



مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامونی با استفاده از سلول‌های خودکار (CA) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: منطقه ۷ اصفهان)

محمود محمدی: استادیار شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

احسان مالکی پور: مدرس شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

علیرضا صاحبقرانی: دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران*

دریافت: ۱۳۹۱/۸/۳ - پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۲۲، صص ۱۷۵-۱۹۲

چکیده

گسترش بی‌رویه شهر در اراضی پیرامونی از مهم‌ترین مسائل برای مدیران و برنامه‌ریزان شهرها در سطوح گوناگون است. از آن‌جا که امروزه بررسی روند تغییرات کاربری اراضی به کاربری شهری نقشی اساسی را در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت بازی می‌کند، پیش‌بینی روند گسترش شهر و مدل‌سازی آن در آینده با روش‌های دقیق جهت مدیریت و کنترل گسترش شهری بیش از پیش ضرورت می‌یابد. در این میان یکی از روش‌های مدل‌سازی گسترش و توسعه شهری مدل سلول‌های خودکار است. این مدل به دلیل برخورداری از ماهیت پویا، قابلیت تلفیق با سایر مدل‌ها، امکان اصلاح مدل و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، به طور گسترده‌ای در مطالعات شهری به کار گرفته شده است. این مدل دارای محدودیت‌هایی نیز بوده که تلاش‌هایی برای رفع محدودیت‌های آن در تحقیقات مختلف صورت گرفته است. در این مقاله برای افزایش کارایی مدل سلول‌های خودکار و رفع محدودیت‌های آن از تلفیق مدل سلول‌های خودکار با مدل AHP استفاده شده است؛ و میزان دقت آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقاله حاضر از نظر هدف، کاربردی بوده که مبانی نظری آن به شیوه‌ی اسنادی گردآوری و جهت تحلیل موضوع از روش‌های کمی و مقایسه‌ای استفاده شده است. در این پژوهش ابتدا عوامل تاثیرگذار در گسترش شهری تدوین شده است. سپس نقشه‌ی احتمالی تناسب اراضی با استفاده از روش AHP در محیط GIS تولید شده و پس از تعریف اجزا مدل سلول‌های خودکار، گسترش شهری در سال ۱۳۹۰ بر مبنای داده‌های سال ۱۳۸۵ مورد پیش‌بینی قرار گرفته است. به منظور بررسی دقت مدل، از محاسبه‌ی ضریب کاپا استفاده شده است. ضریب کاپای محاسبه شده برابر با ۰/۸۹ بوده که بیانگر توافق ۸۹ درصدی پیش‌بینی صورت گرفته با واقعیت است. مقایسه‌ی ضریب کاپای به دست آمده با مقدار استاندارد آن نشانگر دقت مناسب مدل و افزایش کارایی مدل سلول‌های خودکار در صورت تلفیق با مدل AHP است.

واژه‌های کلیدی: گسترش شهر، مدل‌سازی شهری، سلول‌های خودکار، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، منطقه ۷ شهرداری اصفهان

۱- مقدمه

۱-۱- طرح مسأله

امروزه شهرها با رشدی شتابان در حال گسترش و توسعه هستند (احدنژاد روشتی و حسینی، ۱۳۹۰). گسترش شهری منجر به شکل‌گیری اشکال پیچیده‌ای از موجودیت فضایی شهرها شده است (ذاکر حقیقی، ماجدی، و حبیب، ۱۳۸۹). این گسترش به دلیل افزایش جمعیت، مهاجرت‌های برون و درون شهری و عدم تامین مسکن مورد نیاز اقشار مختلف، غالباً در اراضی پیرامونی شهرها رخ داده، به طوری که موجب تخریب اراضی کشاورزی، صدمات زیست محیطی، و رشد ناموزون و پراکنده‌ی شهر شده است. گسترش شهر در پیرامون موجب ایجاد سکونتگاه‌های خودرو و غیررسمی که از مشکلات عدیده‌ی اجتماعی، اقتصادی و کالبدی رنج می‌برند می‌شود (قائد رحمتی و حیدری نژاد، ۱۳۸۸). در سال‌های اخیر برنامه‌های متعددی جهت ساماندهی، مدیریت و هدایت گسترش شهر در اراضی پیرامونی تهیه شده، که به دلیل عدم شناخت کافی از عوامل تاثیر گذار و محرک توسعه، و وضعیت و نحوه‌ی گسترش آتی شهر در اراضی پیرامون، تحقق نیافته است. از طرفی فقدان ابزاری مناسب جهت مدل‌سازی، شناسایی نقاط آسیب پذیر و در معرض توسعه، و پیش‌بینی گسترش آتی شهر در اراضی پیرامونی، تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی در این حوزه را با مشکل جدی مواجه کرده است. با توجه به این‌که، برنامه‌ریزی شهری نیازمند مدل‌سازی مسائل و واقعیت‌های شهر جهت اتخاذ بهترین راه‌حل‌ها می‌باشد (رفیعیان و سرداری، ۱۳۸۷)؛ تا کنون مدل‌هایی برای پیش‌بینی توسعه شهری به کار گرفته شده است. در این میان مدل سلول‌های خودکار به دلیل ماهیت پویا و پایین به بالای آن به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته

است. با این وجود مدل سلول‌های خودکار مرسوم دارای محدودیت‌ها و نقاط ضعفی بوده که تلاش‌هایی در جهت بهبود آن انجام گرفته و تا کنون ادامه دارد. بنابراین می‌توان گفت که مدل‌سازی گسترش شهر بر مبنای عوامل محرک و اثر گذار، جهت کنترل، مدیریت و پیش‌بینی رفتار آتی سیستم شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و بهبود و رفع محدودیت‌های مدل‌های موجود در این زمینه از مسائل مهم به شمار می‌رود.

۱-۲- اهمیت و ضرورت

به منظور دستیابی به توسعه‌ی پایدار شهری، درک چگونگی فرآیند رشد شهری که لازمه‌ی آن شناخت عوامل اساسی موثر بر رشد و توسعه‌ی شهری و اثرات متقابل آن‌ها بر هم است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده به گونه‌ای که نیاز به پیش‌بینی الگوهای رشد شهری، با استفاده از روشی دقیق و کارآمد در جهت مدیریت پایدار شهری، بیش از پیش ضرورت پیدا می‌کند (رضازاده و میراحمدی، ۱۳۸۷). از سوی دیگر شهرها ترکیب پیچیده‌ای از عناصر اجتماعی، اقتصادی و مکانی هستند؛ که این عناصر، تأثیرات گوناگونی روی فرآیند رشد شهری داشته و ارتباط متقابل این عناصر، بسیار پیچیده است (Junfeng, 2003). این پیچیدگی‌ها استفاده از روش‌های مرسوم و قدیمی مدل‌سازی را با مشکل مواجه می‌کند، زیرا آنها ایستا، به هم پیوسته و بر اساس تئوری، سیستم‌های بالا به پایین هستند (Cheng, 2003). بنابراین به منظور مدل‌سازی سیستم‌های شهری بایستی روش‌های جدید را مورد استفاده قرار دهیم که پویا، گسسته و پائین به بالا باشند (Junfeng, 2003). به همین جهت، لازمه‌ی اتخاذ تصمیمی مناسب جهت کنترل سیستم پیچیده و پویای شهر، بازنمایی، و امکان پیش‌بینی حالت‌های آتی آن در آینده، مستلزم به کارگیری مدل‌ها و روش‌های پیچیده

با توجه به ایده‌ی مفهومی ساختار سلسله مراتبی فضا، امکان در نظر گرفتن تاثیر کاربری‌ها در فواصل بزرگ-تر را فراهم می‌کند؛ و قابلیت بررسی تاثیر کاربری‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی را دارا است.

جان لاهتی^۲ (۲۰۰۸) در پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خود با عنوان "مدلسازی رشد شهری با استفاده از سلول‌های خودکار؛ نمونه موردی: سیدنی، استرالیا"، با اشاره به پیچیدگی‌های پدیده‌های شهری، از مدل سلول‌های خودکار به عنوان رویکردی پایین به بالا و موفق در تبدیل پیچیدگی‌های شهری به قوانین ساده و قابل فهم یاد می‌کند. لاهتی عواملی نظیر فاصله از مرکز فعالیت نواحی، و فاصله از شبکه‌ی ارتباطی را در نظر می‌گیرد و مدلسازی خود را بر پایه‌ی این عوامل استوار می‌سازد.

ماورودی^۳ (۲۰۰۷)، در پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خود با عنوان "شبیه‌سازی رشد شهری با استفاده از الگوریتم سلول‌های خودکار"، به طراحی الگوریتمی برای شبیه‌سازی فرآیند رشد شهری می‌پردازد. ماورودی در پژوهش خود به دنبال ارائه‌ی مدلی جهت شبیه‌سازی پراکندگی کاربری‌های شهری مانند کاربری تجاری و مسکونی است؛ و برای دستیابی به این امر به تعریف قوانین انتقال متعددی در مدل سلول‌های خودکار می‌پردازد.

الکساندرا سیفارد^۴ و دیگران (۲۰۰۵) در تحقیقی با موضوع "کاربرد مدل سلول‌های خودکار برای پیش-بینی اثرات رشد شهری بر الگوی سکونت در کالیفرنیا شمالی"، مدل سلول‌های خودکار را با استفاده از الگوهای رشد در گذشته کالیبره کرده است. در این تحقیق، سه سناریوی مختلف رشد شهری برای پیش‌بینی اثر رشد سکونتگاه‌های شهری بر الگوی

و مبتنی بر کامپیوتر است. هم‌چنین علی‌رغم توجه به موضوع مدلسازی شهری در کشورهای توسعه یافته، مطالعات محدودی در کشور ما انجام شده که نشان-دهنده‌ی اهمیت و ضرورت پرداختن به مدلسازی و کاربرد آن در شهرسازی را مشخص می‌نماید.

۱-۳- اهداف

اهداف این پژوهش عبارتند از:

- بررسی و شناسایی محرک‌های توسعه شهر در اراضی پیرامونی؛
- ارائه مدلی بر مبنای سلول‌های خودکار و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور پیش‌بینی گسترش شهر در اراضی پیرامونی؛
- پیش‌بینی نحوه‌ی گسترش شهر در اراضی پیرامونی با توجه به تاثیر محرک‌های توسعه با استفاده از سلول‌های خودکار و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی.

۱-۴- پیشینه پژوهش

تاکنون تحقیقاتی در زمینه‌ی مدلسازی گسترش شهری در قالب مطالعات گوناگون صورت گرفته است. در هر یک از این پژوهش‌ها از متغیرها و روش‌های مختلفی با توجه به نیازها، اهداف و فرضیات مورد نظر محققین استفاده شده است؛ و شیوه‌های مختلفی به منظور کالیبره‌سازی مدل سلول‌های خودکار به کار رفته است. بنابراین در این بخش به مرور و شرح کوتاهی از این مطالعات پرداخته می‌شود.

ون ولایت^۱ و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله‌ای با عنوان "مدلسازی رشد شهری با استفاده از سلول‌های خودکار متغیر شبکه‌ای"، به منظور مدلسازی رشد شهری از سلول‌های خودکار متغیر شبکه‌ای استفاده کرده‌اند. آن‌ها بیان می‌کنند که این روش امکان به کار-گیری اطلاعات فضایی بیش‌تر را به روشی کارآمدتر در اختیار مدلساز قرار می‌دهد. رویکرد متغیر شبکه‌ای

2 Johan Lahti

3 Marroudi

4 Alexandra Syphard

1 Van Vliet

غرب تهران" از روش سلول‌های خودکار برای شبیه‌سازی گسترش اراضی مسکونی در حومه غرب تهران استفاده کرده‌اند. آن‌ها سه مدل سلول‌های خودکار مبتنی بر وزن‌های شاهد، مستقیم و ترکیبی را مورد آزمون قرار داده‌اند. در این تحقیق بیان می‌شود که مدل سلول‌های خودکار قابلیت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را دارا است. با ای وجود، ارزیابی و بررسی بیش‌تر برای بهینه‌تر نمودن این مدل‌ها توسط محققین توصیه می‌شود.

موسوی و همکاران (۱۳۸۹)، در مقاله‌ای با عنوان "مدل سازی توسعه کالبدی و تعیین مکان بهینه برای اسکان جمعیت شهر سردشت تا افق ۱۴۰۰ به روش دلفی و منطق بولین در GIS"، به مدل‌سازی توسعه کالبدی و تعیین مکان بهینه اسکان جمعیت، از سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش دلفی و منطق بولین پرداخته‌اند. در این پژوهش به تعیین جهت توسعه افقی شهر در آینده پرداخته شده و محدودیت‌های ژئومورفولوژیک و کمبود کاربری‌ها و خدمات شهری به عنوان عوامل محدود کننده گسترش شهر سردشت معرفی شده است.

فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۸)، در مطالعه‌ای با عنوان "سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سلول‌های خودکار (CA) به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری (مطالعه موردی: شهر شهرکرد)"، از تلفیق مدل سلول‌های خودکار با سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های مرتبط با سنجش از دور به منظور شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در یک دوره ۳۵ ساله استفاده کرده‌اند. در این مطالعه از روش وزن‌های شاهد، زنجیره‌های مارکف و نظریه بیز جهت تعیین احتمال تبدیل وضعیت اراضی بهره استفاده شده است.

سکونت تدوین شده، و توسط مدل طراحی شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه جهت نمایش خروجی مدل و تولید داده‌های ورودی به آن از نرم‌افزار GIS استفاده شده است.

اچ^۵ و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی با عنوان "پیش‌بینی رشد شهری با استفاده از شبکه عصبی و سلول‌های خودکار"، از ترکیب شبکه‌ی عصبی و سلول‌های خودکار، به منظور پیش‌بینی تأثیرات تغییرات کاربری زمین در رشد سکونتگاه‌ها و بررسی مزایای تلفیق شبکه‌ی عصبی و سلول‌های خودکار جهت مدل‌سازی رشد شهری، استفاده کرده‌اند. در این پژوهش عواملی از قبیل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از معابر، فاصله از مراکز گردشگری و فاصله از صنایع به عنوان عوامل اثرگذار بر رشد شهری در نظر گرفته شده است.

لی^۶ و یه^۷ (۲۰۰۲) در مقاله‌ی خود با عنوان "سلول‌های خودکار مبتنی بر شبکه‌ی عصبی برای شبیه‌سازی تغییرات چندگانه‌ی کاربری زمین با استفاده از GIS"، از سلول‌های خودکار جهت شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری استفاده کرده‌اند. در این مقاله و به منظور کالیبره کردن مدل و استخراج وزن متغیرهای موثر بر توسعه، از شبکه‌ی عصبی استفاده شده است. لی و یه متغیرهایی از قبیل: فاصله از معابر، فاصله از نواحی عمده‌ی شهر و مناسب برای شهرسازی، فاصله از مراکز شهری، شیب و نوع خاک را برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی، مورد توجه قرار داده‌اند.

علی محمدی سراب و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی با عنوان "ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب

5 Hedge

6 Li

7 Yeh

محققین اشاره می‌کنند که مدل ایجاد شده برای شبیه‌سازی روند رشد شهرهای ایران و جهان مناسب است.

۱-۵- سئوالات تحقیق

با توجه به اهداف تحقیق، در مقاله حاضر محرک‌های اثرگذار بر توسعه و گسترش شهری مورد بررسی و شناسایی قرار خواهند گرفت. پس از آن مدلی بر مبنای تلفیق سلول‌های خودکار و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توسعه خواهد یافت و پس از اعتبار سنجی، از آن به منظور پیش‌بینی گسترش شهر در اراضی پیرامونی استفاده به عمل خواهد آمد. در این راستا پرسش‌های پژوهش به شکل زیر تدوین شده است:

- عوامل محرک توسعه و گسترش شهر در اراضی پیرامون چه هستند؟

- سیستم پشتیبان تصمیم^۱ GIS، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سلول‌های خودکار چگونه می‌توانند در مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامونی کمک کنند؟
- شهر در سال‌های آتی چگونه در اراضی پیرامونی گسترش خواهد یافت؟

۱-۶- روش تحقیق

روش تحقیق این مقاله از نظر هدف کاربردی بوده که مبانی نظری آن به شیوه‌ی اسنادی گردآوری و جهت تحلیل موضوع از روش‌های کمی و مقایسه‌ای استفاده شده است. در این مطالعه، ابتدا مدل سلول‌های خودکار مورد بررسی قرار گرفته، و محدودیت‌ها و روش‌های رفع آن در مطالعات صورت گرفته در این زمینه شناسایی، و مناسب‌ترین روش رفع محدودیت با توجه به این مطالعات انتخاب شده است. سپس عوامل موثر در گسترش شهری با استفاده از مرور منابع و بررسی عکس‌های هوایی محدودی مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مختلف تعیین شده است. پس از آن نقشه‌های تحلیلی مرتبط با عوامل موثر در

گسترش شهری، در نرم‌افزار GIS تولید شده، و وزن‌های به دست آمده از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مربوط به مقایسه‌ی محرک‌های توسعه نسبت به یکدیگر، در لایه‌ها اعمال، و از همپوشانی لایه‌های مختلف و در نظر گرفتن محدودیت‌های توسعه، نقشه‌ی تناسب اراضی به عنوان ورودی مدل سلول‌های خودکار، تولید شده است. در نهایت، با استفاده از تعریف اجزا مدل سلول‌های خودکار، مدل مورد نظر به شکل مفهومی و به طور تلفیقی با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است. سپس مدل مفهومی به کدهای نرم‌افزاری تبدیل شده و از آن جهت پیش‌بینی گسترش شهر در اراضی پیرامونی استفاده به عمل آمده است.

۱-۷- معرفی متغیرها و شاخص‌ها

به منظور تعیین متغیرهای اثرگذار بر گسترش شهری، در این مقاله بر دو منبع تکیه شده است. منبع اول مرور منابع مرتبط با موضوع و متغیرهای مورد توجه در سایر مطالعات است. منبع دوم بررسی سیر تحول گسترش شهری در محدوده‌ی مورد مطالعه و استخراج عوامل اثرگذار بر گسترش محدودی می‌باشد. برای استخراج متغیرها با استفاده از منبع دوم، از مقایسه‌ی عکس‌های هوایی محدودی در سال‌های مختلف استفاده شده است. نتایج حاصل در جدول ۱ نمایش داده شده است.

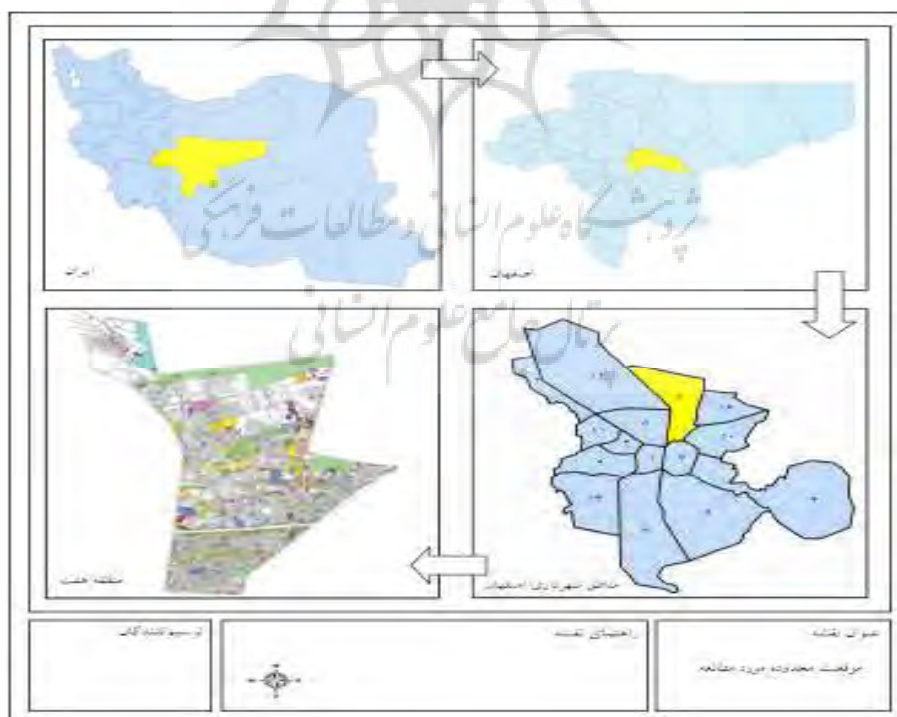
جدول ۱- عوامل تاثیرگذار در گسترش شهری

عوامل موثر در گسترش شهر در اراضی پیرامون	مستخرج از:
فاصله از معابر	(آلمدیا (Almedia) و همکاران، ۲۰۰۵؛ سانتِه (Sante) و همکاران، ۲۰۱۰)
بزرگراه‌ها	
شبکه معابر	
فاصله از نواحی مسکونی	مستخرج از بررسی و تطبیق عکس‌های هوایی محدوده در دوره‌های زمانی مختلف
فاصله از کاربری	
کاربری فرهنگی	
کاربری آموزشی	
کاربری اداری	
تاسیسات و تجهیزات شهری	کاربری درمانی

۸-۱- محدوده و قلمرو پژوهش

بخش وسیعی از این توسعه‌ها، توسعه غیر رسمی، خودرو و بی‌ضابطه است. این منطقه از اصفهان در بخش‌های شمالی، فاقد محدودیت‌ها و موانع گسترش بوده و با توجه به رشد جمعیت در آینده، امکان توسعه در بخش‌های شمالی را دارد. با توجه به ویژگی‌های ارائه شده در این بخش، منطقه‌ی ۷ شهرداری اصفهان به عنوان نمونه موردی به منظور بررسی و مطالعات پروژه، انتخاب شده است.

منطقه ۷ اصفهان در اثر افزایش جمعیت و مهاجرت، تخصیص کاربری‌های بدون برنامه و خودرو و فاقد خدمات مورد نیاز و ضروری، طی سه دهه گذشته به شدت در معرض توسعه و گسترش قرار گرفته است (شهر و خانه، ۱۳۸۶). این منطقه دارای پتانسیل‌های قوی جذب جمعیت است، به گونه‌ای که حاصل آن گسترش بی‌رویه و توسعه فزاینده کالبدی می‌باشد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

۲- مبانی نظری تحقیق

۲-۱- عوامل موثر در توسعه و گسترش شهری

مرور ادبیات مرتبط با موضوع پژوهش نشان می‌دهد که در مجموع، عوامل فاصله از شبکه معابر، فاصله از مراکز شهری، تراکم جمعیتی، منابع آب، مسکن اجتماعی (Almedia, et al., 2005)؛ فاصله از خطوط راه آهن، فاصله از فرودگاه، شیب، ارتفاع^۹، منطقه‌بندی (He, Okada, Zhang, Shi & Li, 2008)؛ زمین‌های در معرض خطر، نوع خاک و ارزش زمین‌های کشاورزی (Deadman, Brown, & Gimblett, 1993)؛ عوامل محیطی و مناسبت شهری (Liu, Li, Shi, Wu, & Liu, 2008)؛ به عنوان عوامل تاثیرگذار در توسعه و گسترش شهری به شمار می‌روند. هم‌چنین به گفته‌ی سانته^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۰)، اغلب مطالعات انجام شده در این زمینه عواملی نظیر دسترسی و فاصله از معابر (۸۱ درصد مطالعات)، فاصله از مراکز شهری (۵۰ درصد مطالعات) و پس از آن شیب و دسترسی به خطوط آهن را به عنوان عوامل اثرگذار در گسترش شهری در نظر گرفته‌اند. با توجه به عوامل ارائه شده در این تحقیقات، و تطابق آن‌ها با محدوده‌ی مورد مطالعه از طریق عکس‌های هوایی در دوره‌های زمانی مختلف، عوامل فاصله از مراکز مسکونی و شبکه‌ی معابر و بزرگراه‌ها به عنوان منابع اثرگذار بر گسترش شهری، که از مبانی نظری استخراج شده است، در این پژوهش در نظر گرفته شده است. پس از آن عواملی که به طور خاص در گسترش محدوده‌ی مورد مطالعه اثرگذار بوده‌اند به روش مشابه تدوین شده است. این

عوامل شامل فاصله از کاربری فرهنگی، آموزشی، اداری، درمانی و تاسیسات و تجهیزات شهری می‌شود.

۲-۲- مدل سلول‌های خودکار^{۱۱}

اصطلاح خودکار^{۱۲} برای اولین بار در دهه‌ی ۱۹۳۰ توسط ریاضیدان انگلیسی، آلن تورینگ^{۱۳} ارائه شد. مفهوم سلول‌های خودکار برای نخستین بار در دهه ۱۹۴۰ در رشته کامپیوتر به وسیله‌ی نیومن^{۱۴} و اولام^{۱۵}، نمو پیدا کرد. پس از آن کانوی^{۱۶}، در دانشگاه کمبریج این مفهوم را گسترش داده که نظریه او به نام بازی زندگی^{۱۷} مشهور شد. کاربرد این مدل تا قبل از سال ۱۹۸۰ به عرصه مدل‌سازی شهری راه نیافت. ورود سلول‌های خودکار به علم برنامه‌ریزی شهری، پیامد کارهای توبلر^{۱۸} در دهه ۱۹۷۰ در دانشگاه میشیگان است، او حاصل مطالعات خود را در مقاله‌ای تحت عنوان جغرافیای سلولی^{۱۹} منتشر کرد (ضیائیان فیروز آبادی، شکیب، متکان، و صادقی، ۱۳۸۸). مدل سلول-های خودکار شامل چهار جز: سلول، وضعیت^{۲۰}، همسایگی و قوانین می‌باشد (Batty, Coicelalis, & Eichen, 1997).

- سلول

سلول‌های خودکار از شبکه‌ها یا سلول‌ها تشکیل می‌شود. این شبکه‌ها معمولاً هندسی هستند و می‌توانند اشکال مختلف هندسی نظیر مربع و شش ضلعی را شامل شود. عموماً به جهت شباهت شبکه‌ی مربعی با

11 Cellular Automata

12 Automata

13 Alan Turing

14 Newman

15 Ulam

16 Conway

17 Game of life

18 Tobler

19 Cellular geography

20 State

⁹ Elevation

¹⁰ Sante

- قوانین انتقال

رفتار جهان حقیقی، به وسیله‌ی قوانین انتقال به مدل سلول‌های خودکار تبدیل شده و قابلیت پردازش را پیدا می‌کند. قوانین انتقال موجب تبدیل شدن مدل سلول‌های خودکار به مدلی پویا می‌شود (Wu, 1998). چارچوب این قوانین، ساختار شرطی "اگر-آن‌گاه"^{۲۳} بوده که امکان تبدیل پیچیدگی‌ها به روابط ساده را فراهم می‌نماید.

سینگ (۲۰۰۳) در تحقیقی، بیان می‌کند که، اجزا و ارتباطات سلول‌های خودکار می‌توان به صورت زیر نشان داد:

(U,S,N,T)

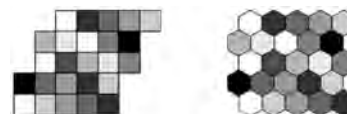
که در آن U شبکه، S وضعیت‌های ممکن برای هر سلول، N همسایگی‌های سلول و T مجموعه قوانین انتقال است.

هم‌چنین وضعیت سلول در زمان $t+1$ را می‌توان به شکل تابعی از وضعیت آن در زمان t ، همسایگی و قوانین انتقال نشان داد:

$$S_{t+1} = f(S_t, N, T)$$

که در آن S_{t+1} وضعیت سلول در زمان $t+1$ ، وضعیت سلول در زمان t ، N همسایگی سلول، و T مجموعه قوانین انتقال است.

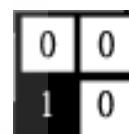
داده‌های رستری در GIS، در مطالعات از این شکل از شبکه استفاده می‌شود (Singh, 2003).



شکل ۲- تنظیم شکل سلول‌ها (ماخذ: Lee, Lei & Wu, 2009)

۲-۲-۲- وضعیت

وضعیت هر سلول، متغیرهای فضایی مرتبط با هر سلول را نمایش می‌دهد، به طور مثال: انواع مختلف کاربری زمین (Singh, 2003).



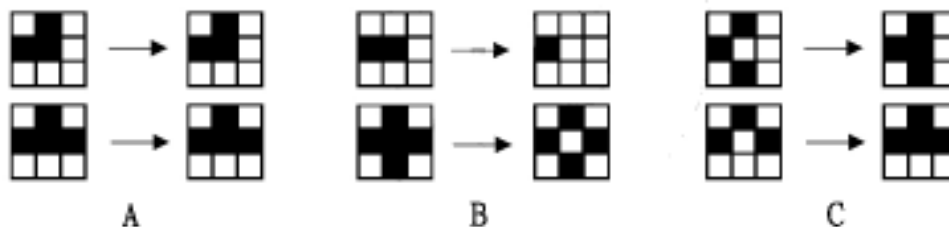
شکل ۳- تنظیم وضعیت سلول‌های خودکار (ماخذ: Lee & Wu, 2009)

- همسایگی

هر سلول در سلول‌های خودکار یک بعدی، دارای دو سلول همسایه است، در صورتی که در سلول‌های خودکار دو بعدی، دو شیوه ون‌نیومن^{۲۱} و مور^{۲۲} به منظور تعریف همسایگی وجود دارد. در همسایگی ون‌نیومن، چهار سلول مجاور و در همسایگی مور هشت سلول مجاور به عنوان همسایگان سلول مورد بررسی، در نظر گرفته می‌شوند (Singh, 2003).



شکل ۴- همسایگی مور (B) و ون‌نیومن (A)



شکل ۵- تنظیم قوانین انتقال در سلول‌های خودکار (ماخذ: Lee, Lei & Wu, 2009)

نقاط قوت، توسعه‌ی انگاشت و روندکار مدل، و تلفیق آن با مدل‌های دیگر به ابزار مناسبی با قابلیت کاربرد در برنامه‌ریزی شهری دست یافت.

از جمله روش‌های رفع محدودیت و مدل‌های تلفیقی با مدل سلول‌های خودکار، می‌توان به روش سلول‌های خودکار تصادفی، سلول‌های خودکار آماری و سلول‌های خودکار SLEUTH، اشاره کرد. با توجه به گفته‌ی سینگ (۲۰۰۱)، روش ارزیابی چند معیاره در ارتباط با GIS و سلول‌های خودکار امکان دسترسی آسان‌تر به اطلاعات فضایی و تعریف قوانین انتقال به صورت واقعی‌تر را فراهم کرده است. از طرفی به گفته‌ی زبردست (۱۳۸۰)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از جمله روش‌های ارزیابی چند معیاره بوده که کاربرد مناسبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای دارد، به همین جهت در این مقاله از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، برخورد احتمالی با پدیده‌ی گسترش شهری، اعمال تاثیر همسایگی، و سلول‌های خودکار محدود شده^{۲۷} جهت رفع محدودیت‌های سلول‌های خودکار و مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامون استفاده شده است.

۲-۳- بررسی محدودیت‌ها و روش‌های رفع محدودیت سلول‌های خودکار

به عقیده‌ی کوکلیس^{۲۴} (۱۹۸۹)، انگاشت اولیه‌ی سلول‌های خودکار به دلیل ماهیت پویای مسائل شهری دارای محدودیت‌هایی هستند که با ترکیب این مدل با سایر مدل‌ها و استفاده از فرمول‌های پیشرفته‌تر می‌توان آن‌را به مدل‌های پیش‌بین^{۲۵} قابل قبولی تبدیل نمود (Philips, 1989). به همین دلیل تلاش‌هایی در جهت رفع این محدودیت‌ها، بهینه نمودن و افزایش دقت این مدل انجام شده است.

از نظر سیتچیپینگ (۲۰۰۴)، انگاشت اولیه‌ی سلول‌های خودکار به دلیل توجه صرف به تاثیر همسایگی سلول‌های مجاور و عدم توجه به اثر عوامل بیرونی^{۲۶} و پارامتر فاصله، دارای محدودیت است. یکی دیگر از محدودیت‌های این مدل نادیده گرفتن موانع توسعه، تصمیمات و سیاست‌های برنامه‌ریزی شهری است. هم‌چنین در انگاشت اولیه این مدل، تمامی عناصر و زیر سیستم‌های شهری دارای اثر و وزن یکسانی در تغییرات سیستم شهری هستند. در نهایت بایستی توجه داشت که این محدودیت‌ها مختص سلول‌های خودکار مرسوم و سنتی بوده، به طوری که می‌توان با تاکید بر

24 Couclelis

25 Predictive

26 External factors

27 Constrained

۲-۴- مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

به طور کلی تصمیم‌گیری با مجموعه گزینه‌هایی سر و کار دارد که بر پایه یک سری معیار ارزیابی می‌شود. آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره مجموعه‌ای از روش‌های تحلیل است که به تصمیم‌گیرندگان در حل مسائل پیچیده و دارای ساختار ضعیف یا ناقص کمک کرده و از دانش آن‌ها در حل این مسائل استفاده می‌کند (رفعیان و سرداری، ۱۳۸۷). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از مشهورترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی پیشنهاد گردیده و تا کنون کاربردهای فراوانی در علوم مختلف داشته است (زبردست، ۱۳۸۰). این فرآیند از چهار مرحله ساخت سلسله مراتب، تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها، تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها، امتیازبندی نهایی و بررسی سازگاری در قضاوت‌ها، تشکیل شده است (زبردست، ۱۳۸۰).^{۲۸} با استفاده از این روش، اوزان مناسب عوامل موثر در گسترش شهری محاسبه شده و در تولید نقشه‌ی تناسب اراضی و تدوین قوانین انتقال در مدل سلول‌های خودکار از آن استفاده می‌شود.

۲-۵- روش ورود تاثیر همسایگی

به منظور افزایش دقت شبیه‌سازی در سطح محلی و در نظر گرفتن تاثیر همسایگی، ضریب همسایگی Ω در مقادیر احتمال تبدیل سلول‌ها اعمال می‌شود. مقدار این ضریب از ۱ تا ۸ متغیر است، که بسته به تعداد سلول-

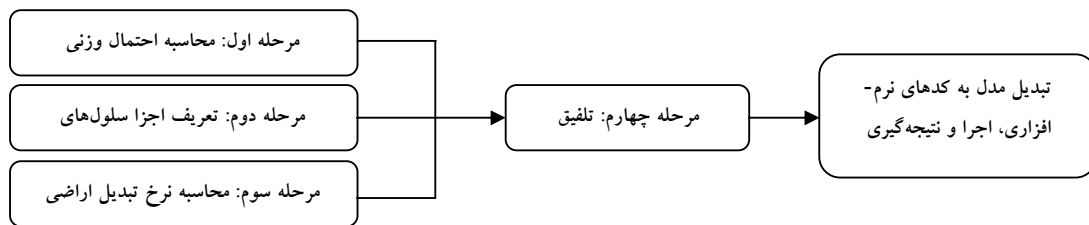
های توسعه یافته در هشت همسایه مجاور سلول (همسایگی Moore) تغییر می‌کند (علی محمدی سراب، متکان، و میر باقری، ۱۳۸۹).

۳- تحلیل یافته‌ها

۳-۱- طراحی مفهومی مدل

همان‌گونه که شکل شماره ۶ نشان می‌دهد، مدل مفهومی طراحی شده از چهار قسمت محاسبه‌ی تاثیر وزنی عوامل موثر در گسترش بر سلول‌های مختلف به طور احتمالی (مرحله ۱)، تعریف اجزا مدل سلول‌های خودکار (شبکه، همسایگی، وضعیت سلول‌ها و قوانین همسایگی) (مرحله ۲)، محاسبه‌ی نرخ تبدیل اراضی در سال پیش‌بینی (مرحله ۳) و مرحله‌ی تلفیق (مرحله ۴)، تشکیل شده است. با توجه به محدودیت‌های اشاره شده در بخش ۲-۳ و بررسی روش‌های رفع محدودیت مدل سلول‌های خودکار؛ در این تحقیق تلاش شده است تا روش‌های رفع محدودیت که به طور مجزا در مطالعات مختلف استفاده شده است را به منظور افزایش هرچه بیش‌تر کارایی این مدل و رفع محدودیت‌های آن، با اجزا اولیه‌ی سلول‌های خودکار تلفیق کرده و مدلی بر مبنای این روش و به‌کارگیری سایر روش‌ها توسعه داده شود.

^{۲۸} جهت اطلاعات بیش‌تر به مقاله‌ی کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نوشته دکتر اسفندیار زبردست، منتشر شده در نشریه‌ی هنرهای زیبا شماره ۱۰، سال ۱۳۸۰ مراجعه فرمایید.



شکل ۶- روند کار مدل طراحی شده

۳-۲- طرز کار مدل

مطابق با شکل ۶ طرز کار هر مرحله از مدل به صورت زیر خواهد بود:

مرحله اول: در این مرحله ابتدا لایه‌های مرتبط با عوامل موثر در گسترش شهری تهیه و پس از دسته‌بندی مجدد هر لایه، وزن‌های محاسبه شده توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در لایه‌ها اعمال، و هم‌پوشانی آن‌ها صورت می‌گیرد. در این مرحله احتمال تبدیل وضعیت هر سلول به وضعیت ساخته شده، وابسته به فاصله‌ی آن سلول از عوامل موثر در گسترش شهری بوده و تاثیر هر عامل به شکل وزنی در هر سلول لحاظ می‌شود. این احتمال توسط رابطه زیر محاسبه شده که در آن P_{AHP} احتمال تغییر سلول و $\sum_{i=1}^n w_i \times s_i$ برابر با $w_1 \times s_1 + w_2 \times s_2 + \dots + w_n \times s_n$ است. در این رابطه، s_n بیان‌گر مقدار کلاسی است که سلول مورد نظر نسبت به عوامل گسترش در آن قرار گرفته و w_n وزن عامل گسترش می‌باشد.

$$P_{AHP} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i \times s_i}$$

مرحله دوم: این مرحله با توجه به اجزا تشکیل‌دهنده‌ی سلول‌های خودکار به چهار بخش اصلی سلول، وضعیت سلول، همسایگی، قوانین انتقال و بخش فرعی زمان تقسیم، و در این مرحله مدل سلول‌ها را خودکار در قالب اجزا خود تعریف می‌شود.

الف) سلول: در این پروژه شبکه‌ی سلولی به جهت مطابقت با داده‌های رستری در GIS، به شکل مربعی در نظر گرفته شده است.

ب) وضعیت سلول: وضعیت سلول در مدل طراحی شده، به سه گروه اراضی ساخته شده، محدوده‌های غیر قابل گسترش و اراضی ساخته نشده (مقادیر احتمالی تبدیل) تفکیک شده است، که به منظور بازنمایی هر یک از این وضعیت‌ها به هر یک از گروه‌ها به ترتیب مقادیر ۱، ۰ و ۰، ۱ اختصاص یافته است.

ج) همسایگی: به منظور اعمال تاثیر همسایگی در این مدل، از همسایگی نیومن و تعریف ضریب همسایگی Ω استفاده شده است. به طوری که در این مرحله ابتدا سلول‌های موجود در همسایگی نیومن سلول، مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به تعداد سلول‌های ساخته شده در مجاورت آن، Ω مقادیری از ۱/۸ تا ۱ را اختیار می‌نماید.

د) قوانین انتقال: قوانین انتقال در این مدل به صورت اگر-آن‌گاه بوده که بر مبنای این قوانین گسترش شهر در اراضی پیرامونی بررسی خواهد شد. قوانین انتقال در این مدل به شرح زیر است:

- اگر وضعیت سلولی ساخته شده باشد، آن‌گاه آن سلول در طول دوره‌ی پیش‌بینی وضعیت خود را حفظ خواهد کرد.

- اگر وضعیت سلولی محدودیت گسترش باشد، آن‌گاه ارزش این سلول در طول دوره‌ی مدل‌سازی ثابت خواهد ماند.

- اگر و هر چه تعداد سلول‌های ساخته شده در مجاورت سلول مورد بررسی بیش‌تر باشد، آن‌گاه احتمال تبدیل وضعیت آن به وضعیت ساخته شده بیش‌تر می‌شود.

مقایسه‌های زوجی عوامل نسبت به معیارها و معیارها نسبت به یکدیگر تشکیل شده و امتیازدهی معیارها نسبت به یکدیگر و عوامل نسبت به معیارها با استفاده از تکنیک دلفی و استفاده از نظر ۱۱ نفر متخصص در این زمینه صورت گرفته است. جهت محاسبه‌ی وزن هر عامل با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نرم‌افزار Expert choice به کار گرفته شده که نتایج آن در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. میزان پارامتر سازگاری قضاوت نیز برابر با ۰/۰۹ بوده که موید سازگاری قضاوت‌ها و نتایج حاصله است.

جدول ۲- جدول اوزان محاسبه شده عوامل موثر در

گسترش شهری

عامل موثر در گسترش شهری	وزن
فاصله از بزرگراه‌ها	۴۱.۲
فاصله از شبکه معابر	۱۰.۳
فاصله از کاربری درمانی	۶.۴
فاصله از کاربری فرهنگی	۱.۹
فاصله از کاربری آموزشی	۱۸.۷
فاصله از کاربری اداری	۳.۸
فاصله از تأسیسات و تجهیزات شهری	۱۲.۶
فاصله از نواحی مسکونی	۵.۱

- تهیه نقشه‌های تحلیلی از عوامل موثر در گسترش شهری پس از تعیین عوامل اثر گذار در گسترش شهری، ابتدا نقشه‌های تحلیلی مرتبط با ۷ عامل مورد نظر به طور جداگانه، با استفاده از تابع تحلیلی بافر^{۲۹} در محیط GIS تولید شده و عمل دسته‌بندی مجدد^{۳۰} بر روی نقشه‌های تولیدی صورت پذیرفته است. نتایج حاصل در شکل شماره ۷ نشان داده شده است.

- اگر و هرچه سلول مورد بررسی به عوامل موثر در گسترش شهری نزدیک‌تر باشد، آن‌گاه احتمال تبدیل شدن وضعیت آن به وضعیت ساخته شده بیش‌تر خواهد بود.

- اگر P_{total} سلول مورد بررسی از P_{total} کلیه سلول‌ها بیش‌تر باشد، آن‌گاه با لحاظ جمیع شروط، وضعیت سلول به سلول ساخته شده تبدیل می‌شود.

ه) زمان: زمان در این مدل به صورت پنج ساله بوده که به طور سالیانه مقدار ضریب همسایگی و نرخ تبدیل اراضی به روز رسانی می‌شود. زمان در این مدل منعطف بوده به طوری زمان افق طرح و زمان به روز رسانی قابل تنظیم است.

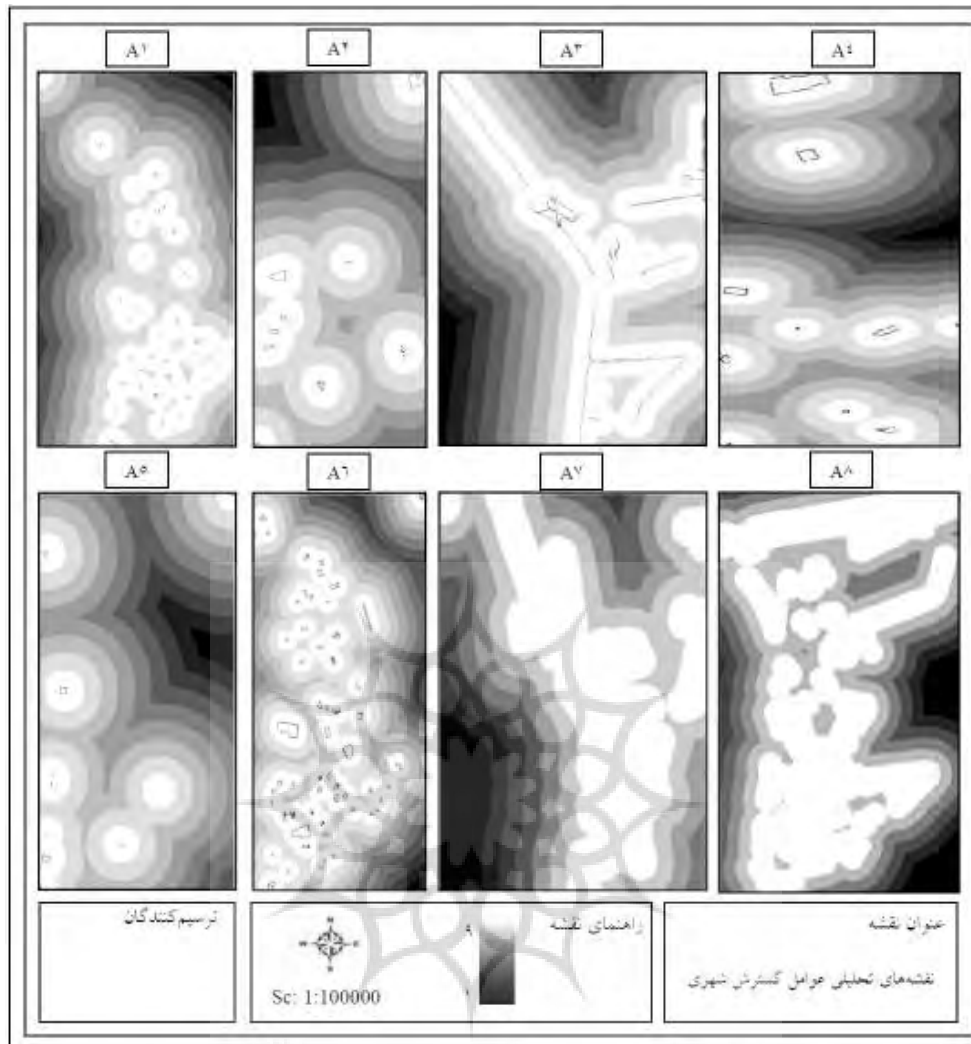
مرحله سوم: در این مرحله عامل محدودکننده و کنترل‌کننده‌ی تعداد سلول‌های تبدیل وضعیت شونده به وضعیت ساخته‌شده، توسط محاسبه‌ی نرخ تبدیل اراضی، تعیین می‌شود. این مقدار از طریق بررسی جمعیت و تعداد سلول ساخته شده در سال‌های گذشته محاسبه خواهد شد. به دلیل استفاده از این عامل محدودکننده، به این نوع از سلول‌های خودکار، سلول‌های خودکار محدود شده اطلاق می‌شود.

مرحله چهارم: در قسمت تلفیق، ابتدا نوع سلول و وضعیت سلول‌ها تعیین و بر این مبنای کلیه محاسبات انجام شده در مراحل اول، دوم و سوم با استفاده از رابطه زیر ترکیب، و پس از آن نرخ تبدیل محاسبه و به عنوان عامل کنترلی وارد مدل و برنامه‌ی کامپیوتری، می‌شود.

$$P_{total} = P_{AHP} \times \Omega$$

۳-۳- آماده‌سازی داده‌ها

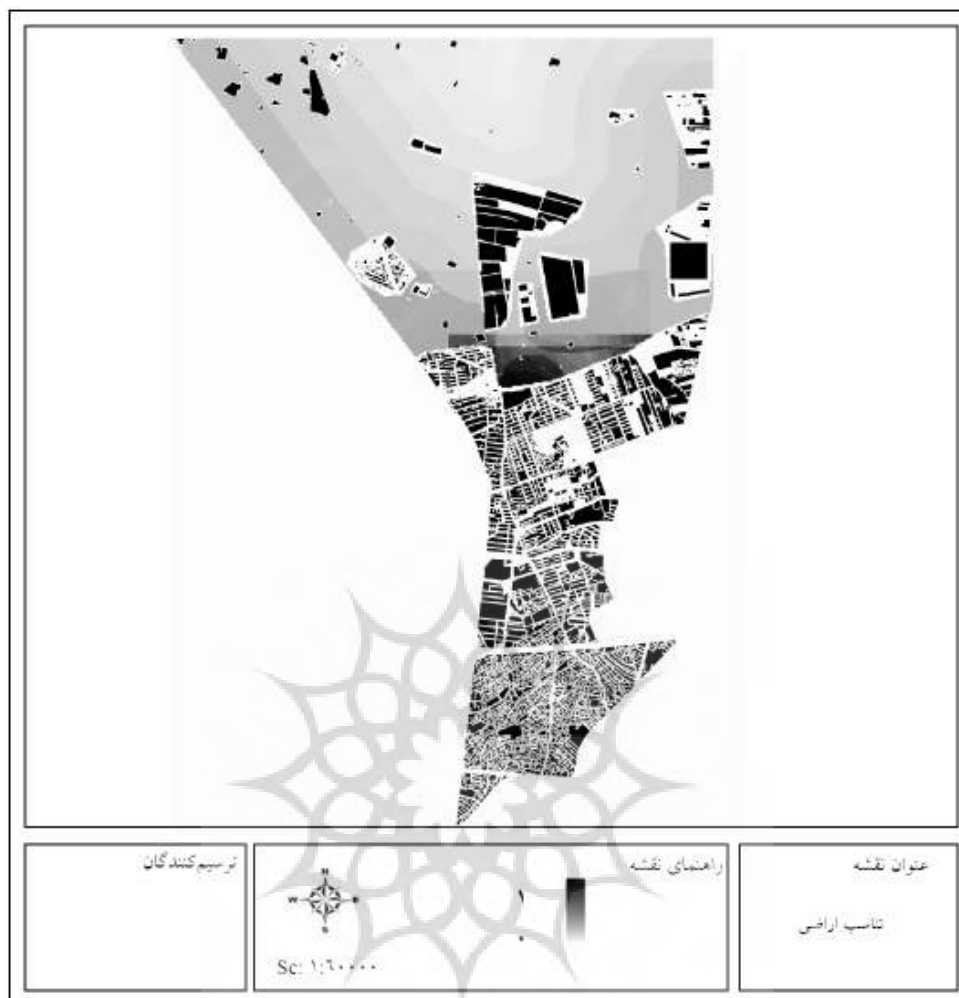
- محاسبه اوزان و درجه اهمیت عوامل موثر در گسترش شهری به منظور محاسبه‌ی اوزان و درجه اهمیت عوامل موثر در گسترش شهر در این مطالعه از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. ابتدا ماتریس



شکل ۷- نقشه‌های تحلیل از عوامل موثر در گسترش شهری (به منظور طیف‌بندی نقشه‌های فوق، از یک طیف ۹ قسمتی استفاده شده است. در این تقسیم‌بندی مقادیر ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب به مفهوم نامناسب‌ترین دسترسی، دسترسی نامناسب، دسترسی متوسط، دسترسی مناسب و مناسب‌ترین دسترسی؛ و مقادیر ۲، ۴، ۶ و ۸ نیز به مفهوم مقادیر بینابینی هستند): A1 فاصله از کاربری فرهنگی، A2 فاصله از کاربری اداری، A3 فاصله از بزرگراه‌ها، A4 فاصله از کاربری درمانی، A5 فاصله از تاسیسات شهری، A6 فاصله از کاربری آموزشی، A7 فاصله از شبکه معابر، A8 فاصله از نواحی مسکونی

است. سپس احتمال وزنی تبدیل وضعیت سلول‌ها محاسبه شده است. نتایج حاصل در قالب نقشه‌ی تناسب اراضی و به عنوان ورودی مدل آماده‌سازی شده است (شکل شماره ۸).

- هم‌پوشانی نقشه‌ها و تهیه نقشه تناسب اراضی پس از محاسبه‌ی وزن هر یک از عوامل موثر در گسترش شهری، با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی، و آماده‌سازی لایه‌های مرتبط با عوامل گسترش، هم-پوشانی لایه‌ها با اعمال وزن هر لایه صورت گرفته



شکل ۸- نقشه تناسب اراضی

- محاسبه نرخ تبدیل اراضی به منظور محاسبه نرخ تبدیل اراضی، جمعیت و تعداد سلول، با وضعیت ساخته شده در دوره‌های مختلف مشخص، و پس از آن مقدار ضریب همبستگی پیرسون به روش انحراف از میانگین برای دو متغیر جمعیت (X) و تعداد پیکسل اراضی ساخته شده (y) محاسبه شده است. مقدار محاسبه شده ضریب همبستگی پیرسون برابر با $0/97$ بوده که نشان‌دهنده رابطه همبستگی بسیار قوی بین این دو متغیر می‌باشد. پس از مشخص شدن وجود رابطه همبستگی مستقیم بسیار قوی میان دو متغیر X و y روش رگرسیون

خطی جهت پیش‌بینی تعداد پیکسل تبدیلی در بازه‌های زمانی مختلف و سال پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته است. معادله خط برازش^{۳۱} شده برابر با $y = 0/121x - 3433$ بوده که با توجه به آن، تعداد پیکسل تبدیلی در سال‌های پیش‌بینی محاسبه شده است.

۳-۴- تبدیل مدل به گداهای نرم‌افزاری

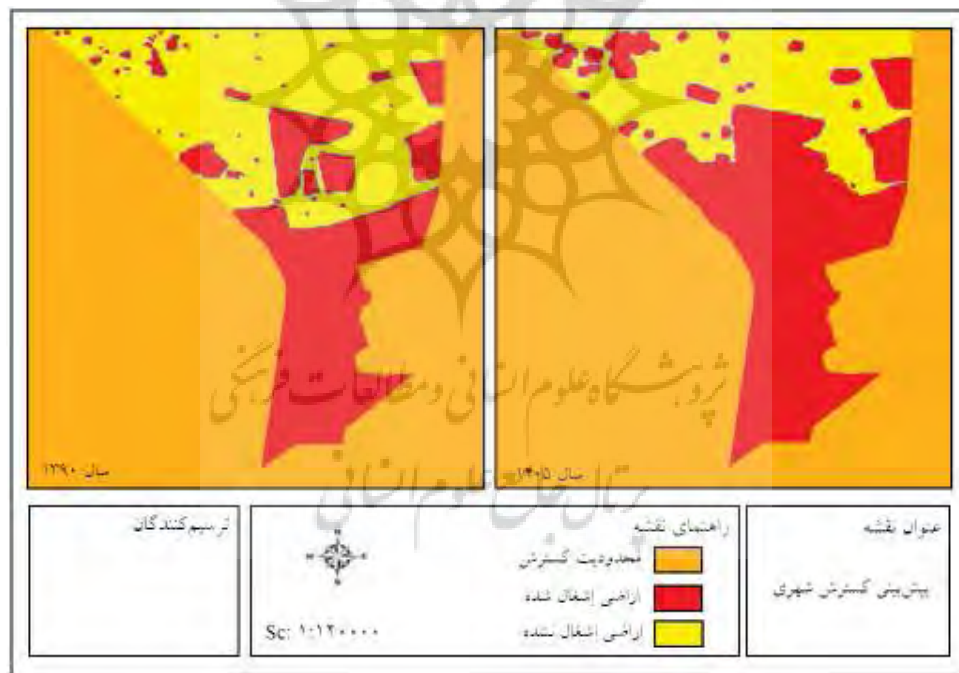
به دلیل حجم بالای داده و محاسبات موجود در مدل طراحی شده، با توجه به جریان زمان و داده در مدل،

بصری از طریق همپوشی و مشاهده استفاده شده است. ضریب کاپای محاسبه شده برابر با ۰/۸۹ است. این مقدار بیان‌گر تطابق ۸۹ درصدی نقشه‌ی مدل‌سازی شده با واقعیت بوده که بر اساس استاندارد ارائه شده توسط موسسه (United States Geological Survey) USGS، که حداقل مقدار قابل قبول برای ضریب کاپا را ۸۵ درصد می‌داند، می‌توان گفت که مدل طراحی شده از قابلیت اعتماد و اعتبار کافی جهت مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامون برخوردار است. با توجه به نتایج قابل قبول مدل، از آن به منظور پیش‌بینی گسترش شهر در اراضی پیرامونی استفاده شده که نتیجه‌ی آن در شکل شماره ۹ قابل مشاهده است.

فرمول‌ها، و طرز کار مدل، جهت اجرا و پیاده‌سازی آن از کامپیوتر استفاده شده است. به منظور پیاده‌سازی مدل در کامپیوتر هر مرحله از اجزا و بخش‌های مدل به صورت مجزا به کدهای نرم افزاری تبدیل و پس از تست اولیه، جهت تست و خروجی نهایی به یکدیگر مرتبط شده‌اند. کدهای کامپوتری این برنامه به زبان برنامه‌نویسی متلب (MATLAB) نوشته شده است.

۳-۵- اجرا، اعتبار سنجی و نتایج مدل

به منظور سنجش اعتبار مدل طراحی شده، ابتدا نقشه‌ی گسترش اراضی در سال ۱۳۹۰، با استفاده از داده‌های موجود در سال ۱۳۸۵ مدل‌سازی شده، و به منظور بررسی میزان توافق خروجی مدل با واقعیت، از محاسبه‌ی ضریب کاپا (Kappa Coefficient)، و مطابقت



شکل ۹- پیش‌بینی گسترش شهری

است. به همین جهت آگاهی و پیش‌بینی وضعیت آتی به منظور کنترل گسترش شهری و هدایت آن به شیوه‌ی صحیح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل تا کنون تلاش‌های گوناگونی در ارتباط با مدل-

۴- نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت و مهاجرت‌های گسترده به کلان‌شهرها در چند دهه‌ی اخیر سبب گسترش ناموزون، بی‌قاعده و نامتعادل شهرها به خصوص در پیرامون آن‌ها شده

گسترش و توسعه‌ی شهری را جهت بخشیده و به سمت مطلوب هدایت نماید. هم‌چنین با توجه به نمایش نقاط گسترش یافته در آینده در خروجی مدل به صورت مکانمند و بر روی نقشه، و وضعیت نامناسب اقتصادی جمعیت آتی در محدوده مورد مطالعه، امکان تعریف پروژه‌های مختلف مانند پروژه‌های مسکن اجتماعی به شکل مکانی وجود خواهد داشت.

در این پژوهش نشان داده شده است که مدل بررسی شده از قابلیت بالاتری نسبت به سلول‌های خودکار مرسوم برخوردار بوده و نقاط ضعف اشاره شده در منابع را بر طرف ساخته است؛ به طوری که در این مدل امکان ورود متغیرهای مختلف و متعدد، توجه به تاثیر عوامل مختلف و قائل شدن وزن مناسب برای آن‌ها و دستیابی به قوانین انتقال نزدیک‌تر به واقعیت فراهم شده است. مدل حاضر می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب به منظور پیش‌بینی وضعیت آتی گسترش شهری، آزمون تاثیر پروژه‌های توسعه شهری و تغییر تاثیر عوامل موثر در گسترش شهری بر گسترش شهر به کار برود.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که علی‌رغم ماهیت پویا و پیچیده‌ی شهر و تغییرات شهری، با کاربست مدل‌های پیچیده و مناسب همراه با تعیین عوامل، معیارها و متغیرهای صحیح، می‌توان پدیده‌های شهری را با دقتی مناسب مدل‌سازی، شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمود. هم‌چنین مدل حاضر، مدلی با چارچوب منعطف و با رویکردی پایین به بالا است؛ که از ماهیتی پویا بهره می‌برد و قابلیت کاربرد در مقیاس‌های شهری دیگر را دارد.

۵- پیشنهادها

پیشنادهای مرتبط با تحقیق حاضر جهت پژوهش‌های آتی به شکل زیر و به طور موردی ارائه شده است:

سازی گسترش شهری صورت گرفته است. در این پژوهش، به منظور مدل‌سازی گسترش شهری، مدل سلول‌های خودکار به شکل تلفیقی با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و محاسبات احتمالی به کار برده شده است. به علاوه پیش از مدل‌سازی گسترش شهری، نیاز به آگاهی از متغیرها و شاخص‌های اثرگذار بر گسترش شهری اجتناب ناپذیر بوده که در مقاله‌ی حاضر جهت استخراج این عوامل از بررسی منابع مرتبط با موضوع، تحقیقات پیشین و مقایسه‌ی عکس-های هوایی مربوط به دوره‌های زمانی مختلف استفاده شده است. مدل طراحی شده با استفاده از داده‌های سال ۱۳۸۵، گسترش شهری در سال ۱۳۹۰ را در محدوده‌ی مورد بررسی پیش‌بینی نموده که با استفاده از ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقدار ضریب کاپای برآورد شده برابر با ۰/۸۹ بوده که نمایانگر مناسب بودن و اعتبار مدل طراحی شده است؛ و امکان به کارگیری آن را برای پیش‌بینی‌های آتی تایید می‌نماید.

همان‌گونه که بررسی سیر تحول گسترش شهری و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند، منطقه‌ی ۷ اصفهان در حال تجربه‌ی رشدی فزاینده و به صورت غیر رسمی است. این گسترش غالباً برنامه‌ریزی نشده بوده و به جهت شرایط نامناسب مهاجرین و ساکنان به لحاظ اقتصادی و اجتماعی، این جمعیت بی‌قاعده و بدون توجه به قوانین و مقررات شهرسازی در این منطقه پراکنده می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت که بیشینه‌سازی دسترسی به عوامل فیزیکی - کالبدی نظیر دسترسی به کاربری‌های شهری و شبکه معابر در مکان‌گزینی این جمعیت از اولویت بالاتری نسبت به سایر عوامل برخوردار است. بنابراین تغییر در عوامل کالبدی-فضایی و اشاره شده در تحقیق حاضر، و توزیع متعادل و به اندازه‌ی کاربری‌های شهری در محدوده‌ی مورد نظر می‌تواند

شهر، شماره بیست و سوم-بیست و چهارم، صفحات (۶۵-۷۵).

رفیعیان، م، و سرداری، م، (۱۳۸۷)، مدل‌سازی رشد سکونتگاه‌های غیر رسمی با تاکید بر سیستم‌های پشتیبان تصمیم، مدیریت شهری، شماره بیست و دوم، صفحات (۶۱-۷۶).

زبردست، ا، (۱۳۸۰)، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، هنرهای زیبا، سال دهم، شماره دوم، صفحات (۱۳-۲۱).

ضیائیان فیروز آبادی، پ، شکبیا، ع، متکان، ع، و صادقی، ع، (۱۳۸۸)، سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سلول‌های خودکار (CA) به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری (مطالعه موردی: شهر شهرکرد)، علوم محیطی، سال هفتم، شماره اول، صفحات (۱۳۳-۱۴۸).

علی محمدی سراب، ع، متکان، ع، و میر باقری، ب، (۱۳۸۹)، ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران، مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا، سال چهاردهم، شماره دوم، صفحات (۸۱-۱۰۲).

قائد رحمتی، ص، و حیدری نژاد، ن، (۱۳۸۸)، گسترش فیزیکی شهرها و ضرورت تعیین حریم امن شهری (نمونه موردی: شهر اصفهان)، جغرافیا و مطالعات محیطی، سال اول، شماره اول، صفحات (۱۴-۲۴).

موسوی، م، سعیدآبادی، ر، و فخر، ر، (۱۳۸۹)، مدل-سازی توسعه کالبدی و تعیین مکان بهینه برای اسکان جمعیت شهر سردشت تا افق ۱۴۰۰ به روش دلفی و منطق بولین در GIS، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال دوم، شماره ششم، صفحات (۳۵-۵۴).

- استفاده از داده‌های ناهمفزون‌تر در مدل.

- استفاده از متغیرها و عوامل بیش‌تر به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر.

- تلفیق مدل با الگوریتم‌های پیچیده‌تر جهت استخراج قوانین انتقال دقیق‌تر.

- بررسی نحوه‌ی ورود متغیرهای اجتماعی به مدل و بررسی تاثیرات آن بر گسترش شهری.

- استفاده از مدل در محیط‌های حرفه‌ای و مقیاس‌های گوناگون به منظور آزمون کاربرد آن در حوزه‌ی عمل کاربست برنامه‌ریزی شهری.

منابع

احد نژاد روشتی، م، و حسینی، ا، (۱۳۹۰)، ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۶۳-۱۳۸۹)، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، شماره چهارم، صفحات (۱-۲۰).

مهندسین مشاور شهر و خانه، (۱۳۸۶)، طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان مناطق ۷ و ۸، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان.

ذاکر حقیقی، ک، ماجدی، ح، و حبیب، ف، (۱۳۸۹)، تدوین شاخص‌های موثر بر گونه‌شناسی بافت شهری، هویت شهر، سال چهارم، شماره هفتم، صفحات (۱۰۵-۱۱۲).

رضازاده، ر، و میراحمدی، م، (۱۳۸۷)، تحلیل و پیش‌بینی الگوهای فضایی زمانی رشد شهر مشهد، مشهد پژوهی، سال اول، شماره اول، صفحات (۱-۲۷).

رفیعیان، م، و سرداری، م، (۱۳۸۷)، شناسایی و گونه‌شناسی محلات فرودست و فقیرنشین شهری با استفاده از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم، هفت

- International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede.
- Lee, S-T., Lei, T-C., and C-W, Wu. (2009). Artificial Neural Network and Cellular Automata As a Modeling Simulation for Night Market Spatial Development. Seoul: Korea Society of Design Science: 507-516.
- Li, X., A, Gar-On Yeh. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *Geographical Information Science*, Vol. 16(4): 323-343.
- Liu, X., Li, X., Shi, X., Wu, S., and T, Liu. (2008). Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata. *Ecological Modeling*, Vol. 211(1-2): 169-181.
- Mavroudi. A. (2007). Simulating city growth by using the Cellular Automata Algorithm, M.Sc Thesis, University College London.
- Philips, M. (1989). Dynamic behaviour of CA under the constraint of neighbourhood coherence. *Geographical analysis*, Vol. 21(3): 197-215.
- Sante, I., Garcia, A., Miranda, D., and R, Crecente. (2010). Cellular Automata models for the simulation of real-world urban process: a review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 96(2): 108-122.
- Sietchiping. R. (2004). A Geographic Information Systems and Cellular Automata-Based Model of Informal Settlement Growth, Ph.D Thesis, The University of Melbourne.
- Singh. A. K. (2003). Modelling land use land cover changes using cellular automata in geo-spatial environment, M.Sc Thesis, International institute for Geo-Information science and earth observation.
- Van Vliet, J., White, R., and S, Dragicevic. (2009). Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 33(1), 35-43.
- Wu, F. (1998). Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system. *Journal of environmental management*, Vol. 53(4): 293-308.
- Almedia, C., Monteiro, A., Camara, G., Soares-Filho, B., Cerqueira, G., Penachin, C., and M, Batty. (2005). GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *Remote Sensing*, Vol. 26(4): 759-774.
- Batty, M., Coicelis, H., and M, Eichen. (1997). Urban system as cellular automata. *Environment and Planning B*, Vol. 24(2): 159-164.
- Cheng. J. (2003). Modelling Spatial and Temporal Urban Growth, M.Sc Thesis, International institute for Geo- Information science and earth observation (ITC).
- Syphard, A., C. Clarke., and J, Franklin. (2005). Using a cellular automaton model to forecast the effects of urban growth on habitat pattern in southern California. *Ecological Complexity*, Vol. 2(2): 185-203.
- Deadman, P., Brown, R., and H, Gimblett. (1993). Modelling rural residential settlement patterns with cellular automata. *Environment Management*, Vol. 37(2): 147-160.
- Gar-On Yeh, A., L, Xia. (2002). Urban Simulation Using Neural Networks and Cellular Automata for Land Use Planning. *Advanced in Spatial Data Handling: 10th International Symposium on Spatial Data Handling*, 452-463.
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., and J, Li. (2008). Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 86(1): 79-91.
- Hedge, N. P., Muralikirishna, I. V., and K. Chalapatirao. (2005). Settlement Growth Prediction Using Neural Network and Cellular Automata. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 4(5): 419-428.
- Junfeng. J. (2003). Transition Rule Elicitation for Urban Cellular Automata model (Case Study: Wuhan-China), M.Sc Thesis, International institute for Geo-Information science and earth observation (ITC).
- Lahti. J. (2008). Modelling Urban Growth Using Cellular Automata: A case study of Sydney, Australia, M.Sc Thesis,



University Of Isfahan

Urban - Regional Studies and Research Journal

Vol. 5 – No. 18 - Autumn 2013

ISSN (online): 2252-0848

ISSN (Print): 2008-5354

<http://uijs.ui.ac.ir/urs>

Modeling Urban Expansion in Pripheral Lands Through Cellular Automata (CA) and Analytic Hierarchical Process, Case Study of Isfahan's 7th Municipal District

M, Mohammadi. E, Malekipour. A, Sahebgharani.

Received: October 24, 2012 / Accepted: June 12, 2013, 39-42 P

Extended Abstract

1-Introduction¹

Nowadays, urban expansion in peripheral lands is one of the most important issues for urban planners in various levels of decision making and decision taking. For recognizing this phenomenon, planners need to understand the current and future state of the urban expansion system. Therefore they require an accurate and appropriate tool for predicting the future. Moreover, plans and programs which are prepared for promoting the present state are failed because of the lack of proper tools for prognosticating the future state of urban expansion. Thus, this study aims to provide a CA-based model through combination of basic rules of CA model and AHP for predicting the future urban expansion in peripheral lands.

2-Theoretical Bases

For the first time the main idea of CA model, has represented by Turing in 1930. After that, in 1940, the concept of CA has been evolved in computer science by Ulam and Newman. Then Conway developed a CA model which is known "game of life", in University of Cambridge. The application of CA model in the field of urban planning begins with the Tobler's efforts in Michigan University that is called cellular geography in 1970, and up to now a lot of activities have been done for improvement and making the CA models better for modeling the real world. CA model includes four components: state, lattice, neighborhood and transition rules. Conventional CA model has some limitation. For this reason, in this paper, basic rules of CA model are combined with the AHP and probabilistic approaches to enhance the efficiency of the model. The conventional CA models are unresponsive to the different weights of influential factors in urban expansion process. For this reason and because of the

Author (s)

M, Mohammadi

Assistant Professor of Urban Planning , Art University of Isfahan , Isfahan, Iran

E, Malekipour

Coach of Urban Planning , Art University of Isfahan, Isfahan , Iran

A, Sahebgharani✉

MA. student in urban planning at Art University of Isfahan, Isfahan , Iran

E-mail: a_sahebgharani@yahoo.com

capabilities of AHP model, in this research CA model is combined with the AHP.

3-Discussion

The urban expansion in peripheral lands depends on factors that influence the probability of transforming the vacant areas to the occupant areas. Therefore, first, the influential factors are extracted from reviewing the literature which is related to the research topic. After that the weaknesses of conventional CA model and the methods for ameliorate them have been determined. Then the AHP method and probabilistic approaches have been chosen for calibrating CA model and attain the transition rules. After the calibration methods the conceptual framework of the model is designed and converted to computational codes through MATLAB programming language. Then the transformation rate was calculated via regression model, and it is imported to the designated model with the maps that were prepared, overlaid and rasterized in GIS. Finally the Kappa coefficient is calculated for examination the coincidence of the results of the model and real expansion.

4-Conclusion

The results show that the combination of CA model with AHP and probabilistic approaches provide an appropriate tool for predicting the future urban expansion in peripheral lands.

Key words: analytic hierarchichal process, urban expansion, urban modeling, cellular automata, Isfahan's 7th municipal district

References

Ahad nejhada, M., A, Hosseini. (2011). Evaluation and Prediction of Urban Sprawl through Multitemporal Satellite Images and Geographic Information System (Case Study: City of Tabriz from 1984 to 2010). *Research and Urban Planning*, Vol. 2(4): 1-20.

Ali Mohammadi Sarab, A., Matkan, A., and B, Mirbagheri. (2010). Evaluation of Cellular Automaton Model in the Simulation of Urban Expansion in the South West of Tehran. *Planning and Spatial Survey*, Vol. 14(2): 81-102.

Almedia, C., Monteiro, A., Camara, G., Soares-Filho, B., Cerqueira, G., Penachin, C., and M, Batty. (2005). GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *Remote Sensing*, Vol. 26(4): 759-774.

Batty, M., Coicelis, H., and M, Eichen. (1997). Urban system as cellular automata. *Environment and Planning B*, Vol. 24(2): 159-164.

Cheng, J. (2003). Modelling Spatial and Temporal Urban Growth, M.Sc Thesis, International institute for Geo- Information science and earth observation (ITC).

Syphard, A., C. Clarke., and J, Franklin. (2005). Using a cellular automaton model to forecast the effects of urban growth on habitat pattern in southern California. *Ecological Complexity*, Vol. 2(2): 185-203.

Deadman, P., Brown, R., and H, Gimblett. (1993). Modelling rural residential settlement patterns with cellular automata. *Environment Management*, Vol. 37(2): 147-160.

Gar-On Yeh, A., L, Xia. (2002). Urban Simulation Using Neural Networks and Cellular Automata for Land Use Planning. *Advanced in Spatial Data Handling: 10th International Symposium on Spatial Data Handling*, 452-463.

Ghaedrahmati, S., N, Heydarinejad. (2009). Physical Urban Expansion and the Necessity of Determining the Safe urban areas (Case Study: City of Isfahan). *Geography and Environmental Studies*, Vol. 1(1): 14-24.

He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., and J, Li. (2008). Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata.

- Landscape and Urban Planning, Vol. 86(1): 79-91.
- Hedge, N. P., Muralikirishna, I. V., and K. Chalapatirao. (2005). Settlement Growth Prediction Using Neural Network and Cellular Automata. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 4(5): 419-428.
- Junfeng, J. (2003). Transition Rule Elicitation for Urban Cellular Automata model (Case Study: Wuhan-China), M.Sc Thesis, International institute for Geo-Information science and earth observation (ITC).
- Lahti, J. (2008). Modelling Urban Growth Using Cellular Automata: A case study of Sydney, Australia, M.Sc Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede.
- Lee, S-T., Lei, T-C., and C-W, Wu. (2009). Artificial Neural Network and Cellular Automata As a Modeling Simulation for Night Market Spatial Development. Seoul: Korea Society of Design Science: 507-516.
- Li, X., A, Gar-On Yeh. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *Geographical Information Science*, Vol. 16(4): 323-343.
- Liu, X., Li, X., Shi, X., Wu, S., and T, Liu. (2008). Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata. *Ecological Modeling*, Vol. 211(1-2):, 169-181.
- Mavroudi, A. (2007). Simulating city growth by using the Cellular Automata Algorithm, M.Sc Thesis, University College London.
- Mousavi, M., Saeidabadi, R., and R, Fahr. (2010). Physical Development Modeling and Determination of Optimal Location for the Settlement of Sardasht Population over the Horizon of 1400 using Delphi and the Boolean Logic Methods in the GIS Environment. *Urban-Regional Studies and Research*, Vol. 2(6): 35-54.
- Philips, M. (1989). Dynamic behaviour of CA under the constraint of neighbourhood coherence. *Geographical analysis*, Vol. 21(3): 197-215.
- Sante, I., Garcia, A., Miranda, D., and R, Crecente. (2010). Cellular Automata models for the simulation of real-world urban process: a review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 96(2): 108-122.
- Shahrokhaneh consultant engineers. (2006). Overview of Isfahan's 7th and 8th Municipal Districts Detailed Plan. Department of Urban Planning and Architecture of Municipality of Isfahan.
- Sietchiping, R. (2004). A Geographic Information Systems and Cellular Automata-Based Model of Informal Settlement Growth, Ph.D Thesis, The University of Melbourne.
- Singh, A. K. (2003). Modelling land use land cover changes using cellular automata in geo-spatial environment, M.Sc Thesis, International institute for Geo-Information science and earth observation.
- Rafiean, M., M, Sardari. (2008). Identification of Poor Urban Areas through Decision Support Systems. *Haft Shahr*, Vol, 23-24: (65-75).
- Rafiean, M., M, Sardari. (2008). Modeling Informal Settlement Growth with Emphasize on Decision Support Systems. *Urban Management*, Vol. 22: 61-76.
- Rezazadeh, R., M, Mirahmadi. (2008). Analysis and Prediction of Spatial-Temporal Growth Patterns in City of Mashhad. *Mashhad Pajouhi*, Vol. 1(1): 1-27.
- Van Vliet, J., White, R., and S, Dragicjevic. (2009). Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 33(1), 35-43.
- Wu, F. (1998). Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system. *Journal of*

environmental management, Vol. 53(4): 293-308.

Zakerhaghighi, K., Majedi, H., and F, Habib. (2010). Identifying Effective Indicators for Typology of Urban Fabrics. HoviatShaht, Vol. 4(7): 105-112.

-Zebardast, E. (2001). Application of Analytic Hierarchichal Process in Urban and

Regional Planning. Journal of Fine Arts, Vol. 10(2): 13-21.

Ziayan, F., Shakiba, A., Matkan, A., and A, Sadeghi. (2010). Remote Sensing, Geography Information System and Cellular Automata Model as a Tool for Simulation of Urban Land Use Changes (Case Study: City of Shahrekord). Environmental Science, Vol. 7(1): 133-148.

