جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۱۸، بهار ۱۳۹۵
وصول مقاله : ۱۳۹۴/۳/۲۷
تأیید نهایی : ۱۳۹۴/۱۱/۴
صفحات : ۳۶ - ۲۵

مدلسازی توسعه شهری و تحلیل اثر همسایگی با استفاده از تلفیق مدل اتوماسیون سلولی و روش Majority OWA

میثم آقامحمدی[۱]، دکتر محمد طالعی[۲] ، دکتر محمد کریمی[۳]، قاسم جوادی[۴]

چکیده

شهرها مانند موجودات زنده از لحاظ کالبد بزرگتر و از لحاظ ساخت پیچیده‌تر می‌شوند و به دنبال این رشد فیزیکی، توسعهٔ اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آنها نیز بتدریج دگرگون می‌شود. همواره فضای کالبدی شهرها تحت تأثیر مکانیزم‌ها وعواملی قرار دارد که در طی زمان با پیشرفت‌ها و تحولات اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی، زیست محیطی و ... متحول می‌شوند و در ضمن این تأثیرات، تغییرات جدیدی نیز برچهره و منظر کالبدی شهر تحمیل می‌کنند. در این میان جلوگیری از رشد بی‌رویه و نامتوازن شهرها به دلیل ارزش بالای زمین از اهمیت بسزایی برخوردار است و به همین دلیل جایگاه مدلسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای مدیریت شهری، بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. مدل اتوماسیون سلولی به سبب ساختاری ساده و پویا و نیز برخورداری از ویژگی‌های قدرتمند مکانی، به طور گسترده در شبیه‌سازی تغییرات مکانی- زمانی از جمله گسترش شهرها مورد استفاده قرار گرفته است. در مقالهٔ حاضر از اتوماسیون سلولی برای محاسبهٔ فاکتور اثر همسایگی در مدلسازی توسعهٔ شهری استفاده شده و با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در الگوهای رایج سلولی، به ارائه مدل اتوماسیون ترکیبی به صورت آمیزه‌ای از ساختار محاسباتی سلولی و روش تصمیم‌گیری چند معیاره Majority OWA پرداخته شده است. روش اتوماسیون سلولی برای ترکیب نقشه‌های تناسب کاربری و محاسبهٔ تناسب کلی از روش میانگین‌گیری استفاده می‌کند که در بیشتر کاربردها روش مناسبی نیست؛ اما روش Majority OWA برای ترکیب معیارهای مختلف ارزیابی یک گزینه نظر اکثریت را درنظر می‌گیرد؛ بنابراین، تلفیق دو روش ذکر شده می‌تواند یکی از ضعف‌های مهم روش اتوماسیون سلولی را پوشش دهد. در این مقاله ابتدا با به‌کارگیری داده‌های مورد نیاز، مدل پیشنهادی برای شبیه‌سازی گسترش شهر شیراز بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ هجری خورشیدی، پیاده‌سازی شده و سپس نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسهٔ نتایج مدلسازی این تحقیق برای سال ۱۳۸۸ با داده‌های به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در این سال نشان می‌دهد، استفاده از روش Majority OWA می‌تواند با دقت ۶۰٪ فرایند توسعهٔ شهری را مدلسازی نماید که در مقایسه با دقت حدود ۵۳٪ روش CA نتایج بهتری حاصل می‌شود. نتایج تحقیق، گامی به سمت جلو است؛ زیرا مدل پیشنهادی با افزایش قابلیت اتوماسیون سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیدهٔ مکانی به دقت مطلوبتری نیز دست پیدا کرده است. نتایج حاصل از این مدلسازی می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت اخذ تصمیم‌های بهینه در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

کلید واژگان: توسعهٔ شهری، GIS، اتوماسیون سلولی، میانگین وزن‌دار ترتیبی، Majority OWA، کمیت سنج‌های فازی.

۱- کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری،دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران meysam_a_65@yahoo.com
۲- استادیارگروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران taleai@kntu.ac.ir
۳- استادیارگروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران mkarimi@kntu.ac.ir
۴- عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران-نقشه برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، خراسان شمالی، بجنورد (نویسنده مسؤول) ghjavadi@ub.ac.ir

مقدمه

با توجه به گرایش شدید به سمت تمرکز جمعیت در مناطق شهری در کشورهای درحال توسعه، رشد سریع شهرها نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب و صحیح جهت اجتناب از تأثیرات مخرب زیست محیطی و اجتماعی اقتصادی آن است. در این زمینه، طراحان و برنامه‌ریزان شهری جهت اخذ سیاست‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثر، نیازمند اطلاعات مکانی و زمانی مرتبط با الگو و میزان رشد، جهت درک بهتر فرایند رشد شهری و تأثیرات آن، هستند. استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی و سنجش از دور ابزار مؤثری را جهت جمع‌آوری و آنالیز اطلاعات زمانی- مکانی فراهم می‌سازد (Batty, 1998: 47).

بیان مسأله

توسعهٔ فیزیکی شهرها فرایندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر و فضاهای کالبدی آن در جهات عمودی و افقی از حیث کمّی و کیفی افزایش می‌یابد و اگر این روند سریع و بدون برنامه باشد به ترتیب فیزیکی متعادل و موزونی از فضاهای شهری نخواهد انجامید و در نتیجه سیستم‌های شهری را با مشکلات عدیده‌ای مواجه خواهد ساخت. در طرح‌های توسعهٔ شهری و توسعه‌های خودرو در دهه‌های گذشته، شهرها و آبادی‌ها اغلب بدون توجه به امر حیاتی کاربری بهینهٔ زمین، در جهات مختلف و بر روی اراضی با ارزش کشاورزی، دشت‌های غنی، کوهپایه‌ها، سواحل دریا و حواشی رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند.

شهر شیراز به عنوان مهمترین و پرجمعیت‌ترین ناحیهٔ مسکونی جنوب ایران، در سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۴ رشد قابل ملاحظه‌ای را تجربه کرده است که مقایسهٔ جمعیت و وسعت شهر شیراز در سال‌های ذکر شده، صحت این موضوع را تأیید می‌کند. از جمله علل رشد شهرنشینی در شیراز می‌توان به مهاجرت از روستاها و شهرهای اطراف و الحاق روستاهای پیرامون به شهر در حین گسترش آن نام برد. این مشکل تا حدی است که در کمیسیون مادهٔ ۹۲ امور زیربنایی استانداری فارس درحال بررسی است و حتی کارگروه‌هایی برای بررسی وضعیت حاشیه‌های شهر و آسیب‌شناسی آن تشکیل شده است.

اتوماسیون سلولی(CA[1]) که روشی مناسب جهت مدلسازی پروسه‌های پیچیدهٔ مکانی بوده، در مدلسازی پروسهٔ توسعهٔ شهری نیز می‌تواند بسیار کاربردپذیر باشد. با توجه به اینکه در منابع علمی داخلی از مدل‌های پویا در مسائل شهری، بخصوص گسترش شهرها کمتر استفاده شده است؛ بنابراین، ارزیابی قابلیت استفاده از این مدل‌ها در مناطق مختلف می‌تواند گام مهمی در جهت توسعهٔ آنها باشد. مدل های سلول‌های خودکار یا به اختصار CA، به دلیل داشتن ماهیت دینامیک و همچنین ساختاری ساده، در مدلسازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد نسبتاً وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و همچنین توسعهٔ اراضی شهری یافته است. اتوماسیون سلولی به عنوان تکنیکی با خصوصیاتی همچون سادگی، شفافیت و پتانسیل قوی جهت مدل‌سازی پویایی‌های مکانی، روز به روز در مدل‌سازی GIS و امور شهری بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

پیشینهٔ تحقیق

تحقیقات مختلفی در زمینهٔ مدلسازی توسعهٔ شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی صورت گرفته که هرکدام هدف مشخصی را دنبال می‌کنند و بر روی جنبهٔ خاصی از این روش تأکید دارند. وایت و اِنگلن[2] تأکید خود را بر نحوهٔ تعریف همسایگی قرار دادند و با تعریف یک همسایگی بزرگ متشکل از ۱۱۳ سلول درون یک دایره با شعاع ۶ سلول اثر نزول فاصله به این سلول‌ها را اعمال نمودند؛ یعنی هرچه فاصله از سلول مرکزی موردنظر بیشتر می‌شد، تأثیر سلول‌های همسایه بر سلول مرکزی کمتر می‌شد (White and Engelen, 1997: 235-246). اپن شاو[3] نیز برای مدلسازی

1. Cellular Automata
2. White, R. and Engelen, G.
3. Openshaw

پدیده‌های مکانی، سناریوهای متعدد حاصل از تقسیم‌بندی فضا در مقیاس‌های مختلف را با روش CA بررسی کرد و این مسأله را تحت عنوان مسألهٔ واحد سطح قابل تعدیل[1] (MAUP) در نظر گرفت و نشان داد تقسیم‌بندی فضا به سلول‌های کوچک یا بزرگ و نیز تقسیم‌بندی به صورت ناحیه‌ای می‌تواند نتایج مختلفی را به همراه داشته باشد (Openshaw, 1998: 1857-1872).

در دههٔ ۱۹۹۰ نسل دیگری از اتوماسیون سلولی، به واسطهٔ تلفیق این روش با روش‌های دیگر ظهور کرد. وو[2] برای تعریف قوانین انتقال به جای استفاده از گزاره‌های قطعی از گزاره‌های زبانی فازی استفاده کرده و با جملات مبهم و ذهنی روند تصمیم‌گیری را کنترل نمود (Wu, 1996: 367–387). لی و فین[3] نیز برای ترکیب اتوماسیون سلولی و منطق فازی، وضعیت و حالت سلول‌ها را به صورت فازی بیان کرده و با استفاده از توابع عضویت فازی فاکتور جمعیت، تعیین کرد که هر سلول چه درجه عضویتی در مجموعهٔ فازی شهر دارند (Liu and Phinn, 2003: 637-658). در تحقیقات دیگری، محققین به تلفیق CA با روش‌های الگوریتم ژنتیک و نیز شبکهٔ عصبی پرداختند (Kheder and Wang, 2008: 1271-1293) (Al-Ahmadi and See, 2009: 80-101).

از جمله تحقیقات داخلی که در زمینهٔ CA انجام گرفته، می‌توان به تحقیقات رجبی اشاره کرد. او برای مدلسازی توسعهٔ شهری از اتوماسیون سلولی کلاسیک استفاده کرد که البته تأکید او بر کالیبراسیون مدل با الگوریتم ژنتیک بود (رجبی،۱۳۸۹: ۹). ربانی و همکاران نیز با بهره‌گیری از مدل ترکیبی خودکارهٔ سلولی و روش بهینه‌سازی تودهٔ ذرات، به مدلسازی گسترش شهری پرداخته‌اند. آنها در مدل خود برای محاسبهٔ احتمال گسترش براساس فاصله از عوامل توسعه مانند شبکه راه‌ها و یا مراکز مهم شهری، روش بهینه‌سازی توده ذرات را به‌کار گرفته‌اند (ربانی،۱۳۹۰: ۴۰).

در اکثر تحقیقات گذشته بخصوص در تحقیقاتی که از روش اتوماسیون سلولی بدون تلفیق با روش‌های دیگر استفاده می‌شود، در مرحلهٔ ترکیب نقشه‌های تناسب کاربری و محاسبه تناسب کلی، روش میانگین‌گیری به‌کار گرفته می‌شود، در حالی که در تعیین تناسب کاربری، بیشتر نظر اکثریت حائز اهمیت است؛ به عنوان مثال، اگر برای ارزیابی یک پیکسل چند معیار در نظر گرفته شوند، بهتر است برای تعیین وضعیت نهایی، به نظر اکثریت معیارها توجه شود و در صورتی که اکثریت معیارها وضعیت مناسبی داشته باشند، وزن نهایی پیکسل مقدار بالایی خواهد بود. در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، برای تحقق نظر اکثریت و تعیین وزن نهایی به نحوی که نظر اکثر کارشناسان یا معیارها برآورده شود، روش Majority OWA[4] پیشنهاد شده است (Malczewski, 2006: 270-277).

۴- اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، به‌کارگیری تلفیقی مدل اتوماسیون سلولی و الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیارهٔ Majority OWA بر مبنای GIS و ارائه مدلی ساده و در عین حال قدرتمند جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی توسعهٔ شهری است. در این راستا با تلفیق روش‌های ذکر شده روند توسعهٔ شهری شیراز از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ و با در نظر گرفتن فاکتور اثر کاربری‌های مجاور مورد آزمایش و سپس ارزیابی قرار گرفته است.

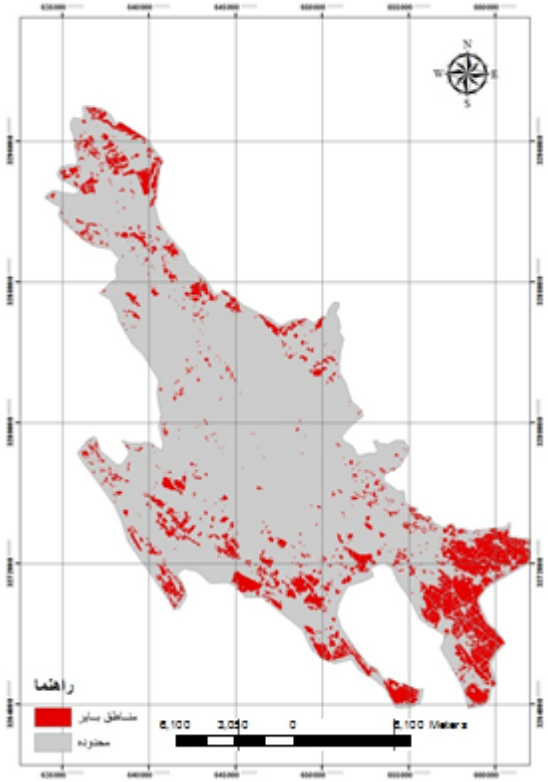
برای رسیدن به هدف اصلی و ارائهٔ یک مدل توسعهٔ شهری، مهمترین فاکتور درنظر گرفته شده در این پژوهش نقشه اثر همسایگی است. در واقع نقشهٔ اثر همسایگی پتانسیل پیکسل‌های بایر در جهت تغییر کاربری آنها به کاربری ساخته شدهٔ مسکونی، تجاری، صنعتی و ... را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در نقشه اثر همسایگی برای هر پیکسل بایر که پیکسل‌های اطراف آن ساخته شده می‌باشند و همه کاربری‌های شهری در اطراف آن وجود دارند، وزن پیکسل

1. Modifiable Area Unit Problem
2. Wu,F.
3. Liu, Y. and S. R. Phinn
4. Majority Ordered Weighted Averaging

(پتانسیل توسعه) مقدار بالایی است و برعکس اگر کاربری تمام یا بیشتر پیکسل‌های اطراف بایر باشد، پیکسل مرکزی تمایل زیادی برای توسعه ندارد.

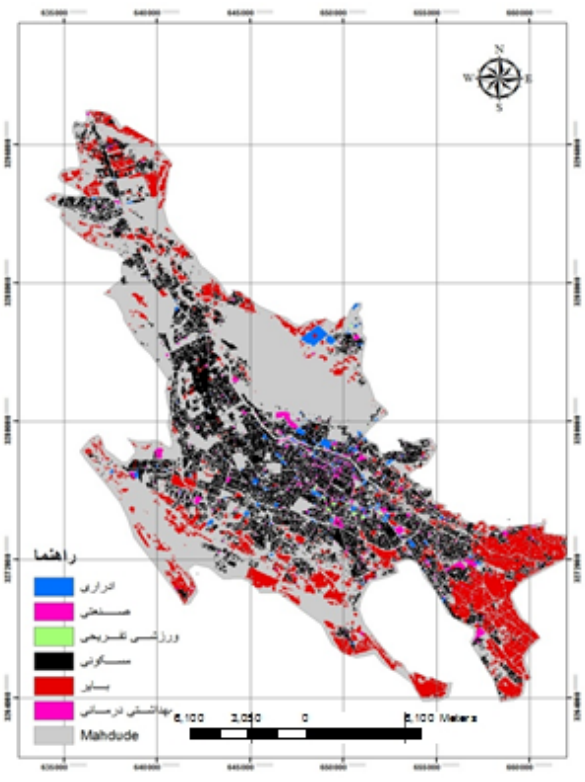
روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق برای تهیهٔ نقشه اثر همسایگی شهر شیراز از شش کاربری مسکونی، تفریحی، اداری، صنعتی، بهداشتی و بایر استفاده شده است (شکل ۳) و هدف تعیین پیکسل‌های بایری است که بعد از یک دورهٔ زمانی تغییر کاربری داده و به کاربری شهری



شکل ۱. نقشه کاربری‌های بایر در سال ۱۳۸۳ (منبع: نگارندگان)

تبدیل می‌شوند. برای این منظور ابتدا اثر هر یک از شش کاربری به صورت مجزا و با استفاده از روش CA (با در نظر گرفتن قانون تابلر) بر روی پیکسل‌های بایر (شکل ۲) محاسبه شده و سپس با استفاده از روش Majority OWA اثر کاربری‌ها باهم ترکیب می‌شوند. مطابق قانون تابلر سلول‌هایی که به هم نزدیک‌تر هستند، ارتباط بیشتری با هم دارند و بیشتر همدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Al-Kheder and Wang, 2008: 1271-1293).



شکل ۲. نقشه کاربری‌های شیراز در سال ۱۳۸۳ (منبع: نگارندگان)

ساختار و شکل همسایگی نیز به صورت ۸ پیکسل دایره‌ای تعریف شده است؛ یعنی فرض می‌شود پیکسل‌هایی که خارج از این فاصله قرار دارند، پیکسل مرکزی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند و همسایگی فقط شامل پیکسل‌های درون این دایره می‌شود. برای محاسبهٔ اثر هر یک از کاربری‌ها بر پیکسل مرکزی، تراکم آن کاربری در شعاع‌های یک تا هشت پیکسل به صورت مجزا محاسبه و با درنظر گرفتن قانون تابلر به صورت وزنی با هم جمع می‌شوند. تأثیر قانون تابلر در تعریف وزن‌ها مشخص می‌شود؛ یعنی وزن‌ها طوری تعریف می‌شوند که به پیکسل‌های نزدیک‌تر وزن بیشتری اختصاص یابد. پس به‌طور خلاصه برای هر کاربری و در فواصل مختلف نسبت تراکم محلی به تراکم کلی محاسبه شده و این نسبت‌ها (w_iها) در فواصل مختلف با هم جمع می‌شوند تا اثر آن کاربری بر پیکسل مرکزی به دست آید؛ مطابق رابطه زیر (کریمی،۱۳۸۹: ۶۸):

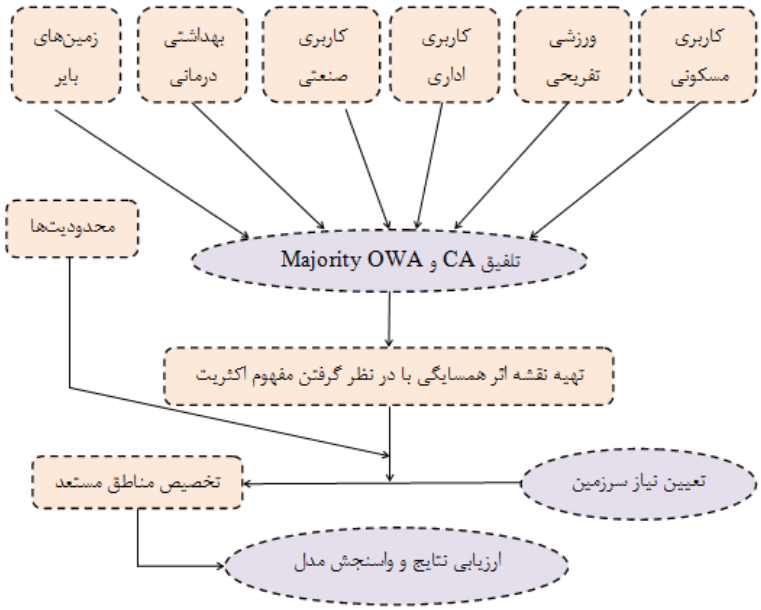
$$N_{ik} = \sum_d w_{ikd}$$ رابطه ۱

برای ترکیب و محاسبه نهایی اثر همسایگی از روش Majority OWA استفاده می‌شود. روش Majority OWA برای ترکیب اثرات کاربری‌ها ابتدا به هر یک از آنها یک وزن اختصاص می‌دهد، به نحوی که اعداد (اثرات هر یک از کاربری‌ها) نزدیک به هم وزن بالاتری می‌گیرند تا نظر اکثریت برآورده شود؛ به عنوان مثال درصورتی که اثر کاربری‌های مسکونی (a_1)، صنعتی (a_2) و اداری (a_3) مقداری کم و نزدیک صفر باشد و نیز اثر کاربری بهداشتی (a_4) مقداری زیاد باشد، روش Majority OWA به کاربری بهداشتی وزن کم (w_4) و به سه کاربری دیگر وزن زیاد اختصاص می‌دهد.

تا این مرحله برای تمام پیکسل‌های دارای کاربری بایر، اثر همسایگی محاسبه شده و این اثر به عنوان پتانسیل این پیکسل‌ها برای تغییر وضعیت به حالت شهری (توسعه به سایر کاربری‌ها) شناخته می‌شود؛ یعنی پیکسل‌های بایری که دارای پتانسیل بیشتری هستند، برای تغییر وضعیت به حالت شهری در اولویت قرار دارند. یکی دیگر از بخش‌های مهم روش پیشنهادی در مدلسازی توسعهٔ شهری، بررسی میزان تغییرات شهر در واقعیت است. بدین منظور وضعیت گسترش شهر در دو یا چند بازهٔ زمانی مورد بررسی قرار گرفته تا میزان و جهت توسعه کلی شهر مشخص شود.

در بخش نهایی مدل پیکسل‌هایی که در مراحل قبل پتانسیل توسعهٔ بالایی به آنها اختصاص داده شده است، برای فرایند تخصیص انتخاب می‌شوند. در این مرحله، از نتایج حاصل از مرحلهٔ نیاز سرزمین استفاده شده و پیکسل‌هایی که در فرایند توسعهٔ شهری شرکت نموده و در یک دورهٔ کامل زمانی از کاربری بایر به سایر کاربری‌ها تغییر حالت می‌دهند، مشخص می‌شوند؛ یعنی با توجه به تعداد سلول‌های مورد نیاز برای توسعه، فرایند تخصیص از بیشترین مقدار پتانسیل شروع شده و تا پایان یافتن تعداد پیکسل‌های نیازمند ادامه می‌یابد.

چارچوب کلی مدل پیشنهادی در این پژوهش در شکل ۵ آورده شده است.



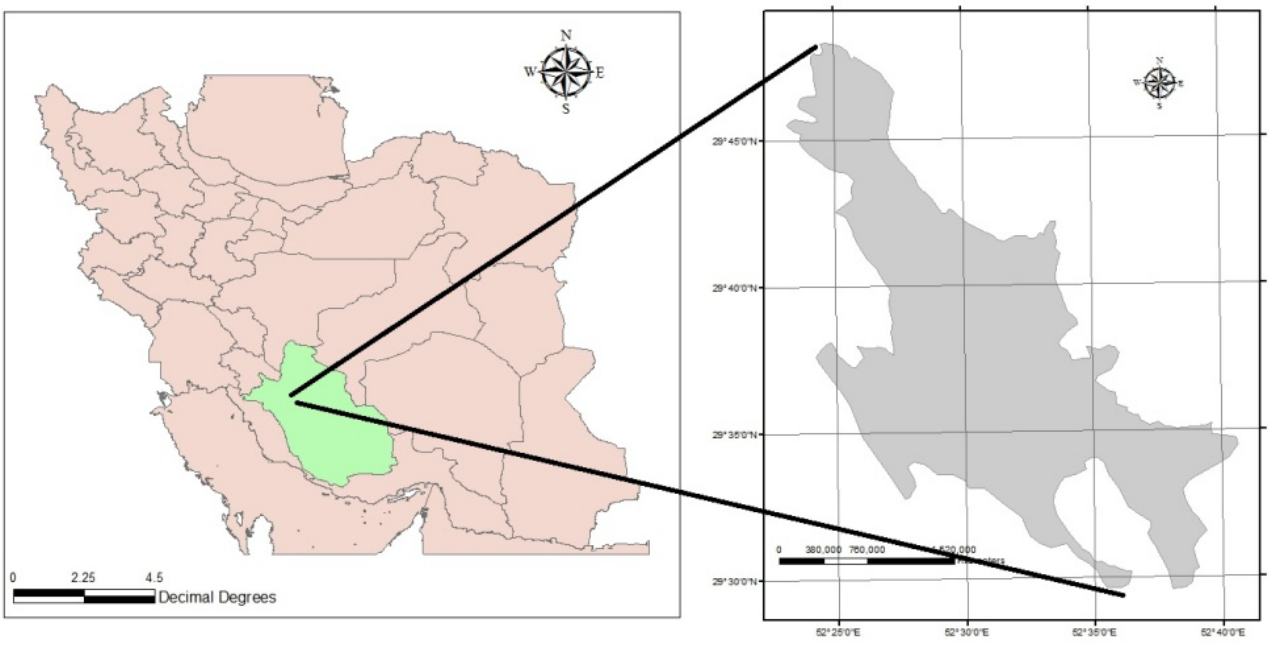
شکل ۳: ساختار مدل پیشنهادی

منبع: **نگارندگان**

معرفی محدودهٔ مورد مطالعه و داده‌ها

شهر شیراز یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز استان فارس است که بر پایهٔ اطلاعات سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵ هجری خورشیدی، این شهر جمعیتی بالغ بر ۱،۲۱۴،۸۰۸ نفر داشته که این تعداد در سال ۱۳۸۸ هجری خورشیدی به ۷۳۰،۴۵۵،۱ افزایش پیدا کرده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). علاوه بر افزایش جمعیت، شهر از نظر مساحت فیزیکی نیز توسعه نسبتاً چشمگیری داشته است. سرعت توسعهٔ شهر شیراز محققان این پژوهش را به اجرای مدل توسعه شهری برای این شهر ترغیب نمود.

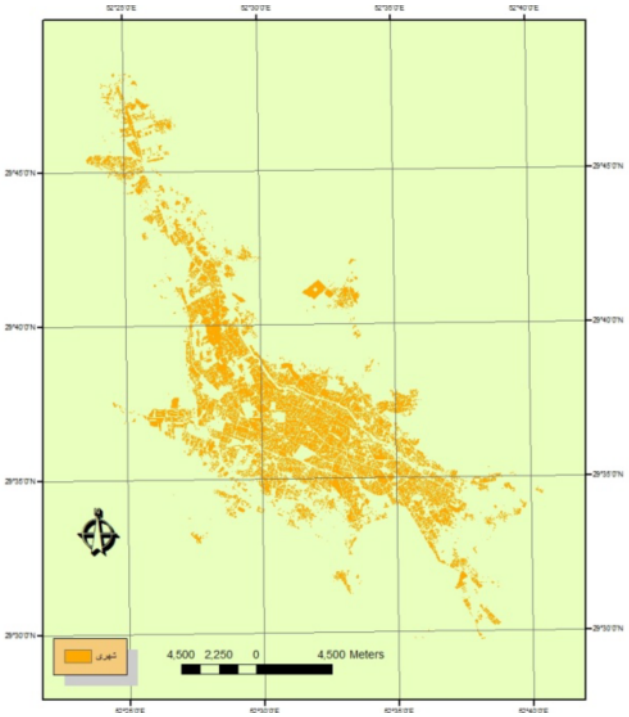
در این پژوهش از لایه‌های شش کاربری مسکونی، صنعتی، اداری، تفریحی، بهداشتی- درمانی و بایر در سال ۱۳۸۳ و نیز تصاویر ماهواره‌ای حاصل از سنجنده‌های TM و +ETM بر روی ماهواره لندست استفاده شده است. بدین ترتیب که از داده‌های سال ۱۳۸۳ استفاده شده و وضعیت شهر برای سال ۱۳۸۸ شبیه‌سازی می‌شود. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شبیه‌سازی صورت گرفته مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و دقت مدل با واقعیت مقایسه می‌شود.



شکل ۴: موقعیت استان فارس و شهر شیراز در کشور

منبع:: **نگارندگان**

در این تحقیق از لایهٔ کاربری‌های شهر درسال ۱۳۸۳ به عنوان زمان مبدأ (حالت اولیه) و از نقشه مناطق شهری سال ۸۸ (استخراج شده از تصاویر ماهواره ای) (شکل ۵) به عنوان زمان هدف (حالت توسعه‌یافته) استفاده شده است و با مقایسهٔ این دو حالت میزان تقاضای محدوده مورد مطالعه به‌دست می‌آید.



شکل ۵: استخراج مناطق شهری سال ۸۸ از تصاویر ماهواره‌ای

منبع:: **نگارندگان**

مبانی نظری تحقیق

- مدل اتوماسیون سلولی

اتوماسیون سلولی در اواخر دهۀ ۱۹۴۰، توسط فُن نیومن[1] و اولام[2] به عنوان مدلی از رفتارهای خود سازمانده و خود مولد معرفی شد. تنوع و سادگی رفتار اتوماسیون سلولی، امکان استفاده از آن را در علوم مختلف، از اکولوژی و بیولوژی گرفته تا رایانه، ریاضی و فیزیک، فراهم می‌سازد (Bandini and Worsch, 2001: 108-116). در اتوماسیون سلولی هدف مدل‌سازی سیستمی با معادلات پیچیده مشابه معادلات دیفرانسیل نیست؛ بلکه سعی در بیان سیستم با عناصری ساده و نمایش پیچیدگی آن با استفاده از تعامل این عناصر بر طبق قوانینی ساده است. اتوماسیون سلولی، با توجه به حالات سلول‌های همسایه‌اش تغییر می‌کند. به عبارت دیگر حالت جدید هر سلول در زمان t+1 تابعی از حالت خود سلول ($\mathbf{S_x}$) و سلول‌های همسایه‌اش ($\mathbf{S_\Omega}$) در زمان t است، مطابق رابطه زیر (ملکی،۱۳۸۹: ۴۵).

رابطه۲: $s^{t+1}_{xij} = f(s^{t}_{xij}, s^{t}_{\Omega xij})$

- **عناصر اصلی در اتوماسیون سلولی**

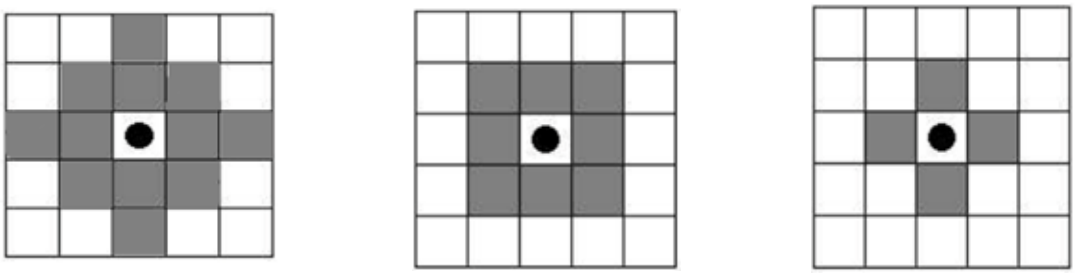
مدل CA دارای پنج عنصر اصلی است که شامل فضای سلولی، همسایگی، قانون انتقال، مجموعه حالت‌ها و زمان است (Francesco et al, 2013: 5362-5363) (Liu and Phinn, 2003: 637-658) (Qingsheng et al, 2008: 592–602).

- **فضای سلولی:** سلول‌ها در اتوماسیون سلولی به صورت موزاییک در کنار یکدیگر قرار گرفته و فضای سلولی را بهوجودمی‌آورند. این موزاییک‌ها می‌توانند به حالت سه ضلعی، چهارضلعی و شش ضلعی و به صورت یک بُعدی، دو بُعدی و سه بُعدی در کنار یکدیگر قرار گیرند. در مدل‌سازی گسترش شهری بیشتر از حالت دو بُعدی استفاده می‌شود و از حالت یک بُعدی برای مدل‌سازی ترافیک شهری و از حالت سه بُعدی در مدل‌سازی توسعه عمودی شهرها استفاده می‌شود (مرادی،۱۳۹۰: ۵۱).

- **همسایگی:** همسایگی در واقع سلول‌های مجاور یک سلول هستند که حالات بُعدی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. شکل زیر نمایش دهندۀ سه همسایگی

1. Von Neumann
2. Z.Olam

معروف در حالت دو بُعدی است. همسایگی Von Neumann که در آن چهار سلول همسایه در سمت چپ، راست، بالا و پایین سلول مرکزی قرار دارند همسایگی Moore که در آن هشت سلول مجاور، سلول مرکزی را احاطه کرده‌اند و همسایگی شعاعی که سلول‌های واقع در یک شعاع خاص را شامل می‌شود (Francesco et al, 2013: 5362-5363).



شکل۶. انواع همسایگی‌های مورد استفاده در اتوماسیون سلولی

منبع: (Francesco et al, 2013: 5362-5363)

• **قانون انتقال:** قوانین انتقال، الگوریتم‌هایی جهت تغییر سلول‌ها از یک حالت به حالت دیگر در طی زمان ارائه کرده و در واقع قوانینی هستند که بر گذر بین حالت‌های یک سلول حکم فرما هستند. این تعریف منحصر به ماشین‌هایی با تعداد حالات محدود بوده و محلی نامیده شدن آن به این علت است که ورودی این قوانین، همسایگی‌های سلول است. این جزء یکی از اجزای اصلی در اتوماسیون سلولی بوده و نمایندهٔ فرایندهای موجود در سیستم مدل شده است. شیوه‌های مختلفی در تعیین قوانین انتقال مدل‌های CA شهری وجود دارد که باعث تمایز انواع مدل‌های CA شهری شده است (Qingsheng et al, 2008: 592–602).

• **مجموعهٔ حالت‌ها:** هر سلول در هر زمان تنها می‌تواند یک حالت از مجموعه تمام حالت‌های ممکن را داشته باشد. در اتوماسیون سلولی شهری حالت سلول‌ها می‌تواند نمایانگر کاربری اراضی و یا پوشش زمین باشد. در فضای سلولی معمولاً حالت سلول‌ها به صورت گسسته بیان می‌شود. در این حالت مرز روشنی بین تمامی حالت‌ها وجود دارد، هر چند در عمل شناسایی یک مرز صریح و روشن بین حالت‌ها ممکن است کمی مشکل باشد. برای حل این مشکل، برخی محققان استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی جهت تعریف حالت سلول‌ها در شبیه‌سازی توسعه شهری را توصیه کرده‌اند (Verda and Dragicevic, 2006: 921–953).

• **زمان:** بر اساس تعریف اتوماسیون سلولی، حالت هر سلول در گام‌های زمانی متوالی با تکرار قانون اتوماسیون سلولی و با توجه به حالات سلول‌های همسایه‌اش تغییر می‌کند. البته این گام‌های زمانی می‌تواند دارای سرعت‌های مختلف برای سلول‌های مختلف باشد (مرادی،۱۳۹۰: ۵۱).

- معرفی تکنیک تصمیم‌گیری گروهی Majority OWA

در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی یک گزینه با توجه به تعدادی معیار یا به وسیلهٔ تعدادی کارشناس، به این گزینه چند وزن اختصاص داده می‌شود که ترکیب این وزن‌ها و به‌دست آوردن یک وزن واحد مرحله‌ای مهم در اینگونه مسائل است. کمیت‌سنج‌های مورد استفاده در روش‌های معمول OWA برای ترکیب وزن‌ها به رتبه قرارگیری معیار در وزن‌های مرتب شده توجه دارند و مفهوم "اکثریت" برای این کمیت‌سنج‌ها دارای اهمیت نیست. برای تحقق نظر اکثریت و تعیین وزن نهایی به نحوی که نظر اکثر کارشناسان یا معیارها برآورده شود، دونا[1] در

1. J.M. Dona

تحقیقات خود روش Majority OWA را پیشنهاد کرده است. وی از روابط زیر برای ترکیب وزن معیارها استفاده نموده است (Boroushakij and Malczewski, 2009: 921–953).

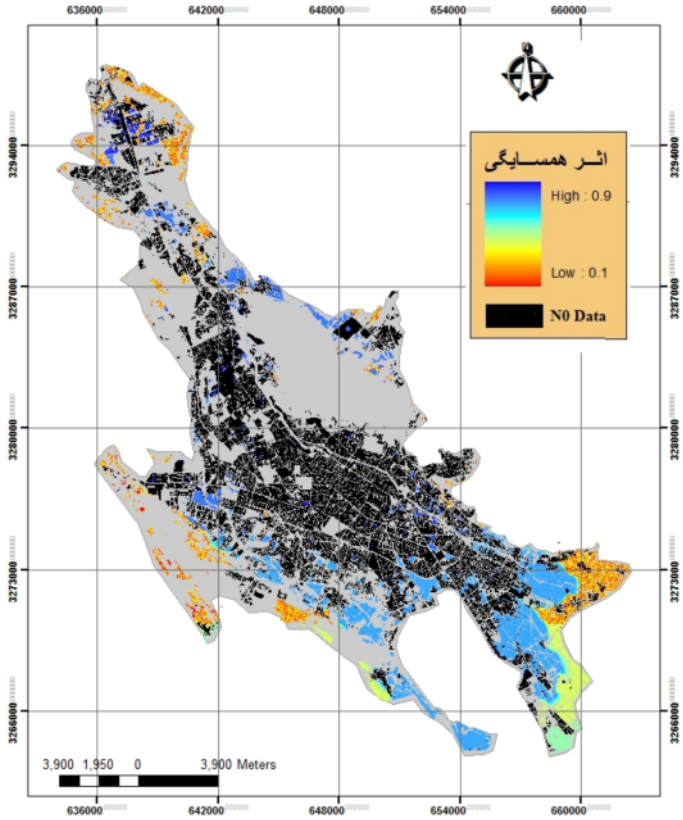
رابطه ۳ : $F_{MJ}(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^{n} w_i . a_i$

در رابطه بالا w_i وزن حاصل از روش Majority OWA است که برای هریک از معیارها به صورت مجزا محاسبه می‌شود و البته باید دقت شود مجموع این وزن‌ها برابر یک است و هریک از آنها در بازهٔ صفر و یک قرار دارند: $\sum w_i = 1$ و $w_i \in [0,1]$. در این رابطه a_i نیز وزن اختصاص داده شده به هر یک از معیارها در مراحل قبل است.

نکتهٔ مهم در این روش عدم نیاز به مرتب سازی وزن‌ها است؛ یعنی برای تعیین وزن اولیه هر یک از معیارها، به رتبه این معیار در مجموعهٔ مرتب شده توجهی نمی‌شود و آنچه که حائز اهمیت است، مجموع فاصله (شباهت) آن معیار تا معیارهای دیگر است؛ به عبارت دیگر هرچه یک معیار به معیارهای دیگر نزدیک‌تر (شبیه‌تر) باشد، وزن بالاتری می‌گیرد (Malczewski, 2006: 270–277).

یافته‌های تحقیق

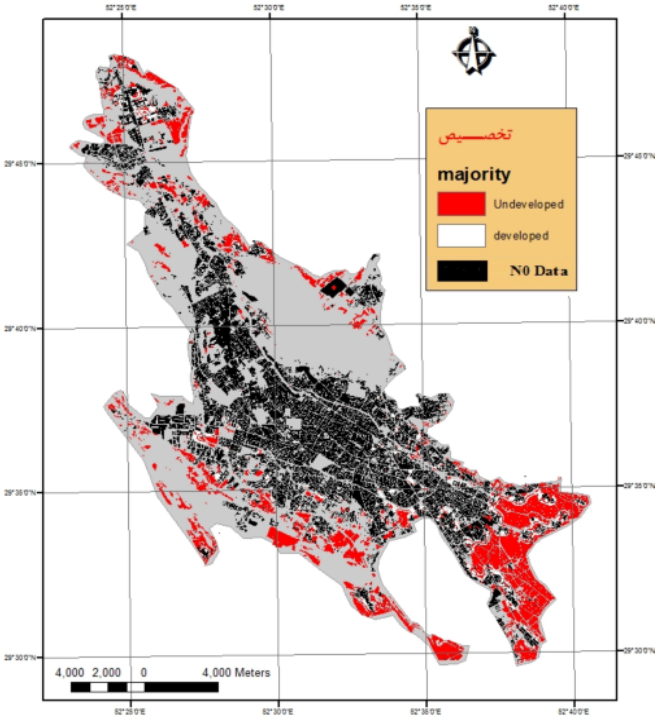
مدل پیشنهادی ارائه شده در قسمت قبل برای لایه‌های کاربری شهر شیراز در سال ۱۳۸۳ اجرا گردید. بدین منظور در نرم افزار ArcGIS 10 به هریک از این کاربری‌ها یک کد اختصاص داده شده و فرمت رستر به فرمت ASCII که قابل اجرا به صورت ماتریس در نرم افزار MATLAB می باشد تبدیل گردید. فرایند پردازش داده‌ها و محاسبه اثر همسایگی با در نظر گرفتن شعاع ۸ پیکسل دایره‌ای در نرم افزار MATLAB صورت پذیرفت و برای هریک از کاربری‌های مسکونی، ورزشی، اداری، صنعتی، بهداشتی و بایر یک ماتریس اثر همسایگی بدست آمد. در نهایت با تلفیق روش‌های اتوماسیون سلولی و Majority OWA ماتریس‌های بدست آمده ترکیب شده و نقشه اثر همسایگی مطابق شکل ۶ بدست آمد.



شکل ۷. نقشه اثر همسایگی (طیف آبی پتانسیل بیشتر برای توسعه)

منبع:: **نگارندگان**

برای انجام فرایند تخصیص به پتانسیل نسبی پیکسل‌ها توجه می‌شود نه پتانسیل مطلق آنها؛ یعنی در صورتی که پتانسیل یک پیکسل کم باشد، ولی نسبت به سایر پیکسل‌ها این مقدار بیشتر باشد، در فرایند تخصیص در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد. با مقایسه وضعیت کاربری‌ها در سال ۱۳۸۳ و تصاویر ماهواره‌ای در سال ۱۳۸۸ و تعیین نیاز سرزمین فرایند تخصیص صورت پذیرفت. نتایج به دست آمده در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۸: فرایند تخصیص برای روش Majority OWA

منبع: **نگارندگان**

خروجی پیاده‌سازی مدل ارائه شده در این پژوهش، شبیه‌سازی وضعیت مناطق توسعه یافتهٔ شهر شیراز در سال ۱۳۸۸ است. برای ارزیابی صحت نتایج، از داده‌هایی که وضعیت موجود شهر را در این سال نشان می‌دهند و همچنین از نتایج حاصل از اتوماسیون سلولی بدون تلفیق با روش Majority OWA در تحقیق دیگری که توسط همین مؤلفین انجام شده است (آقامحمدی، ۱۳۹۲: ۵۸)، استفاده شد. برای ارزیابی نتایج از روش ماتریس خطا و محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. لازم به ذکر است ماتریس خطا از مقایسه نظیر به نظیر پیکسل‌ها برای بررسی وضعیت دو نقشه و میزان انطباق آنها به هم استفاده می‌کند.

جدول ۱: مقایسه نتایج حاصل از روش Majority OWA با وضعیت شهر در سال ۱۳۸۸

وضعیت طبیعی شهر در سال ۱۳۸۸	روش CA و Majority OWA	تخصیص با روش CA	مقایسه
٪۵۳	٪۹۲	٪۱۰۰	تخصیص با روش CA
٪۶۰	٪۱۰۰	٪۹۲	روش CA و Majority OWA
٪۱۰۰	٪۶۰	٪۵۳	وضعیت طبیعی شهر در سال ۱۳۸۸

درجدول ۱ نتایج حاصل از روش تلفیقی CA و Majority OWA، با نتایج حاصل از روش CA مقایسه شده و مشخص می‌کند که نتایج حاصل از دو روش حدود ۸۸ درصد بر هم انطباق دارند. از طرف دیگر جدول ۱ گویای این واقعیت است که نتایج حاصل از روش Majority OWA با دقتی حدود ۶۰ درصد با واقعیت منطبق است (یعنی برای ۶۰ درصد از پیکسل‌های مورد نیاز که در مرحلهٔ ارزیابی نیاز سرزمین مشخص شدند، فرایند تخصیص درست صورت پذیرفته است) در حالی که روش اتوماسیون سلولی به تنهایی و بدون تلفیق با روش‌های دیگر حدود ۵۳ درصد با واقعیت انطباق دارد؛ بنابراین، روش تلفیقی مورد استفاده در این تحقیق هم باعث افزایش دقت روش اتوماسیون سلولی شده و هم با توجه به پارامترهای مورد استفاده، توانسته با دقت مناسبی توسعهٔ فیزیکی شهر را مدل نماید.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر ارزیابی و مدلسازی توسعهٔ سکونتگاه‌های شهری با استفاده از ترکیب روش‌های اتوماسیون سلولی (CA) و میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی اکثریت (Majority OWA)، با هدف افزایش قابلیت اتوماسیون سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیدهٔ مکانی صورت پذیرفت. برای مدلسازی روند توسعهٔ زمین‌های بایر، فاکتور اثر همسایگی به عنوان فاکتور اصلی مورد نظر قرار گرفت و از شش کاربری مسکونی، صنعتی، اداری، تفریحی، بایر و بهداشتی برای محاسبه اثر همسایگی استفاده گردید.

این پژوهش، مدلسازی CA، ارزیابی چندمعیاره و همچنین سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی را در قالب یک مدل تلفیقی و به منظور مدلسازی رشد آتی شهر شیراز مورد بررسی و ارزیابی قرار داده است. بررسی نقشه‌های پوشش زمین به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد، در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۸۳(مبنا) تا ۱۳۸۸ (هدف) شهر شیراز رشد شهری نسبتاً قابل توجهی را تجربه کرده و مساحت زمین‌های ساخته شده از ۹۰۲۴ هکتار در سال مبنا به ۹۱۲۶ هکتار در سال هدف افزایش پیدا کرده است. از طرف دیگر مقایسهٔ نتایج مدل با تصاویر ماهواره‌ای نشان دهندهٔ دقت حدود ۶۰ درصد برای روش Majority OWA و ۵۳ درصد برای روش CA است که بیانگر دقت بالاتر روش Majority OWA نسبت به روش CA کلاسیک است. نتایج تحقیق، گامی به سمت جلو است؛ زیرا مدل پیشنهادی با افزایش قابلیت اتوماسیون سلولی در مدلسازی پروسه‌های پیچیدهٔ مکانی به دقت مطلوبتری نیز دست پیدا کرده است. نتایج حاصل از این مدلسازی می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت اخذ تصمیم‌های بهینه در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

به منظور کارایی بهتر مدل پیشنهاد می‌گردد فاکتورهایی نظیر تناسب فیزیکی و میزان دسترسی به پارامترهای ورودی اضافه شده و همچنین از استنتاج فازی و قوانین انتقال فازی برای مقابله با عدم قطعیت پدیده‌های طبیعی استفاده گردد.

منابع

آقامحمدی، میثم (۱۳۹۲). مدلسازی توسعهٔ شهری با استفاده ازاتوماتای سلولی مبتنی بر منطق فازی با تأکید بر توسعهٔ قوانین انتقال، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

ربانی، امیر (۱۳۹۰). مدلسازی گسترش شهری با بهره‌گیری از مدل خودکارهٔ ترکیبی و روش بهینه‌سازی تودهٔ ذرات، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دورهٔ اول شماره ۳، صفحه ۳۹- ۴۶.

رجبی، محمدرضا (۱۳۸۹). تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و OWA برای مکانیابی در GIS، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۹، سازمان نقشه‌برداری ایران، تهران.

کریمی، محمد (۱۳۸۹). توسعهٔ یک سیستم حامی تصمیم‌گیری مکانی در مطالعات آمایش سرزمین، رساله دکتری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

مرادی، مریم (۱۳۹۰). مدلسازی توسعهٔ سکونتگاه‌های شهری با استفاده از اتوماتای سلولی فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،

دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

مرکز آمار ایران، سالنامه آماری (۱۳۹۰)، سالنامهٔ آماری استان فارس.

ملکی، داود (۱۳۸۹). مدلسازی توسعهٔ شهری با استفاده از روش اتوماتای سلولی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

Al-Ahmadi, K., See, L (2009). Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia, Ecological Complexity 6(2): 80-101.

Al-Kheder, S., Wang, J (2008). Fuzzy inference guided cellular automata urban growth modelling using multi temporal satellite images, International Journal of Geographical Information Science Vol. 22(11-12): 1271-1293.

Bandini, S., Worsch, T. (2001), Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata, Proceedings of the Fourth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, pages 108– 116.

Batty, M. (1998), urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata, Environment and Planning A, Vol. 30, Pages 1943-1967.

Boroushaki, S., Malczewski,j. (2009), Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making, Computers & Geosciences, Vol. 36, Pages 302–312.

d Geoinformation, Vol. 8, Pages 270–277.

Francesco Riccioli and Toufic El Asmar & Jean-Pierre El Asmar & Roberto Fratini (2013), Use of cellular automata in the study of variables involved in land use changes, Environ Monit Assess, Vol. 185, Pages 5361–5374.

Liu, Y., S. R. Phinn (2003), Modeling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 27(6), Pages 637-658.

Malczewski, J. (2006), Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis, International Journal of Applied Earth Observation an

Openshaw, S. (1998), Neural network, genetic, and fuzzy logic models of spatial interaction, Environment and Planning A, Vol. 30(10), Pages 1857-1872.

Qingsheng Yang, Xia Li, Xun Shi (2008), Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines, Computers & Geosciences, vol. 34, Pages 592–602.

Verda Kocabas, Dragicevic, S. (2006), Assessing cellular automata model behavior using a sensitivity analysis approach, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 30, Pages 921–953.

White, R., Engelen, G. (1997), Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling, Environment and Planning, Vol. 24(2), Pages 235-246.

Wu, F. (1996), A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region, Computers Environment, and Urban Systems, Vol. 20, Pages 367–87.