌شود. در بخش الگوریتم رشد قطعه، اندازه و نوع رشد قطعه که تابعی از عناصر

[1] Maximum likelihood

کلان رشد مجموعه شهری است، با استفاده از رگرسیون خطی محاسبه می‌گردد. مراحل تشکیل هر قطعه به این صورت است که ابتدا در بخش پتانسیل، سلولی به روش انتخاب گسسته بر مبنای نقشه پتانسیل رشد انتخاب می‌شود. سلول انتخابی به عنوان سلول مولد قطعه، وارد بخش الگوریتم رشد قطعه شده و اندازه و نوع الگوی رشد آن تعیین می‌گردد. در مرحله بعد پنجره‌ای اطراف آن تشکیل گردیده و پتانسیل رشد سلولهای واقع در این پنجره تعیین می‌شود و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی قطعه‌ای اطراف سلول تشکیل می‌شود. لازم به توضیح است که چنانچه الگوی رشد خارج از مرکز باشد، پتانسیل رشد سلولهای پیرامون سلولهای شهری موجود صفر می‌گردد، تا از رشد قطعه در حاشیه آنها جلوگیری شود. این مراحل تا رسیدن به کل تقاضا رشد شهری ادامه می‌یابد.



شکل ۲: مراحل مدلسازی الگوی رشد قطعات شهری

۴-۱- تهیه نقشه پتانسیل رشد شهری

فاکتورهای موثر بر رشد مجموعه شهری تهران، با توجه به مطالعات انجام شده در مقیاس ناحیه‌ای، طرح‌های شهرسازی محدوده مورد مطالعه و داده‌های موجود انتخاب شده‌اند. این فاکتورها شامل شیب، ارتفاع، فاصله از هسته اصلی شهرها، فاصله از ایستگاه مترو، فاصله از نواحی عمده صنعتی، فاصله از بزرگراه ها، فاصله از جاده‌ها اصلی و فاکتور همسایگی محلی می‌باشند [۴، ۱۹،۲۶ و ۲۷]. در این تحقیق

مدل رگرسیون لجستیکی به منظور مدل‌سازی رابطه بین رشد شهری و فاکتورهای موثر با رابطه (۱)، استفاده شده‌است [۳، ۲۸]:

$$p_i^0 = \frac{e^z}{1+e^z}$$ رابطه (۱)

$$z_i = b_0 + b_1 x_i^1 + b_2 x_i^2 + \cdots . b_n x_i^n$$

p_i^0 احتمال تبدیل سلول از یک سلول غیر شهری به شهری و بین ۰ و ۱ متغیر می‌باشد. z_i ترکیب خطی از مقادیر فاکتورهای موثر (x_i^n) و b_i ضرایب تاثیر فاکتورهای فوق هستند. رابطه (۱)، با در نظر گرفتن محدودیت های رشد به صورت باینری و متغیر تصادفی طبق رابطه (۲) به کار گرفته می‌شود:

$$P_i = p_i^0 * (1 + (-ln\gamma)^\alpha) * \Omega_i$$ رابطه (۲)

در رابطه فوق P_i، پتانسیل رشد شهری است و Ω_i ۰ یا ۱ است (عدد صفر محدودیت رشد در سلول i را نشان می‌دهد). γ پارامتر تصادفی است که بین ۰ و ۱ متغیر می‌باشد. α نیز پارامتری به‌منظور کنترل میزان اثر γ است.

پس از تهیه نقشه پتانسیل رشد شهری با استفاده از روابط فوق، توسط روش انتخاب گسسته یک سلول انتخاب می‌شود. به طور خلاصه در این روش ابتدا به طور تصادفی سلولی کاندید می‌گردد و در صورتی که پتانسیل رشد این سلول از پتاسیل رشد درصد مشخصی از سلولهای دیگر بزرگتر باشد، به عنوان سلول مرکز رشد قطعه انتخاب و وارد بخش مدلسازی الگوی رشد قطعه می‌شود. جزییات این روش در مراجع مختلف ذکر شده است [۱۱].

۴-۲- مدلسازی الگوی رشد قطعات شهری

شاخصهای مکانی و هندسی متعددی به منظور معرفی الگوی رشد قطعات معرفی شده‌اند. از این شاخص‌ها می توان به مانند اندازه، محیط، پیچیدگی، بعد فرکتال، جهت و نوع رشد قطعه اشاره نمود [۱۵، ۱۲]. مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اندازه و نوع الگوی رشد قطعه به‌عنوان مهترین شاخص‌ها در مدل‌سازی الگوی رشد استفاده شده‌اند [۱۴،۱۶، ۱۳، ۱۱، ۶]. در ادامه ابتدا چگونگی تعیین اندازه و نوع رشد قطعه‌ای در موقعیت i تعیین و سپس چگونگی مدلسازی آن بیان می‌گردد.

۴-۲-۱- تعیین اندازه و نوع رشد قطعه

اندازه قطعه برابر با مساحت آن و نوع رشد قطعه حاشیه‌ای یا خارج از مرکز است (شکل (۳)) که با استفاده از رابطه (۳) تعیین می‌گردد:

$$\mathrm{LEI} = 100\frac{A_0}{A_0+A_0}$$ رابطه (۳)

A_0 مساحت مشترک بافر اطراف قطعه جدید و قطعه قدیمی و A بخشی از مساحت بافر اطراف قطعه جدید که با قطعه قدیمی اشتراکی ندارد. چنانچه LEI بزرگتر از ۳۵ باشد، نوع رشد خارج از مرکز در غیر اینصورت حاشیه‌ای است.

شکل ۳: نوع رشد شهری [۶]

همانطور که عنوان شد تحقیقات انجام شده در زمینه تحلیل تغییرات الگوهای رشد قطعات شهری نشان دهنده وجود الگوهای رشد خاصی در اطراف فاکتورهای کلان مجموعه‌های شهری است. در این تحقیق این فاکتورها شامل فاصله از شهرها، آزادراه‌ها، راه های اصلی، صنایع عمده و شیب زمین در نظر گرفته شده است که با تلفیق آنها، اندازه و نوع رشد قطعه توسط روابط (۴و ۵) محاسبه می‌گردد:

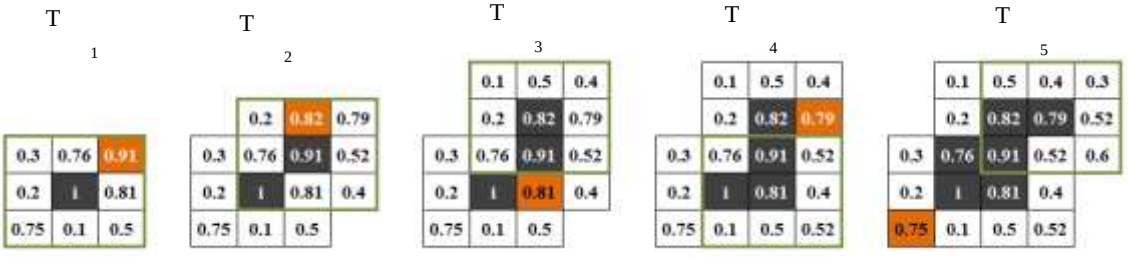
رابطه (۴) $$S_i = \sum W_n^S F_n$$

رابطه (۵) $$LEI_i = \sum W_n^{LEI} F_n$$

S_i اندازه پیش‌بینی شده برای قطعه‌ای در موقعیت i، F_n مقدار فاکتور nام و W_n^S وزن فاکتور فوق در تعیین اندازه قطعه است. LEI_i نوع رشد پیش‌بینی شده برای قطعه‌ای در موقعیت i و W_n^{LEI} وزن فاکتور nام در تعیین نوع رشد قطعه است. وزن فاکتورها با استفاده از ۴۰۰۰ قطعه رشد یافته به عنوان نمونه‌های آموزشی تعیین می‌گردد.

۴-۲-۲- مدلسازی الگوی رشد قطعه

پس از انتخاب سلول مرکز رشد قطعه (بخش ۴-۱) و تعیین اندازه و نوع رشد قطعه پیرامون آن (بخش ۴-۲-۱)، یک پنجره متحرک با اندازه ۳*۳ اطراف سلول مرکزی تشکیل می‌گردد. چنانچه نوع رشد خارج از مرکز باشد، پتانسیل رشد سلولهایی که در همسایگی یک کاربری شهری موجود واقع شده‌اند، برابر با صفر می‌گردد. سپس سلولی با بیشترین احتمال رشد در این پنجره انتخاب و تبدیل به سلول شهری میگردد و سلولی که از نظر پتانسیل در رتبه دوم پس از سلول انتخاب شده قرار گرفته است، به عنوان سلول کاندید در حافظه ذخیره می‌گردد. سپس پنجره متحرک حرکت نموده و بر روی سلول رشد یافته شده قرار می‌گیرد. در این مرحله نیز سلولی با بیشترین پتانسیل رشد انتخاب شده و چنانچه پتانسیل آن از پتانسیل سلول کاندید مرحله قبل بیشتر باشد، تبدیل به سلول شهری می‌شود و در غیر اینصورت سلول کاندید تبدیل به سلولی با کاربری شهری می‌گردد. این روش ضمن اینکه پیوستگی و اتصال سلول‌ها در تشمیل قطعه را تامین می‌نماید، سلول‌هایی با بیشترین پتانسیل رشد در اطراف قطعه تشکیل شده را انتخای میکند. مراحل فوق تا رسیدن به اندازه قطعه مورد نظر و یا زمانی که کاربری تمام همسایگی سلول مورد نظر تبدیل به شهر شده باشد، ادامه می‌یابد. این مراحل در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴: شبیه‌سازی الگوی رشد قطعه شهری

۴-۳- ارزیابی نتایج مدل

میزان تقاضای رشد نواحی ساخته شده، با استفاده از مدل رگرسیون خطی و مساحت نواحی ساخته شده دوره‌های زمانی گذشته تعیین می‌گردد و مدلسازی رشد قطعه تا رسیدن به تقاضا کلی ادامه می‌یابد. ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی الگوی رشد قطعات شهری، از دو دیدگاه

بررسی شده است. دیدگاه اول استفاده از ماتریس انتقال[1] و همچنین شاخص سازگاری [۲۹] مطابق رابطه (۶) است که میزان تطابق نقشه نهایی با نقشه واقعی را در سطح سلولی اندازه‌گیری می‌نماید.

$$FOM = \frac{UrUr}{UrNUr+NUrNUr+UrUr}$$ رابطه (۶)

در رابطه فوق $UrUr$ مساحت نواحی است که در واقعیت کاربری شهری داشته و طبق مدل نیز شهری پیش‌بینی گردیده، $UrNUr$ نواحی که در واقعیت غیرشهری و طبق مدل شهری پیش‌بینی شده و $NUrNUr$ نواحی که در واقعیت شهری و طبق مدل غیرشهری پیش‌بینی شده‌اند.

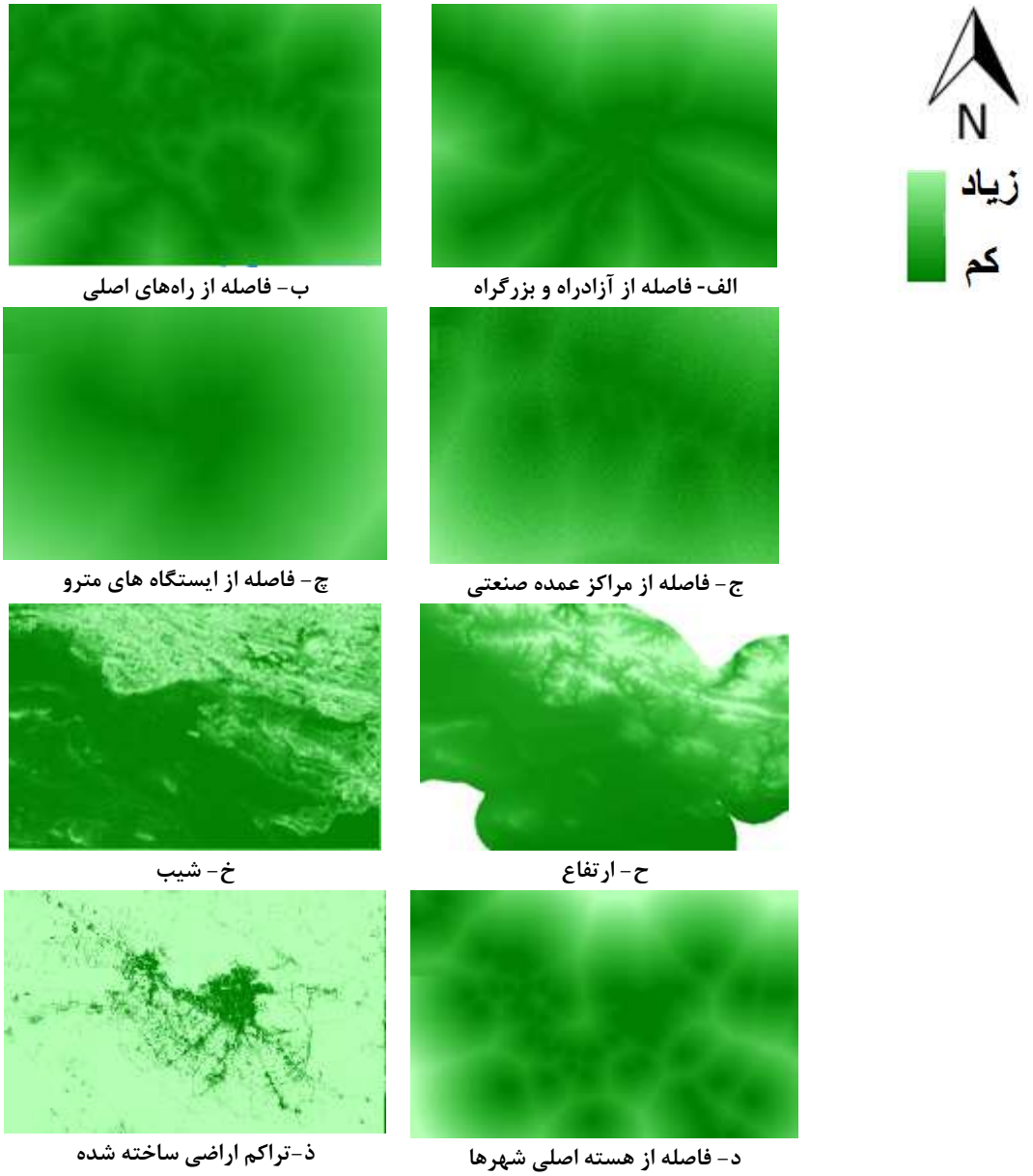
دیدگاه دوم استفاده از شاخص‌های مکانی است که میزان تطابق را در سطح قطعات و ساختار مکانی آنها اندازه می‌گیرد. این شاخص‌ها شامل تعداد قطعات شهری، چگالی قطعات، اندکس بزرگترین قطعه، میانگین مساحت قطعات، میانگین بعد فرکتالی و متوسط فاصله قطعات است. همچنین نتایج تحقیق با نتایج مدل اتوماتای سلولی لجستیکی که به مدلسازی الگوی رشد قطعات نمی‌پردازد، مقایسه شده‌است.

۵- پیاده‌سازی و نتایج

پس از انجام پردازش‌های مکانی بر روی داده‌ها با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10، نقشه‌های فاکتور همانند شکل (۵) تهیه شده‌اند. نقشه محدودیت‌های رشد شامل محدوده‌های آبی، نظامی، تاریخی و مذهبی، از نقشه کاربری‌های مجموعه شهری استخراج گردیده‌است. فاکتور شیب و ارتفاع با استفاده از نقشه مدل رقومی زمین، فاکتور تراکم نواحی ساخته شده با استفاده از تحلیل **تمرکز**[2] و با در نظر گرفتن کاربری‌های سلول پیرامون تهیه گردیده‌است. هسته اصلی شهرها، محدوده‌های با تراکم بالای نواحی ساخته شده در نظر گرفته شده و از طریق نقشه تراکم نواحی ساخته شده بدست آمد. فاکتور فاصله از هسته اصلی شهرها، مترو، نواحی صنعتی عمده، جاده و بزرگراه به ترتیب از نقشه هسته اصلی شهرها، ایستگاه‌های مترو، کاربری محدوده مجموعه شهری و شبکه راه‌ها و با استفاده از تحلیل فاصله اقلیدسی[3] تهیه شده‌است.

به‌منظور اجرای مدل ابتدا فاکتورهای موثر بر رشد شهر به فاصله ۰ و ۱ نرمال و ۱۰۰۰۰ نقطه نمونه شامل سلول‌های شهری و غیر شهری جهت محاسبه پارامترهای مدل انتخاب می‌شوند. پارامترهای مدل رگرسیون لجستیکی در جدول (۱) نشان داده شده‌است. بیشترین وزن مربوط به فاکتور فاصله از راه‌های اصلی و کمترین وزن مربوط به فاکتور فاصله از مترو است. نقشه پتانسیل رشد شهری حاصل از رابطه (۱) در شکل (۶) نمایش داده شده‌است. ضرایب روابط (۴و ۵) همانند جدول (۲) توسط ۴۰۰۰ قطعه نمونه آموزشی، شامل اندازه و LEI به‌عنوان متغیر مستقل محاسبه گردیده است. مطابق این جدول، اندازه قطعات بیشتر تحت تاثیر فاصله از شهرها قرار گرفته، طوریکه با دور شدن از هسته اصلی شهرهای بزرگ منطقه، اندازه قطعات کوچکتر می‌گردد.

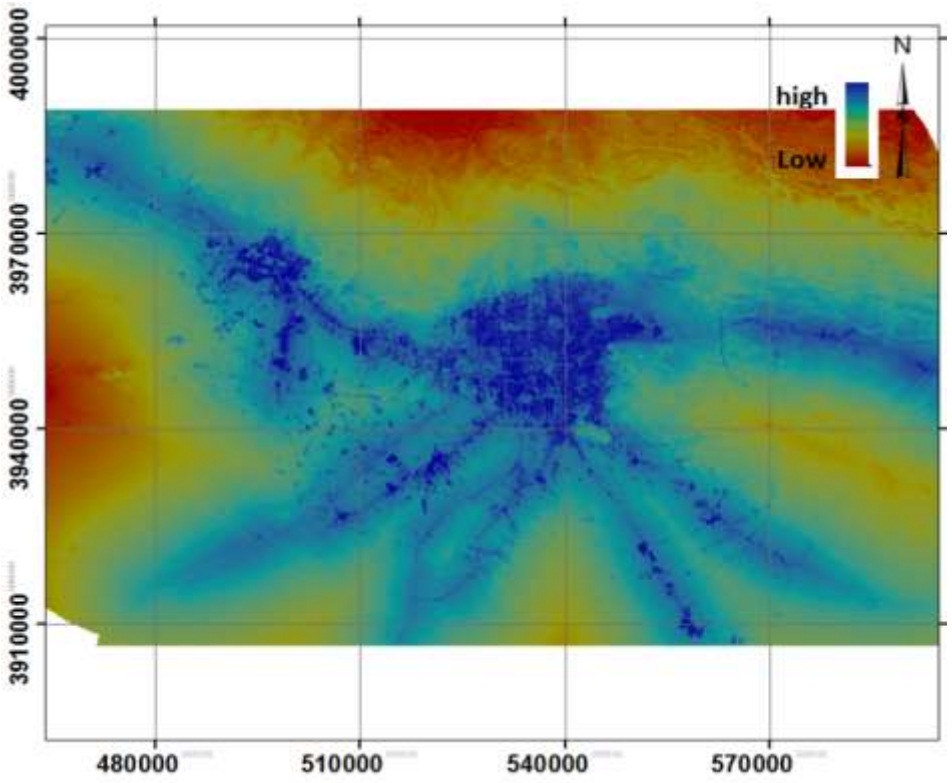
[1] Confusion Matrix
[2] Focal
[3] Euclidean distance



الف- فاصله از آزادراه و بزرگراه
ب- فاصله از راه‌های اصلی
ج- فاصله از مراکز عمده صنعتی
چ- فاصله از ایستگاه های مترو
ح- ارتفاع
خ- شیب
د- فاصله از هسته اصلی شهرها
ذ-تراکم اراضی ساخته شده

شکل ۵: نقشه فاکتورهای موثر بر رشد شهری

در رتبه بعدی اندازه قطعه متاثر از فاصله از آزادراه‌ها است که با دور شدن از آن، قطعات درشت‌تر می‌گردند. نوع رشد قطعه نیز بیشترین تاثیر را از شهرها دریافت می‌نماید. طوریکه با دور شدن از هسته اصلی شهرها، LEI کوچکتر شده و به عبارتی رشد قطعه به سمت رشد خارج از مرکز میل می‌کند. نقشه های رشد شهری تهیه شده توسط مدل اتوماتای سلولی قطعه مبنا و اتوماتای سلولی لجستیکی در شکل (۷) نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است روش ارائه شده در این تحقیق، از نظر ساختار مکانی قطعات به خصوص رشد خارج از مرکز به نقشه رشد واقعی شباهت بیشتری داشته، در حالیکه نقشه رشد شهری حاصل از مدل اتوماتای سلولی بیشتر به رشد حاشیه‌ای توجه داشته است.



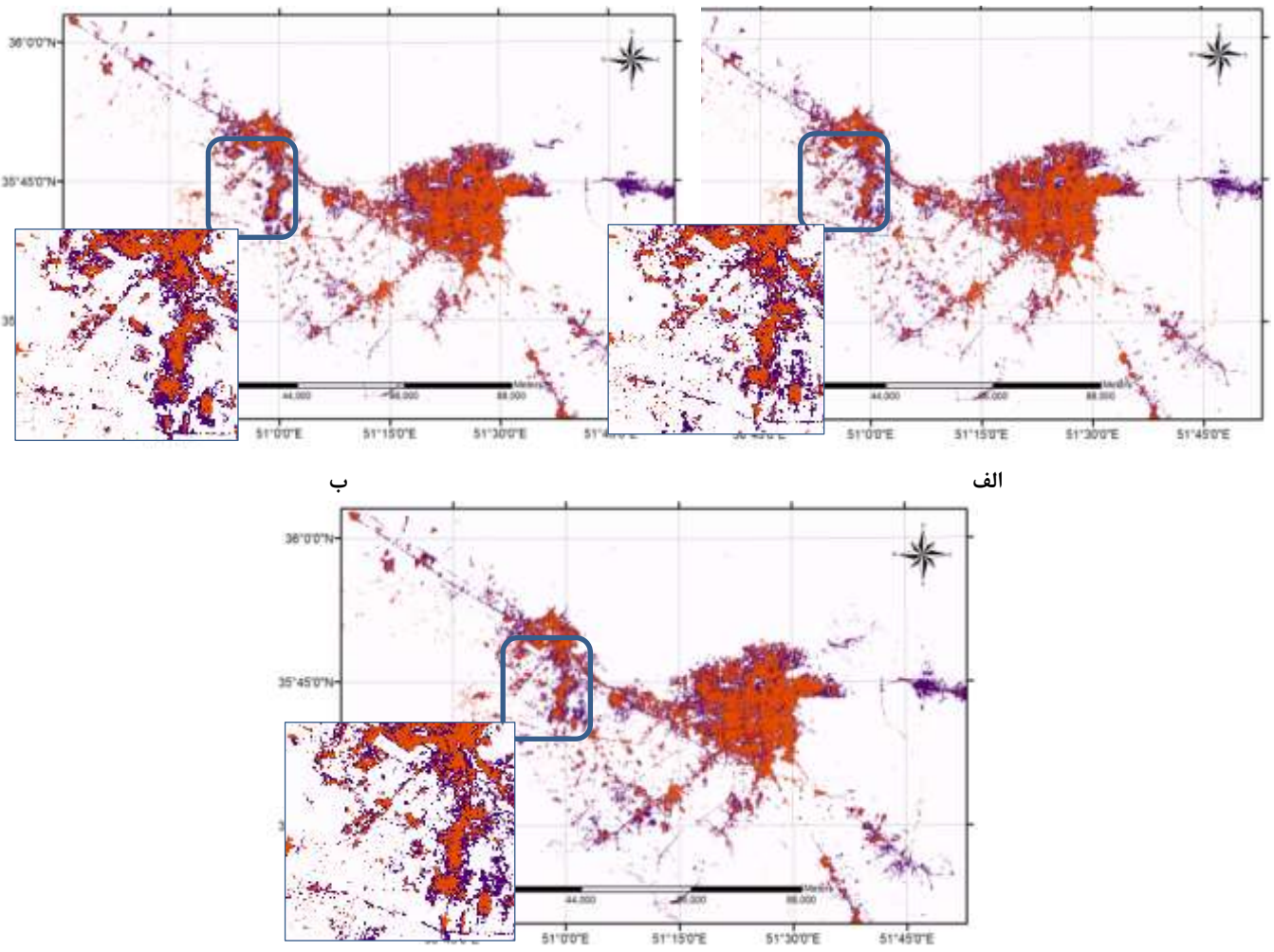
شکل ۶: نقشه پتانسیل رشد شهری در سال ۱۳۹۱

جدول ۱: پارامترهای مدل اتوماتای سلولی لجستیکی

متغیر وابسته	b۰	فاصله از هسته مرکزی شهرها	فاصله از آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها	فاصله از راه های اصلی	فاصله از مراکز صنعتی	فاصله از ایستگاه‌های مترو	شیب	ارتفاع	چگالی اراضی ساخته شده
ضریب	۰.۴۴	-۰.۶۹	-۱.۱۰	-۱.۹۷	-۰.۰۴	۰.۰۷	-۰.۶۵	۰.۸۹	۰.۶۰

جدول ۲: وزن فاکتورهای موثر بر اندازه و نوع رشد قطعات

متغیر مستقل	وزن فاکتور فاصله از شهرها (KM)	وزن فاکتور فاصله از آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها (KM)	وزن فاکتور فاصله از راه‌های اصلی (KM)	وزن فاکتور فاصله از صنایع عمده (KM)	وزن فاکتور شیب زمین(%)
اندازه قطعه	-1.681	0.862	-0.420	0.113	-0.746
نوع رشد	-0.042	0.002	-0.003	-0.015	-0.000



شکل ۷: نقشه نواحی شهری مجموعه شهری تهران در سال ۱۳۹۱ با استفاده از مدل الف) اتوماتای سلولی قطعه مبنا، ب)اتوماتای سلولی لجستیکی و ج) نقشه رشد شهر در واقعیت

مدلسازی با استفاده از ماتریس انتقال و سازگاری ارزیابی و نتایج در جدول (۳) نمایش داده شده‌است. دقت کلی و مدل اتوماتای سلولی به ترتیب برابر با ۹۱/۰۱ و ۳۷/۹۶ است که ۱/۰۲ و ۰/۴۸ درصد نسبت به اتوماتای سلولی لجستیکی بهبود داشته است. علی‌رغم اینکه در سطح سلولی، مدل پیشنهادی بهبود چندانی نسبت به اتوماتای سلولی نداشته است ولی نتایج محاسبه شاخص‌های مکانی نشان دهنده، افزایش دقت مدلسازی در سطح قطعات و به عبارتی افزایش دقت مدلسازی ساختار مکانی رشد قطعات گردیده است. میزان شاخص‌های مکانی دو مدل فوق نسبت به نقشه نواحی شهری در واقعیت در جدول (۴) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اغلب شاخص‌های مکانی نقشه تهیه شده توسط اتوماتای سلولی قطعه مبنا، به نقشه رشد واقعی نزدیک می‌باشند.

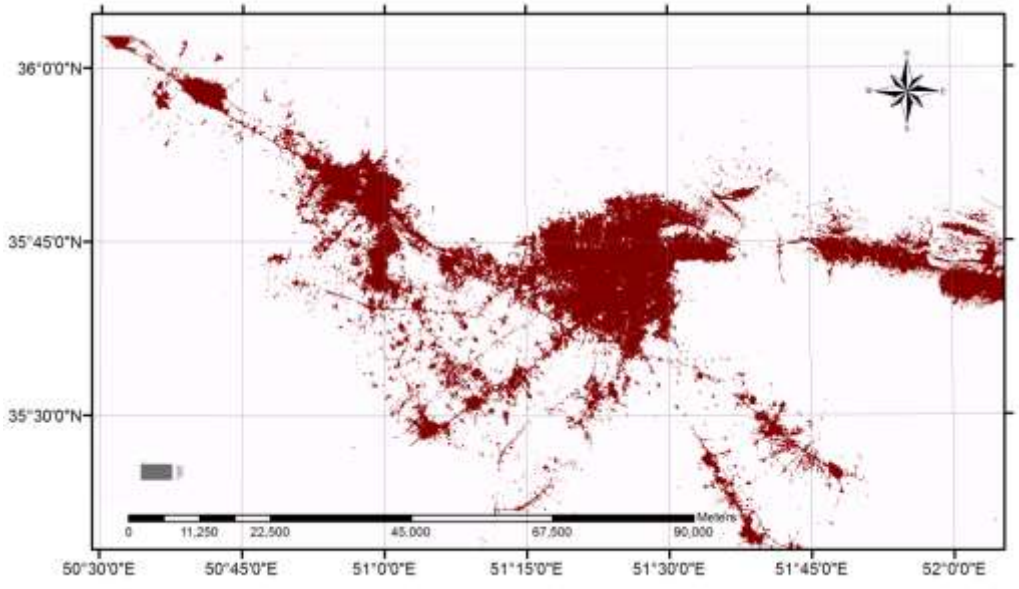
جدول ۳: دقت کلی (ماتریس انتقال) و سازگاری نتایج مدلسازی

	دقت کلی	سازگاری
اتوماتای سلولی قطعه مبنا	۹۱/۰۱	۳۷/۹۶
اتوماتای سلولی لجستیکی	۸۹/۹۹	۳۷/۴۸

جدول ۴: مقادیر شاخص‌های مکانی

شاخص مکانی	نماد شاخص مکانی	نقشه نواحی شهری در واقعیت	اتوماتای سلولی قطعه مبنا	اتوماتای سلولی لجستیکی
قطعات شهری تعداد	**NP**	۳۱۰۲	۳۲۶۶	۲۸۳۴
چگالی قطعات	**PD**	۰.۲۲	۰.۲۵	۰.۲۱
بزرگترین قطعه اندکس	**LPI**	۶.۴۵	۷.۳۷	۴.۹۴
میانگین مساحت قطعات	**Area_MN**	۴۷.۰۱	۵۱.۰۸	۳۸.۸
فرکتالی بعد میانگین	**FRAC_MN**	۱.۰۲۹	۱.۰۲۶	۱.۰۲۹
فاصله قطعات متوسط	**Enn_MN**	۳۶۰.۷۷	۳۶۸.۸	۳۷۹.۷۷

به‌منظور پیش‌بینی رشد مجموعه شهری در سال ۱۳۹۷، با مبنا قرار دادن نقشه نواحی ساخته شده سال ۱۳۹۱، مدل پیشنهادی (با ضرایب محاسبه شده) اجرا می‌گردد. نقشه رشد مجموعه شهری در سال ۱۳۹۷، در شکل (۸) نمایش داده شده است. مطابق این شکل، محدوده شهرهای مابین تهران و کرج و محدوده جنوب کرج، با رشد نواحی شهری بیشتری مواجه خواهند شد. همچنین گرایش بالای رشد شهری در اطراف شبکه حمل و نقلی کلان محدوده، نقش پراهمیت این فاکتور را در روند رشد مجموعه شهری نشان می‌دهد.



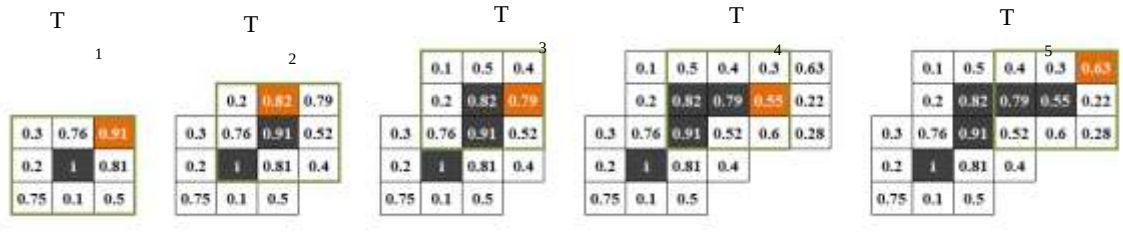
شکل ۸: نقشه نواحی ساخته شده مجموعه شهری تهران در سال ۱۳۹۷ با استفاده از مدل اتوماتای سلولی قطعه مبنا

۶- بحث و نتیجه‌گیری

مجموعه‌های شهری نوع جدیدی از سکونتگاه‌های شهری بوده که در سال‌های اخیر با رشد شتابزده، تبدیل به مهمترین مراکز اقتصادی، سیاسی و اجتماعی دنیا شده‌اند. این مجموعه‌ها از نظر مکانی مجموعه‌ای از قطعات ریز و درشت شهری بوده که به صورت خوشه‌ای اطراف هسته اصلی شهرها شکل گرفته‌اند [۱۲]. در حالیکه مدل‌های متداول شبیه‌سازی رشد شهری مانند CA که مدل‌های پایین به بالا بوده و در سطح سلول عمل می نماید از مدل‌سازی الگوی رشد قطعات ناتوان مانده‌است [۱۰، ۹]. تحقیقات انجام شده در این زمینه اندک است و این تحقیقات نیز اغلب دارای ماهیت تصادفی در تعیین الگوهای رشد قطعات می‌باشند. از اینرو در این تحقیق، مدلی بر مبنای CA به منظور شبیه‌سازی الگوی رشد قطعات شهری ارائه شده است.

مدل‌پیشنهادی شامل دو بخش است. در بخش اول نقشه پتانسیل رشد شهری با استفاده از مدل رگرسیون لجستیکی و تلفیق فاکتورهای موثر بر رشد شهری تهیه می‌گردد و یک سلول به عنوان مرکز رشد قطعه، به روش انتخاب گسسته بر پایه پتانسیل رشد سلولها انتخاب می‌شود. در بخش دوم، الگوریتمی به منظور تکمیل رشد قطعه اطراف سلول انتخابی بر پایه CA اجرا می‌شود. در این الگوریتم دو شاخص اندازه و نوع رشد که در تحقیقات گذشته به عنوان مهترین شاخص‌های شبیه‌سازی رشد قطعه استفاده شده‌اند، در موقعیت سلول انتخابی تعیین می‌گردند. برای این منظور ابتدا عوامل موثر بر الگوی رشد قطعات شناسایی شده است. این عوامل شامل فاصله از هسته اصلی شهرها، آزادراه‌ها، راه‌های اصلی، صنایع عمده و شیب زمین می‌باشند. سپس این عوامل وزندهی و تلفیق می‌گردند و اندازه و نوع رشد قطعه محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از الگوریتم پیشنهادی اطراف سلول انتخاب شده قطعه‌ای تشکیل می‌شود. در نهایت مراحل فوق تا رسیدن به تقاضای کلی منطقه ادامه می‌یابد.

الگوریتم رشد قطعه پیشنهادی در این تحقیق (شکل (۴))، روش پنجره متحرک ارائه شده توسط چن و همکاران [۱۴] را بهبود می‌بخشد. در روش پنجره متحرک، فقط سلولهای داخل پنجره متحرک از نقطه نظر پتانسیل با یکدیگر مقایسه می‌گردند و لذا رشد قطعه در یک جهت ادامه می‌یابد. در حالیکه ممکن است در گام‌های قبلی، سلولهایی متصل به سلول تبدیل شده با پتانسیل بالاتری از پنجره متحرک وجود داشته باشد. روش ارائه شده در این تحقیق ضمن حفظ پیوستگی و اتصال سلول‌ها، سلول‌هایی با بیشترین پتانسیل رشد را انتخاب می‌نماید. در شکل (۹)، نتیجه پیاده‌سازی روش چن و همکاران [۱۴] نمایش داده شده است. قطعه شهری تشکیل شده در این شکل با نتیجه این تحقیق تفاوت بسیاری دارد.



شکل ۹: قطعه تشکیل شده به روش ارائه شده توسط چن و همکاران [۱۴]

مقادیر ماتریس انتقال و سازگاری، نشان دهنده افزایش جزئی دقت مدل ارائه شده در این تحقیق نسبت به مدل اتوماتای سلولی لجستیکی در سطح انطباق سلول به سلول است. در حالیکه

محاسبه شاخص‌های مکانی، نشان دهنده افزایش معنی‌دار دقت مدل پیشنهادی در شبیه‌سازی ساختار مکانی و الگوی رشد قطعات شهری است (جداول ۳و ۴).

در این تحقیق، بر خلاف تحقیقات گذشته الگوی رشد قطعات شهری به صورت تصادفی تعیین نگردیده است و همچنین عملکرد سلول مبنای و ماهیت پایین به بالای مدل CA را با تلفیق آن با یک الگوریتم قطعه مبنا، بهبود بخشیده است. از طرفی در این تحقیق میزان و چگونگی تاثیر عوامل کلان رشد مجموعه شهری بر الگوهای رشد قطعات تعیین می‌شود. مطابق نتایج تحقیق اندازه قطعات بیشتر تحت تاثیر فاصله از شهرها قرار گرفته، طوریکه با دور شدن از هسته اصلی شهرهای کلان منطقه، اندازه قطعات کوچکتر می‌گردد. نوع رشد قطعه نیز بیشترین تاثیر را از شهرها دریافت می‌نماید. طوریکه با دور شدن از هسته اصلی شهرها، رشد قطعه به سمت رشد خارج از مرکز میل می‌کند.

مطابق نقشه پیش‌بینی رشد مجموعه شهری تهران در سال ۱۳۹۷، محدوده شهرهای مابین تهران و کرج و محدوده جنوب کرج، با رشد نواحی شهری بیشتری مواجه خواهند شد. همچنین گرایش بالای رشد شهری در اطراف شبکه حمل و نقلی کلان محدوده، نقش پراهمیت این فاکتور را در روند رشد مجموعه شهری نشان می‌دهد. شهرهای نزدیک به یکدیگر مانند بوهمن و رودهن، شهریار و اندیشه و ملارد، شهر جدید هشتگرد و هشتگرد تقریبا به یکدیگر پیوسته شده، از طرف دیگر میزان رشد پراکنده قطعات شهری ما بین کلان شهرها و شهرهای اصلی مجموعه افزایش یافته است. با دستیابی به دقت قابل قبول در این مدلسازی، نقشه پیش‌بینی رشد مجموعه شهری ابزاری مناسب برای برنامه‌ریزان شهری جهت تحلیل چگونگی رشد شهر در صورت ادامه سناریوی موجود می‌باشد.

به منظور انجام تحقیقات آینده در این زمینه، ترکیب مدل‌های پایین به بالا مانند **CA** با مدل‌های بالا به پایین به منظور مدل‌سازی رشد مجموعه شهری، بررسی و محاسبه محلی الگوهای رشد شهری و لحاظ نمودن اهمیت مدل‌سازی الگوی رشد در مقایسه با سایر فاکتورهای رشد شهری و ارزیابی مدل این تحقیق در مجموعه‌های شهری دیگر در کشور پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

[1] Zh. Zhang et al., "Identifying determinants of urban growth from a multi-scale perspective: A case study of the urban agglomeration around Hangzhou Bay, China ", Applied Geography, 45, 193-202, 2013.

[2] M. Herold, H. Couclelis, and K. C. Clarke, "The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change.", Computers, Environment and Urban Systems, 29, 369–399, 2005.

[3] As. Achmad, et al., "Modeling of urban growth in tsunami-prone city using logistic regression: Analysis of Banda Aceh, Indonesia", Applied Geography, 62, 237-246, 2015.

[4] Ch. He, et al., "Modeling the urban landscape dynamics in a megalopolitan cluster area by incorporating a gravitational field model with cellular automata.", Landscape and Urban Planning, 113, 78– 89, 2013.

[5] C. Gu, et al., "Climate change and urbanizationin the Yangtze River Delta.", Habitat International, 35, 544–552, 2011.

[6] X. Liu, et al., "Simulating urban growth by integrating landscape expansion index (LEI) and cellular automata.", International Journal of Geographical Information Science, 28, 1, 148–163, 2014.

[7] X. Li, and A.G.O., Yeh, "Analyzing spatial

restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. Landsc.", Urban Plan, 69, 335–354, 2004.

[8] Y. Liu, et al. "An integrated GIS based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe.", Landscape Urban Planing, 82, 233–246, 2007.

[9] C. Jantz, and S. J. Goetz. "Analysis of scale dependencies in an urban land-use-change model." International Journal of Geographical Information Science, 19, 217–41, 2005.

[10] A. G. Yeh, and X. Li. "Errors and uncertaintiesin urban cellular automata." Computers, Environment and Urban Systems, 30,10–28, 2006.

[11] Y. Liu, et al. "Modeling different urban growth patterns based on the evolution of urban form: A case study from Huangpi, Central China." Applied Geography, 66, 109-118, 2016.

[12] F. Aguilera, et al. "Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area." Landscape and Urban Planning, 99,226–238, 2011.

[13] K. Meentemeyer , Wenwu Tang , Monica A. Dorning , John B. Vogler , Nik J. Cunniffe & Douglas A. Shoemaker, FUTURES: Multilevel Simulations of Emerging Urban–Rural Landscape Structure Using a Stochastic Patch-Growing Algorithm, Annals of the Association of American Geographers, 2012.

[14] Y. Chen, et al. "Modeling urban land-use dynamics in a fast developing city using the modified logistic cellular automaton with a patch-based simulation strategy". International Journal of Geographical Information Science, 28, 234–255, 2014.

[15] H. Taubenböck, et al. "New dimensions of urban landscapes: The spatio-temporal evolution from a polynuclei area to a mega-region based on remote sensing data." Applied Geography, 47, 137-153, 2014.

[16] K.C. Clarke, et al. "Aself-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area." Environmnet Planning, 24, 247–261, 1997.

[17] A. Sorensen, and J. Okata, "Megacities: Urban Form, Governance, and Sustainability", springer, 84-87, 2012.

[18] Ch. He, et al., "Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata", Landscape and Urban Planning, 86, 71-91, 2008.

[19] P.B. Gonzalez, F. Aguilera-Benavente, and M. Gomez-Delgado, "Partial validation of cellular automata based model simulations of urban growth: An approach to assessing factor influence using spatial methods.", Environmental Modeling & Software, 69, 77_89, 2015.

[20] G. Tian, et al., 2011. The urban growth, size distribution and spatio-temporal dynamic pattern of the Yangtze River Delta megalopolitan region, China. Ecological Modelling, 222, 865–878.

[21] B.C. Pijanowskia, et al. "Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model.", Computers, Environment and Urban Systems, 26, 6, 553–575, 2002.

[22] X.P. Liu, et al. "A bottom-up approach to discover transition rules of cellular automata using ant intelligence.", International Journal of Geographical Information Science, 22, 1247–1269, 2008.

[23] Y. Qi, et al. "Evolving core coreperiphery interactions in a rapidly expanding urban landscape: The case of Beijing.", Landscape Ecology, 19, 375–388, 2004.

[24] A. Tayyebi, B.Ch. Pijanowski, and B. Pekin, "Two rule-based Urban Growth Boundary Models applied to the Tehran.", Applied Geography, 31, 908-918, 2011.

[25] J.J. Arsanjani, M. Helbich, and E.N. Vaz, "Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: The

case of Tehran." Cities, 32, 33–42, 2013.

[26] Kh. Al-Ahmadi, et al, “Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia. ecological complexity”, 6, 80–101, 2009.

[27] H. Shafizadeh-Moghadam, and M. Helbich, “Spatiotemporal variability of urban growth factors: A global and local perspective on the megacity of Mumbai.”, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 35, 187–198, 2015.

[28] J. Wu, and J.L. David, “A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: Theory and applications.”, Ecological Modelling, 153, 7–26, 2002.

[29] R.G. Pontius, et al. “Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change.”, The Annals of Regional Science, 42, 1, 11–37, 2008.

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.4, No.3, Autumn 2016

Modeling growth pattern of urban patches using a patch-growing algorithm based on cellular automata in the Tehran megalopolitan area

Sanaz Alaei Moghadam [1], Mohamad Karimi [*2]

1- PHD student of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology
2- Assistant professor, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology

Abstract

The megapolis areas are new types of urban settlements created in recent decades along with rapid urbanization. These areas constructed by clusters of small and large urban patches with various growth patterns. Spatial characteristics of urban patches are affected by some driving forces such as closeness to cities Central Business Center CBD and transportation network. The Cellular automata as a most common model for simulating urban growth, is unable in modeling spatial configuration of urban patches because of bottom up procedure and despite of high simulation power at cell level, CA has weaker performance in patch level. So in this study a method is presented for simulation of urban patches growth that is integrated with Logistic CA to modeling urban growth. In this method, on the one hand the growth potential map derived using logistic regression and on the other hand size and growth type of patch in each location is derived using integration of driving forces of growth patterns of urban patches. Finally according to proposed framework, a patch is constructed around selected cell and urban growth map will be prepared. The proposed model is implemented in the Tehran's megalopolis area in 1379-1385-1391-1397 periods. The overall accuracy and FOM of results is equal to 91/01 and 37/96, respectively that are better than logistic CA model. Also the results of validation of produces urban growth map by using spatial metrics reviled high precision of methodology in simulation of spatial configuration of urban pattern.

Key words: Urban patches**,** urban growth simulation, the megapolis area, spatial index, Cellular automata

Correspondence Address GIS Group, Department of Geomatics, College of Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Tel:. +98 9123898385
Email: mkarimi@kntu.ac.ir