

مدلسازی توسعه افقی و عمودی شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی بررداری

مریم نیک بیان^۱، محمد کریمی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

maryamnikbayan@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mkarimi@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۴، تاریخ تصویب فروردین ۱۳۹۶)

چکیده

توسعه شهری یک فرایند پیچیده مکانی-زمانی است که از رشد و توسعه افقی و عمودی برخوردار می‌باشد. در غالب مطالعات، رشد افقی شهر مورد توجه قرار گرفته است و کمتر به بعد عمودی آن پرداخته شده است. توسعه عمودی شهر از راهبردهایی محسوب می‌شود که می‌تواند بسیاری از مسائل همچون کمبود زمین، مسکن و هزینه تاسیسات را برطرف نماید. هدف از انجام این تحقیق، توسعه یک مدل مناسب برای مدلسازی رشد افقی و عمودی شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی برداری می‌باشد. در این راستا، ابتدا به منظور تعیین تناسب قطعات شهری، فاکتورهای تناسب فیزیکی، دسترسی، اثر همسایگی و قیمت زمین محاسبه و تلفیق شدند. سپس با توجه به تقاضای کاربری‌های مختلف، اقدام به تخصیص کاربری برای قطعات ملکی توسعه نیافته گردید. در گام بعد، مدلسازی ارتفاعی شهر بر مبنای تخصیص کاربری‌ها، در دو روش انجام گرفت. در روش اول، با استفاده از حداکثر تعداد طبقات همسایگی در شعاع معین، تعداد طبقات قطعه ملکی مورد نظر محاسبه گردید. در روش دوم، با استفاده از قوانین و اصول موجود در طرح تفصیلی همچون ظرفیت شبکه معابر، منطقه‌بندی، تراکم ساختمانی، میزان سطح اشغال، مدلسازی عمودی شهر انجام شد و در پایان نتایج هردو روش با یکدیگر مقایسه گردید. مدل توسعه داده شده در محدوده کوچکی از شهر قم در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۴ پیاده سازی شده است. نتایج، بیانگر دقت ۶۰ درصدی رشد افقی و دقت ۸۹ درصدی رشد ارتفاعی در روش اول و دقت ۷۵ درصدی در روش دوم را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق مدیران محلی و میانی شهر را در مدیریت بخش‌های مختلف شهر یاری می‌نماید.

واژگان کلیدی: توسعه عمودی، مدلسازی تغییرات کاربری، ارتفاع، شهر قم

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در طی چند دهه اخیر، با افزایش جمعیت و به دنبال آن ازدیاد شهرنشینی، مسئله رشد و توسعه شهرها مطرح می‌شود. گسترش شهرها و رشد جمعیت، باعث تغییرات غیر اصولی در روند تغییرات کاربری می‌شود [۱]. از طرفی، وجود محدودیت در فضای باز، رشد روزافزون جمعیت، کمبود و گرانی زمین، توسعه عمودی و یا به عبارتی بلندمرتبه سازی را مطرح می‌نماید. اما توسعه عمودی نامطلوب نیز، یکی از معضلات اساسی شهرهای امروز است که می‌تواند منشا بسیاری از نابسامانی‌ها نظیر توزیع نامتعادل خدمات شهری، ترافیک شدید و اشرف باشد ([۲]، [۳]). به منظور پرهیز از این خطرات مخرب زیست‌محیطی و پیامدهای اجتماعی- اقتصادی و لزوم هدایت شهر در مسیر ساختاری بهینه، مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب امری مهم و ضروری به حساب می‌آید [۴]. یکی از ابزارهای مورد استفاده برنامه‌ریزان در جهت کنترل روند تغییرات کاربری و بررسی روند رشد عمودی شهرها، مدل‌ها و سیستم‌های پیش‌بینی شهری می‌باشد [۵].

در میان همه مدل‌های دینامیک، مدل اتوماسیون سلولی^۱ که دارای ویژگی‌های پویایی، غیرخطی و ساختاری پایین به بالا است، متداول‌ترین مدل به منظور پیش‌بینی رشد شهری به حساب می‌آید. این مدل، روشی کارآمد در تشریح فرآیند رشد شهری و ابزاری مفید برای ارزیابی پیامدهای اجتماعی و محیطی سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی است [۶]، [۷]. با استفاده از این روش، می‌توان بسیاری از سناریوهای شهری را قبل از وقوع حادثه پیش‌بینی نمود. این مدل به دو صورت مدل رستری^۲ و مدل برداری^۳ در شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری استفاده می‌شود. اگرچه روند اجرای این دو مدل، متفاوت خواهد بود اما ساختار به کار رفته و عناصر تشکیل‌دهنده آنها یکی است. به این ترتیب، عناصر مدل اتوماسیون سلولی شامل فضای سلولی (شبکه سلولی)، وضعیت، همسایگی، زمان و قوانین انتقال می‌باشد. چگونگی روند کار در مدل اتوماسیون سلولی به این صورت است که با توجه به کاربری یک قطعه در زمان t و بر

اساس همسایگی و قوانینی که بر روی آن قطعه و همسایگانش اعمال می‌شود، کاربری آن قطعه در زمان $t+1$ برآورد خواهد شد [۸]. به این ترتیب، اگر اتفاقی در همسایگی یک قطعه رخ دهد، پس اتفاق دیگری، در دوره زمانی بعد، در قطعه رخ خواهد داد [۵].

در بسیاری از تحقیقات، به منظور افزایش کارایی مدل اتوماسیون سلولی، آن را با انواع مدل‌های رگرسیون [۹]، [۵]، الگوریتم ژنتیک [۱۰]، مدل‌های فازی [۱۱]، [۱۲]، مدل‌های مارکوف [۴] و مدل‌های ماشین بردار پشتیبان^۴ [۱۳] تلفیق نموده‌اند.

در تحقیقات فوق از مدل اتوماسیون سلولی رستری استفاده شده است که امروزه به منظور جبران نواقص و مشکلات موجود در آن (اندازه سلول و ترکیب همسایگی)، از مدل اتوماسیون سلولی برداری استفاده شده است که می‌توان به مدل [۱۴]، [۱۵] و [۱۶] اشاره نمود. از طرفی در غالب تحقیقات ذکر شده، تنها به مدلسازی تغییرات کاربری‌ها و رشد و توسعه شهر در راستای بعد افقی پرداخته شده است و تحقیقاتی که به بررسی و شبیه‌سازی عمودی شهر بپردازند، بسیار محدود می‌باشند که در زیر به برخی از آنها اشاره شده است.

از شاخص‌ترین تحقیقاتی که با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی به مدلسازی توسعه افقی و عمودی شهر پرداخته است، می‌توان به تحقیق [۱۲] در یکی از شهرهای چین اشاره نمود. در این تحقیق، مدلسازی افقی شهر با استفاده از فاکتورهای تراکم جمعیت، دسترسی و تراکم ساختمانی انجام شده است. به این ترتیب، قطعاتی که دارای کاربری بایر هستند، شناسایی شدند و پتانسیل لازم برای تغییر کاربری از حالت بایر به قطعه شهری برای هر قطعه، متناسب با فاکتورهای مذکور محاسبه گردید. از طرفی، منطقه مورد مطالعه به چهار حوزه هسته‌ی مرکزی شهر، حاشیه‌ی شهر، نواحی پیرامون و نواحی خارجی شهر طبقه‌بندی شده است. به این ترتیب، متناسب با نوع حوزه‌ای که قطعه توسعه نیافته در آن قرار دارد و میزان پتانسیل به دست آمده و بر اساس دانش کارشناسی، نوع کاربری هر قطعه مشخص گردید. بعد از تعیین کاربری قطعه مورد نظر، در مرحله دوم، با استفاده از حداکثر ارتفاع کاربری‌های مجاور در شعاع همسایگی

^۱ Cellular Automata^۲ Raster Cellular Automata^۳ Vector Cellular Automata^۴ Support vector machines

بهینه، به مدلسازی و پیش‌بینی ارتفاع سلول‌های توسعه نیافته پرداخته شد. در این تحقیق دقت کلی $81/2$ درصد برای ارتفاع سلول‌های توسعه نیافته برآورد شده است. در تحقیق دیگری، [۹] به مدلسازی توسعه افقی و عمودی شهر احمد آباد هند با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی رستری و مدل رگرسیون لاجستیک^۱ پرداخته شده است. در این تحقیق، ابتدا تقاضای لازم بر اساس میزان جمعیت و سرانه کاربری‌ها در سال مبنای، برای سال مورد نظر برآورد شده است. در مرحله بعد، با استفاده از مدل رگرسیون لاجستیک، میزان احتمال تبدیل هر کاربری برای هر سلول با استفاده از فاکتورهای موثر فاصله تا فرودگاه، فاصله تا راه‌آهن، دسترسی به منازل مسکونی، تجاری، ادارات دولتی، مناطق مذهبی و قیمت زمین محاسبه شده است. در نهایت با توجه به قوانین و سیاست‌های منطقه مورد مطالعه، میزان رشد و توسعه عمودی هر سلول برآورد شده است. این قوانین و سیاست‌ها شامل عرض معبر، مساحت سلول، تراکم ساختمانی، فضای باز مورد نیاز برای هر سلول می‌باشد. در نهایت میزان توسعه عمودی هر سلول با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی رستری برای هر سلول برای سال مورد نظر برآورد گردید.

در تحقیق دیگری [۱۱] راد، توسعه‌ی عمودی مناطق مختلف شهر سبزوار را مورد سنجش قرار داده است. در این تحقیق برای سنجش پتانسیل بارگذاری تراکم ساختمانی شهر، از هفت معیار ظرفیت شبکه معابر، الگوی شبکه معابر و میزان انتظام آن، متوسط اندازه قطعات، تعداد طبقات، روند نوسازی، روند گرایش‌های ساخت‌وسازهای صورت گرفته توسط ساکنین، ضوابط طرح‌های مصوب و سیاست‌های توسعه استفاده گردیده است. میزان اهمیت این فاکتورها به کمک روش دلفی و نظر کارشناسی تعیین شده است و لایه‌های رستری خروجی با استفاده از روش OWA^۲ تلفیق شدند و الگوی بارگذاری تراکم شهر تعیین گردید.

حسینی، [۱۷] به مدلسازی عمودی شهر در فضای برداری پرداخته است. در این تحقیق، عوامل اثرگذار بر تراکم ساختمانی شامل ظرفیت شبکه معابر، قیمت زمین، کاربری‌های خدماتی، تاسیسات شهری، فاصله از مرکز

شهر، نورگیری ابنیه، مساحت قطعات، تعداد واحد مسکونی در سطح، فضای باز به ازای هر واحد، نوع بافت شهری، محصوریت فضایی و مدیریت شهری می‌باشد که ایشان با استفاده از فاکتورهای مذکور، حالت‌های مختلف پتانسیل بارگذاری تراکم را بررسی و مقایسه نموده است و اقتصادی‌ترین حالت، جهت تعیین تراکم ساختمانی بهینه هر قطعه را تعیین کرده‌است.

در این پژوهش سعی بر آن است که نقاط ضعف تحقیقات مطالعه شده، تا حد زیادی برطرف شود. به این ترتیب، مدلسازی سه بعدی شهر با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی برداری پیشنهاد می‌شود تا بتواند نقاط ضعف مدل رستری (اندازه سلول و ترکیب همسایگی) را جبران نماید. از طرفی در بیشتر تحقیقات مطالعه شده، تنها به بررسی مدلسازی افقی مبنی بر فاکتورهای تناسب فیزیکی، دسترسی و اثرهمسایگی پرداخته شده است که در این تحقیق فاکتور قیمت زمین نیز لحاظ شده است که خود در دقت مدل تاثیرگذار خواهد بود. همچنین، به منظور تعیین اثر همسایگی، پیامدهای مثبت و منفی کاربری‌ها در سه فاکتور وابستگی، سازگاری و متمرکزسازی مطالعه گردیده است که همین امر در مدلسازی بسیار موثر خواهد بود. از طرفی، در این تحقیق، سنجش میزان فاصله هر قطعه تا شبکه راه، از طریق اندازه‌گیری فاصله تحت شبکه به جای اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی صورت گرفته است که موجب ارائه نتایج دقیق‌تر در امتیاز دسترسی می‌شود. در این راستا، مدل توسعه داده شده در محدوده کوچکی از شهر قم در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۴ پیاده سازی می‌شود.

در ادامه تحقیق حاضر، در بخش دوم، به بیان روش انجام تحقیق و ارائه مدل پیشنهادی برای بررسی تغییرات کاربری‌های داخل شهری و مدلسازی ارتفاعی و تشریح عناصر و پارامترهای موثر در آنها، پرداخته می‌شود. در بخش سوم به طور خاص مدل‌های پیشنهادی مورد نظر برای داده‌های مکانی شهر قم پیاده سازی می‌شود. در پایان نتایج پیاده‌سازی مدل برای محدوده مطالعاتی به همراه نقشه‌های مدلسازی و تحلیل آن ارائه می‌شود.

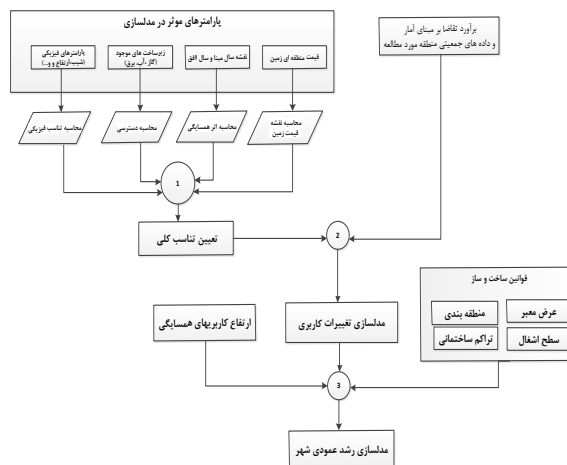
۲- روش تحقیق

در مدلسازی یک شهر، با استفاده از مدل اتوماسیون سلولی برداری گام‌های متعددی وجود دارد. در مرحله اول

^۱ Logistic Regression

^۲ Ordered Weighting Averaging

این تحقیق، مدلسازی رشد و توسعه افقی شهر صورت می‌پذیرد. به این ترتیب در گام نخست میزان تناسب کلی قطعات توسعه نیافته با استاندارد به فاکتورهای تناسب فیزیکی، دسترسی به زیرساخت حمل‌ونقل، اثر همسایگی و اثر قیمت زمین محاسبه می‌شود. در گام دوم، متناسب با تعامل میان تقاضا و تناسب کلی هر قطعه ملکی و متناسب با بیشترین ارزش به‌دست آمده در بین نقشه‌های تناسب کاربری، تخصیص برای کاربری‌های دارای تقاضا صورت می‌پذیرد. در مرحله دوم، به مدلسازی ارتفاعی شهر، با استاندارد به دو روش پرداخته شده است. در روش اول، با استفاده از حداکثر تعداد طبقات همسایگی، تعداد طبقات قطعه ملکی مورد نظر محاسبه می‌شود. در روش دوم، به منظور سنجش تراکم ساختمانی از قوانین و اصول موجود در طرح تفصیلی، همچون ظرفیت شبکه معابر، منطقه‌بندی، تراکم ساختمانی و میزان سطح اشغال مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱ فلوچارت مربوط به روش تحقیق این مطالعه را نشان می‌دهد. جزئیات روش‌های فوق در بخش‌های بعد به تفسیر بیان می‌شود. در نهایت، به منظور ارزیابی مدل مورد نظر، داده‌های شبیه‌سازی و داده‌های مرجع سال افق مورد مقایسه قرار می‌گیرد.



شکل ۱- روش انجام تحقیق

۲-۱- سنجش تناسب کلی قطعات ملکی توسعه‌نیافته

جهت سنجش تناسب کلی هر قطعه ملکی، برای تبدیل از کاربری بایر به کاربری موردنظر، فاکتورهای تناسب فیزیکی [۱۸]، دسترسی به شبکه حمل و نقل [۱۲]، اثر همسایگی [۲۰] و قیمت زمین [۹] محاسبه و نقشه مربوط به هرکدام به طور جداگانه تهیه می‌شود. در

نهایت طبق رابطه (۱) با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره تلفیق می‌شوند [۱۹].

$$TP_{ij} = W_A A_{ij} + W_S S_{ij} + W_N N_{ij} + W_P P_{ij} \quad (1)$$

در رابطه (۱) TP, A, N, S, P به ترتیب بیانگر تناسب کلی، دسترسی، اثر همسایگی، تناسب فیزیکی و قیمت زمین برای قطعه ملکی i با کاربری j می‌باشد. W_P, W_S, W_N, W_A به ترتیب بیانگر اهمیت نسبی مربوط به اثر دسترسی، اثر همسایگی، تناسب فیزیکی و قیمت زمین می‌باشد که از دانش کارشناسی حاصل می‌شود. میزان دسترسی هر قطعه ملکی تا شبکه حمل و نقل، بر اساس فاصله تحت شبکه هر قطعه ملکی تا راه اصلی محاسبه می‌شود [۱۲]. در رابطه ۲، α_{ij} میزان دسترسی قطعه ملکی با کاربری j به راه i، D فاصله تحت شبکه هر قطعه ملکی تا نزدیک‌ترین نقطه شبکه راه و 6_{ij} میزان اهمیت کاربری j به راه i می‌باشد.

$$\alpha_{ij} = (1 + D / 6_{ij})^{-1} \quad (1)$$

میزان تناسب فیزیکی هر قطعه ملکی با استفاده از میزان شیب متوسط آن قطعه ملکی [۲۰] و میزان قیمت هر قطعه ملکی با استفاده از درون‌یابی نقاط معلوم، محاسبه می‌شود. در بسیاری از کشورها، قیمت منطقه‌ای تعدادی قطعه ملکی تعیین شده است و با استفاده از آنها به درون‌یابی نقاط دیگر پرداخته می‌شود [۹] اما در این تحقیق، قیمت منطقه‌ای تمامی کاربری‌ها برای سال‌های متفاوت موجود است.

برای محاسبه نقشه اثر همسایگی قطعه مورد نظر، لازم است پیامدهای خارجی (اثر مثبت و منفی) تمامی قطعات موجود در شعاع همسایگی طبق رابطه ۳، در نظر گرفته شوند و با یکدیگر تلفیق شوند [۲۰].

$$N_{al} = \sum_k N_{abika} \quad (3)$$

در رابطه فوق، N_{abika} بیانگر پیامد خارجی قطعه ملکی b با کاربری k بر قطعه ملکی هدف a با کاربری l در فاصله d می‌باشد و N_{al} ، میزان اثر همسایگی قطعه ملکی هدف را نشان می‌دهد. به منظور محاسبه پیامد خارجی قطعات همسایگی، سه فاکتور مساحت، فاصله و اثر مثبت و منفی کاربری‌ها مورد بررسی قرار گرفت [۲۰] (رابطه ۴).

در رابطه فوق، C, D و P به ترتیب معرف وابستگی، متمرکزسازی و سازگاری می‌باشد. $\sum_k^C Nab_{lkd}$ بیانگر میزان پیامد خارجی ناشی از متمرکزسازی قطعه b با کاربری k در فاصله d بر قطعه توسعه a با کاربری l می‌باشد و $\sum_k^P Nab_{lkd}$ بیانگر میزان پیامد خارجی ناشی از سازگاری قطعه b با کاربری k در فاصله d بر قطعه a با کاربری l می‌باشد و $\sum_k^D Nab_{lkd}$ بیانگر میزان پیامد خارجی ناشی از وابستگی قطعه b با کاربری k در فاصله d بر قطعه توسعه a با کاربری l می‌باشد [۲۰].

به منظور محاسبه اثر همسایگی هر قطعه، بعد از استانداردسازی، این سه فاکتور، با هم جمع شده و میزان اثر همسایگی N_{al} برای هر قطعه تعیین می‌شود. در رابطه ۸، C, D و P به ترتیب معرف، وابستگی، متمرکزسازی و سازگاری و β معرف اهمیت نسبی هر کدام از فاکتورهاست که از دانش کارشناسی حاصل می‌شود.

$$N_{al} = \beta_C * C_{al} + \beta_P * P_{al} + \beta_D * D_{al} \quad (۸)$$

۲-۲- تخصیص کاربری‌ها

در تخصیص کاربری به هر واحد سرزمین، در ابتدا به بررسی تقاضای مورد نیاز کاربری‌ها پرداخته می‌شود. به منظور برآورد میزان تقاضا برای منطقه مورد مطالعه، میزان مساحت کاربری‌های بایر در سال مبنا تعیین می‌شود و سپس با توجه به تغییر این سطوح در سال افق، میزان تقاضای هر کاربری برای سال افق محاسبه می‌گردد. تخصیص کاربری در واحدهای مکانی، تحت تاثیر دو روش اصلی، اولویت ارزش کاربری و ماکزیمم ارزش صورت می‌پذیرد [۲۰] که در این تحقیق، مکان‌گزینی کاربری بر اساس ماکزیمم ارزش سلول صورت می‌پذیرد. این بدان معنا است که در واحد تقاضای مورد بررسی، تخصیص بر اساس بیشترین ارزش در بین نقشه‌های تناسب صورت می‌پذیرد.

۲-۳- تخصیص تعداد طبقات

بعد از تعیین نوع کاربری، به تخصیص تعداد طبقات پرداخته می‌شود. در تخصیص تعداد طبقات، این نکته را باید توجه نمود که اگر قطعه ملکی، پتانسیل لازم جهت تخصیص کاربری را داشته باشد، در بعد عمودی، می‌توان ارتفاع آن را ارزیابی نمود. اما اگر قطعه ملکی، پتانسیل

$$Nab_{lkd} = [F] \times I_{albk}$$

$$F = (\exp((A_b/A_a) / (A_{max}/A_{min})) + \exp(-d_{ba}/1000)) \quad (۴)$$

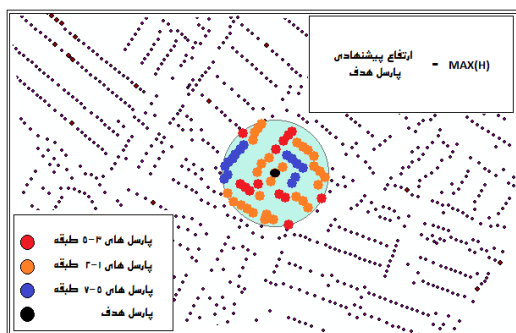
در رابطه فوق، Nab_{lkd} بیانگر میزان اثر خارجی قطعه b با کاربری k در فاصله d از قطعه a با کاربری l می‌باشد که در سه دسته متمرکزسازی، سازگاری و وابستگی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۰]. I_{albk} میزان اثرات مثبت و منفی قطعه b با کاربری k بر قطعه هدف و یا تاثیر هر یک از سه فاکتور سازگاری، وابستگی و متمرکزسازی می‌باشد. F تاثیر دو فاکتور مساحت و فاصله را بیان می‌کند که در آن، A_b مساحت قطعه همسایه، A_a مساحت قطعه مرکزی یا قطعه هدف می‌باشد. A_{min} و A_{max} نیز به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت قطعه ملکی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این رابطه d بیانگر نزدیکترین فاصله بین دو قطعه ملکی همسایه و قطعه ملکی هدف می‌باشد [۲۰].

به منظور بررسی میزان سازگاری و وابستگی و متمرکزسازی کاربری‌های مختلف، کاربری‌های موجود در منطقه، متناسب با عملکرد و میزان مساحتشان، در سه سطح محله‌ای، ناحیه‌ای و منطقه‌ای طبقه‌بندی می‌شوند. به این ترتیب، با استفاده از روش دلفی، سطوح مختلف سازگاری و وابستگی برای انواع کاربری‌ها محاسبه و سپس با استفاده از روش AHP، سطوح مختلف این دو فاکتور کمی می‌شوند [۲۱]. سپس بر اساس میزان فاصله و مساحت کاربری همسایه تا قطعه هدف، امتیاز نهایی سازگاری و وابستگی محاسبه می‌شود. به منظور محاسبه امتیاز متمرکزسازی، متناسب با اینکه کاربری هدف به چه کاربری تبدیل می‌شود، قطعه‌های مشابه با کاربری هدف در فاصله همسایگی انتخاب شده و بعد از اعمال اثر مساحت و فاصله با یکدیگر جمع شده و معرف فاکتور متمرکز سازی می‌شود. به این ترتیب، پیامد خارجی را در سه رابطه ۵، ۶، ۷ می‌توان بررسی نمود [۲۰].

$$C_{al} = \sum_k^C Nab_{lkd} \quad (۵)$$

$$D_{al} = \sum_k^D Nab_{lkd} \quad (۶)$$

$$P_{al} = \sum_k^P Nab_{lkd} \quad (۷)$$



شکل ۲- پیش بینی ارتفاع قطعه هدف، متناسب با حداکثر ارتفاع قطعه ملکی‌های موجود در شعاع همسایگی

در مدلسازی عمودی شهری به روش دوم، از قوانین و اصول موجود در طرح تفصیلی (جدول ۱) و عوامل تاثیرگذار بر رشد و توسعه شهری همچون ظرفیت شبکه معابر، منطقه‌بندی، تراکم ساختمانی و میزان سطح اشغال، به منظور محاسبه تعداد طبقات قطعه ملکی توسعه نیافته استفاده می‌شود. به این ترتیب، با استفاده از قوانین اگر و آنگاه^۱ به بررسی تعداد طبقات پیشنهادی توسط ضوابط و طرح‌های مصوب و سیاست‌های توسعه پرداخته می‌شود.

۲-۴- ارزیابی صحت مدل

ارزیابی مدل‌های اتوماسیون سلولی اعم از برداری و رستری با استفاده از داده‌های کاربری مربوط به دوره‌های زمانی مختلف صورت می‌پذیرد. به این ترتیب، ماتریس متقاطع^۲ برای دو نقشه مرجع و شبیه‌سازی شده تشکیل می‌شود و به منظور ارزیابی داده‌ها، دقت تولید کننده^۳، دقت کاربر^۴ و دقت کلی، از ماتریس متقاطع محاسبه می‌شود [۲۰].

لازم جهت تغییر کاربری را نداشت، در مورد ارتفاع آن نمی‌توان نظری داد [۱۲]. برای تعیین تراکم ساختمانی قطعات، روش‌های مختلفی وجود دارد. Huang به منظور پیش‌بینی ارتفاع سلول‌های توسعه‌نیافته از ارتفاع کاربری‌های مجاور استفاده نموده است.

ارتفاع ساختمان به عنوان یکی از متغیرهای وابسته به تراکم، از عوامل بسیار مهم در سازماندهی منظر شهری است. این معیار، ابزار کنترل دقیقی است که می‌باید با در نظر گرفتن ساختمان‌های مجاور تدوین گردد [۲۲]. از طرفی، این شاخص، نشان‌دهنده آن است که در نقاط دارای ابنیه مسکونی، تجاری و صنعتی، می‌توان تراکم ساختمانی را متناسب با وضع موجود پیشنهاد کرد [۳].

از جمله روش‌های کاربردی دیگری که با اتکا به ویژگی‌های قطعات و تاثیر آن، به تعیین حداکثر تراکم ساختمانی می‌پردازد، می‌توان به تحقیق [۳، ۹، ۱۷] اشاره نمود که با توجه به قوانین و سیاست‌های منطقه مورد مطالعه، میزان رشد و توسعه عمودی هر قطعه را برآورد نموده‌اند. این قوانین و سیاست‌ها شامل عرض معبر، مساحت قطعه، سطح اشغال، تراکم ساختمانی، فضای باز مورد نیاز برای هر قطعه می‌باشد. در این تحقیق به بررسی این دو روش در فضای برداری پرداخته و نتایج حاصل از این دو با یکدیگر مقایسه می‌شود. در روش اول مدلسازی عمودی شهر، ساختمان‌های داخل شهر، به لحاظ تعداد طبقات، طبقه‌بندی می‌شوند [۱۲]. در گام بعد با بررسی تعداد طبقات همسایگی و استفاده از حداکثر تعداد طبقات همسایگی، تعداد طبقات قطعه ملکی مورد نظر محاسبه می‌شود. به این ترتیب، تعیین شعاع همسایگی بهینه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

به عنوان مثال، برای یک قطعه ملکی، در شعاع همسایگی ۱۰۰ متر، اگر ۵۵ قطعه ملکی وجود داشته باشد و ۱۳ قطعه ملکی به صورت ۳ طبقه و ۱۳ قطعه ملکی به صورت ۵ طبقه و ۲۹ قطعه ملکی به صورت ۱ طبقه باشد، تعداد طبقات پیشنهادی برای قطعه ملکی توسعه نیافته، ۱ طبقه تعیین می‌شود. به این ترتیب، با استفاده از حداکثر تعداد طبقات همسایگی در شعاع مشخص، تعداد طبقات قطعه مورد نظر محاسبه می‌شود. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، ارتفاع قطعه هدف، متناسب با حداکثر ارتفاع قطعات موجود در شعاع همسایگی پیشنهاد می‌شود.

^۱ If _Then

^۲ Error Matrix((confusion/contingency) Matrix))

^۳ Producer Accuracy

^۴ User Accuracy

جدول ۱- ضوابط ساخت و ساز در پهنه های شهری [۲۲]

تراکم ویژه	تراکم خیلی زیاد			تراکم زیاد			تراکم متوسط			تراکم کم			شرح
	ج	ب	الف	ج	ب	الف	ج	ب	الف	ج	ب	الف	
۴۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	۶۰	۵۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	عرض معبر
۴۰۰	۴۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۷۵	۲۴۰	۲۷۵	۲۴۰	۱۸۰	۲۴۰	۱۸۰	۱۲۰	سطح اشغال
۱۰	۸	۷	۶	۶	۵	۴	۵	۴	۳	۴	۳	۲	تراکم ساختمانی
													تعداد طبقات
الف													قطعات در امتداد گذرهای غیر مجهز با عرض کمتر از ۲۰ متر
ب													قطعات در امتداد گذرهای غیر مجهز با عرض ۲۰ تا کمتر از ۳۰ متر
ج													قطعات در امتداد گذرهای غیر مجهز با عرض ۳۰ متر و بیشتر

۳- پیاده سازی

به منظور پیاده سازی مدل توسعه شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی برداری قطعه مبنا، در گام اول از نقشه های کاربری سال ۱۳۸۵، به عنوان داده های سال مبنا و از داده های سال ۱۳۹۴ به عنوان داده های سال افق استفاده گردید. نقشه کاربری عنصر اصلی در شبیه سازی رشد شهری به حساب می آید که در هشت کلاس کاربری مسکونی، تجاری، اداری، درمانی، صنعتی، فضای سبز، مذهبی، تاسیسات شهری و توسعه نیافته طبقه بندی شده است.

۳-۱- تشریح منطقه مورد مطالعه

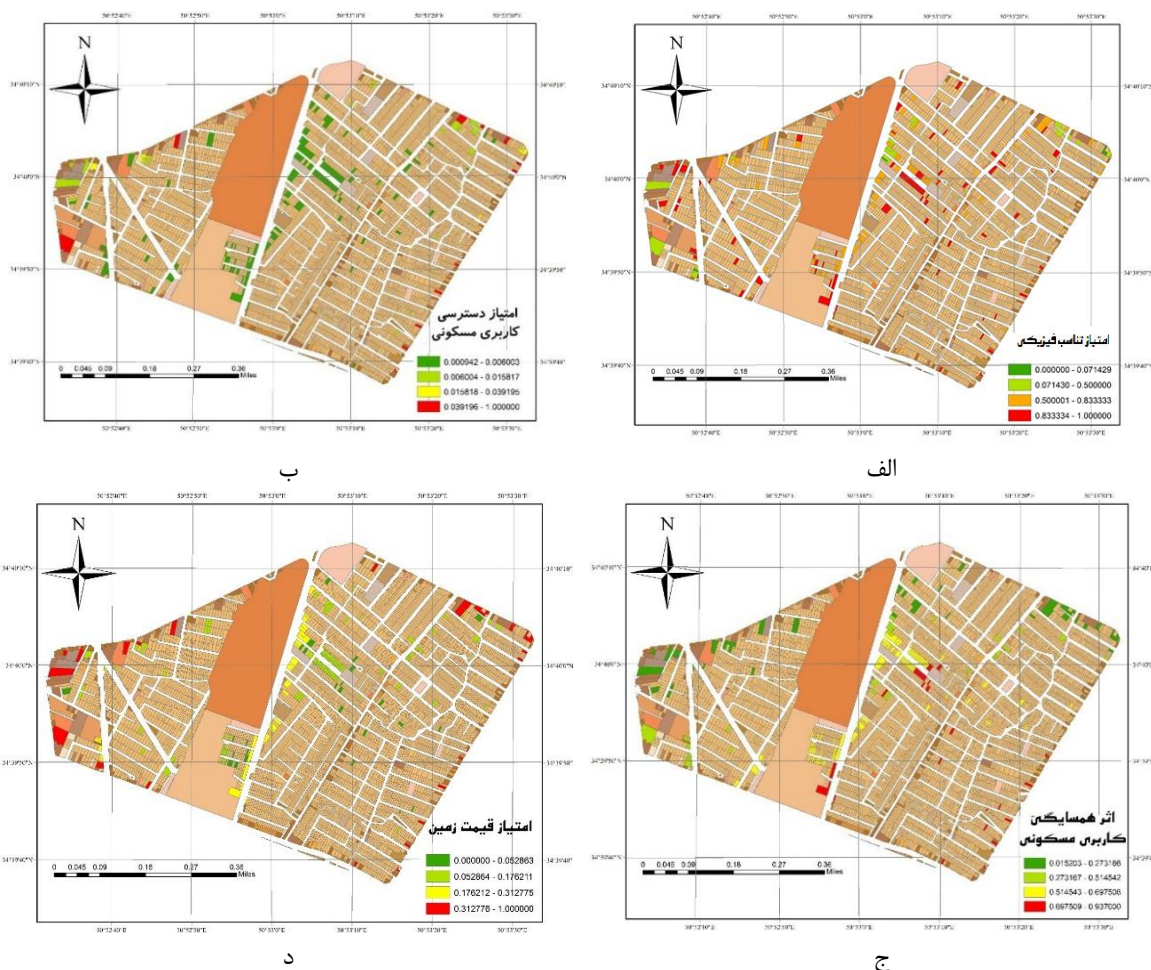
استان قم با وسعتی معادل ۱۴۶۳۱ کیلومتر مربع، در مرکز کشور واقع شده است و مرکز آن شهر قم است. بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، جمعیت شهر قم ۱۰۶۴۹۸۱ نفر می باشد که با مقایسه جمعیت این شهر از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰ مشاهده می شود که جمعیت شهر مقدس قم، دارای روند صعودی بوده است. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، چندین بلوک آماری از منطقه ۳ از شهر قم می باشد که دارای مساحت ۱۰۴۶۴۸ متر مربع می باشد. جدول شماره (۲) داده های مورد استفاده در مدل را نشان می دهد.

جدول ۲- داده های مورد نیاز در مدلسازی رشد و توسعه شهری

داده های مورد نیاز	توضیحات
DTM	محاسبه نقشه شیب و ارتفاع
شبکه راه	محاسبه اثر دسترسی
نقشه کاربری	محاسبه اثر همسایگی
قیمت زمین	ارزش هر متر مربع از کاربری مسکونی، تجاری و صنعتی
نقشه تراکم	سطح اشغال، تراکم ساختمانی، عرض معبر

۳-۲- محاسبه نقشه فاکتور

به منظور مدلسازی تغییرات شهر قم، در مرحله نخست به مدلسازی تغییرات کاربری شهر قم پرداخته می شود. در گام نخست، به منظور محاسبه نقشه تناسب فیزیکی، با استناد به DTM محدوده مورد مطالعه، نقشه شیب منطقه و در نهایت میزان شیب برای هر قطعه ملکی محاسبه و استاندارد شد (شکل ۳، الف). در گام دوم، بر اساس فاصله تحت شبکه هر قطعه ملکی تا راه اصلی و درجه اهمیت هر کاربری، میزان دسترسی هر قطعه ملکی تا راه اصلی طبق رابطه ۲ مورد بررسی قرار گرفته است. (شکل ۳، ب). در گام سوم، به منظور محاسبه نقشه همسایگی، تمامی قطعات ملکی همسایه در شعاع ۸۰۰ متری (شعاع بهینه) قطعه ملکی موردنظر، انتخاب شده و متناسب با نوع کاربری و سطح سرویس دهیشان (محله ای، ناحیه ای و منطقه ای)، اثرات متقابل کاربری هدف و کاربری همسایه در سه دسته سازگاری و وابستگی و متمرکزسازی استخراج شده و سپس بر اساس میزان فاصله و مساحت کاربری همسایه تا قطعه ملکی هدف، امتیاز نهایی سازگاری و وابستگی و متمرکزسازی محاسبه می شود. در نهایت بعد از استاندارد سازی و اعمال وزن حاصل از دانش کارشناسی با یکدیگر تلفیق شده و آماده ترکیب با سایر فاکتورها می شود (شکل ۳، ج) که به منظور تعیین این فاکتور (اثر همسایگی)، ابزاری در محیط Visual Studio و با زبان ArcObject طراحی شده است. درگام چهارم، به منظور تعیین قیمت زمین، قیمت منطقه ای قطعات ملکی توسعه نیافته استخراج می شود و بعد از استاندارد سازی، آماده ترکیب با سه فاکتور دیگر می شود (شکل ۳، د).



شکل ۳- انواع نقشه‌های فاکتور شامل الف) تناسب فیزیکی، ب) امتیاز دسترسی ج) امتیاز همسایگی د) قیمت منطقه ای

۳-۳- تعیین تناسب کلی قطعات ملکی توسعه نیافته

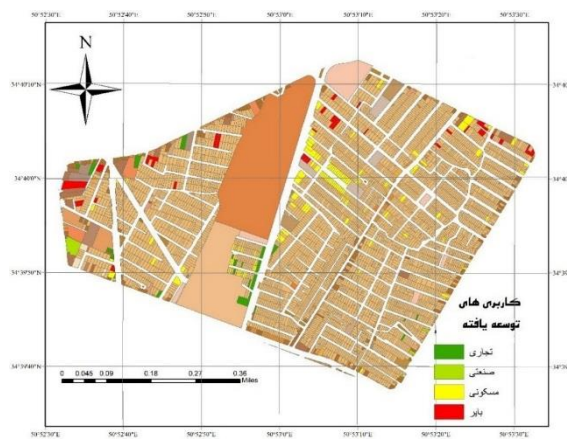
به منظور محاسبه تناسب کلی هر پارسل، فاکتورهای تناسب فیزیکی، دسترسی، اثر همسایگی و قیمت زمین با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره (رابطه ۱) با یکدیگر تلفیق می‌شوند. به این ترتیب در اولین اجرا، وزن‌های ۰/۱، ۰/۴، ۰/۴ و ۰/۱ به عنوان اهمیت نسبی پارامترهای تناسب فیزیکی، اثر دسترسی، اثر همسایگی و قیمت زمین انتخاب می‌شود و پتانسیل کلی قطعات، متناسب با وزن‌های تعیین شده محاسبه می‌شود.

۳-۴- تخصیص کاربری و شبیه‌سازی افقی شهر

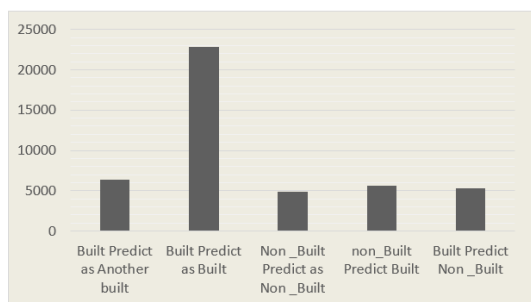
پس از گذر از مرحله تعیین میزان تناسب برای کاربری‌های مختلف، میزان تقاضا و امکان تغییر کاربری و تخصیص کاربری به هر واحد مکانی، صورت می‌پذیرد. به منظور برآورد میزان تقاضا در منطقه مورد مطالعه، از

داده‌های سال ۱۳۸۵ منطقه مورد مطالعه، به عنوان داده‌های مبنا و از داده‌های سال ۱۳۹۴ به عنوان داده‌های سال افق استفاده شده است. به این ترتیب، میزان مساحت قطعات بایر در سال ۱۳۸۵ بررسی شد و سپس با توجه به تغییر این سطوح در سال افق، میزان تقاضای هر کاربری برای سال افق محاسبه گردید. میزان تقاضا در گذر زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ برای منطقه مورد مطالعه برای کاربری مسکونی ۲۰۷۸۴ مترمربع، برای کاربری تجاری ۶۵۲۵ مترمربع و برای کاربری صنعتی ۲۵۹۸ مترمربع در نظر گرفته شده است و با توجه به وجود شرایط درمانی مناسب و فضای سبز نسبتاً مناسب، تقاضایی برای کاربری درمانی و فضای سبز در نظر گرفته نشده است. به این ترتیب، نقشه تناسب کلی، تنها برای سه کاربری صنعتی، مسکونی و تجاری محاسبه می‌شود. به این ترتیب، با توجه به در دسترس بودن داده‌های سال ۱۳۹۴، به شبیه‌سازی نقشه کاربری سال ۱۳۹۴ با استفاده از عملگر مکانی اتوماسیون

دسترسی، تناسب فیزیکی، اثر همسایگی و قیمت زمین در حالت وزن بهینه را نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز میزان تطابق پارسل‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی سال ۱۳۹۴ را در مدل بهبود یافته نشان می‌دهد.



شکل ۴- رشد منطقه‌ای در بازه‌ی زمانی ۹ ساله با استناد به اثر همسایگی، دسترسی تحت فاصله شبکه‌ای و نقشه تناسب فیزیکی و قیمت زمین



شکل ۵- تطابق قطعات ملکی شبیه‌سازی شده و واقعی سال ۱۳۹۴

۳-۶- مدل‌سازی عمودی شهر

به منظور مدل‌سازی تغییرات شهر قم، در مرحله دوم به مدل‌سازی ارتفاعی شهر قم پرداخته می‌شود. هدف از این بخش پژوهش، طراحی مدل دینامیک بارگذاری ارتفاع بر روی قطعات ملکی شهری می‌باشد. هر چند افزایش تراکم و بارگذاری ارتفاع بر قطعات ملکی شهری، باید در راستای دستورالعمل‌های پیشنهادی و آینده‌ای که برای شهر پیشنهاد می‌شود، رخ دهد، اما برای تدقیق تراکم پیشنهادی قطعات ملکی شهری باید وضع موجود شهر و روند طبیعی بارگذاری شهر و سیاست‌های موجود در شهر نیز، در قالب یک مدل دینامیک دیده شود. به همین جهت، در روش نخست، به بررسی تعداد طبقات کاربری-های مجاور قطعات ملکی توسعه نیافته پرداخته می‌شود. بررسی تعداد طبقات ساختمان از جمله معیارهایی است

سلولی پرداخته می‌شود که به دلیل بازه زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۴، گام زمانی ۱ ساله برای این مدل اختصاص داده می‌شود. در پایان، با استناد به امتیاز تناسب کلی برای قطعات ملکی توسعه و در نظر گرفتن تقاضای موجود، اقدام به تخصیص کاربری‌های توسعه‌نیافته بر اساس ماکزیمم ارزش سلول می‌شود و نقشه رشد منطقه‌ای در بازه‌ی زمانی ۹ ساله حاصل می‌شود.

۳-۵- ارزیابی مدل‌سازی افقی

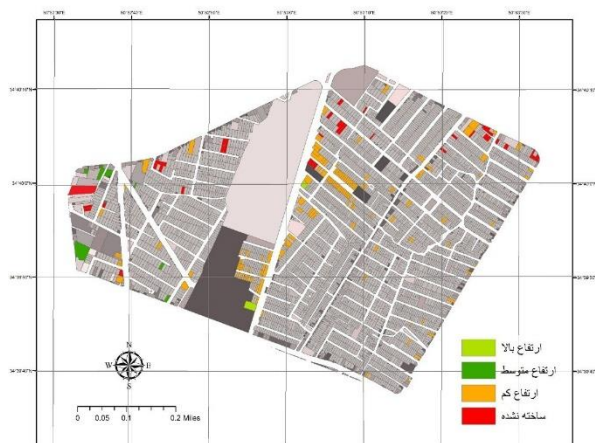
همانگونه که پیش‌تر اشاره شد، به منظور ارزیابی مدل، از نقشه واقعی و شبیه‌سازی شده سال ۱۳۹۴ استفاده می‌شود. به این ترتیب ماتریس متقاطع برای اجرای اول با اعمال وزن‌های ۰/۱، ۰/۴، ۰/۴، ۰/۱ به عنوان اهمیت نسبی پارامترهای تناسب فیزیکی، اثر دسترسی، اثر همسایگی و قیمت زمین تشکیل می‌شود که نتایج حاصل، دقت کلی ۰/۵۳ را نشان می‌دهد. به منظور تعیین وزن بهینه، از آنالیز حساسیت استفاده می‌شود.

به این ترتیب وزن‌های مختلف بررسی شده و تناسب کلی با استناد به وزن‌های انتخابی محاسبه می‌شود و مدل‌سازی رشد شهر با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف صورت می‌پذیرد و ماتریس متقاطع برای تمامی آنها تشکیل می‌شود که با مقایسه نتایج به دست آمده از اجراهای مختلف، وزن‌های ۰/۵، ۰/۵، ۰/۴، ۰/۵ به عنوان بهینه‌ترین وزن‌ها، برای فاکتور تناسب فیزیکی، اثر همسایگی، دسترسی و قیمت زمین و دقت کلی ۰/۶ به عنوان دقت بهینه انتخاب می‌شود. (جدول ۳) شاخص دقت کاربر، دقت تولید کننده را برای وزن بهینه انواع کاربری‌های تجاری، صنعتی و مسکونی نشان می‌دهد.

جدول ۳- دقت کاربر و دقت تولید کننده برای انواع کاربری‌ها

توسعه مسکونی	دقت کاربر	۰/۷۱
	دقت تولیدکننده	۰/۷۱
توسعه صنعتی	دقت کاربر	۰/۹۱
	دقت تولیدکننده	۰/۸۳
توسعه تجاری	دقت کاربر	۰/۴
	دقت تولیدکننده	۰/۴

شکل ۴ ارائه دهنده تغییرات کاربری‌های توسعه نیافته در سال ۱۳۹۴ شهر قم، با استناد به اهمیت عوامل



شکل ۷- مدلسازی ارتفاعی با استفاده از وضع ارتفاعی کاربری‌های مجاور

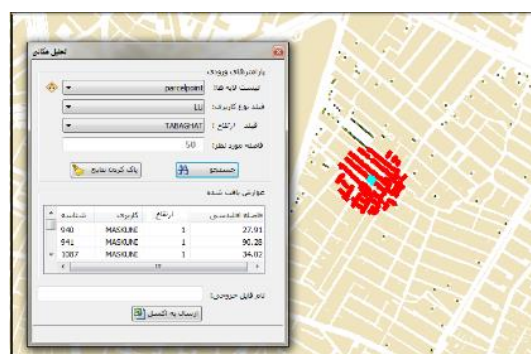
در روش دوم مدلسازی عمودی شهر، در راستای دستورالعمل‌های پیشنهادی و آینده‌ای که برای شهر پیشنهاد می‌شود، بر اساس قوانین و اصول موجود در طرح تفصیلی و بر اساس عوامل تاثیرگذار بر رشد و توسعه شهری با استفاده از ۴ معیار ظرفیت شبکه معابر، منطقه-بندی، تراکم ساختمانی و سطح اشغال مجاز در ساختمان به مدلسازی ارتفاعی منطقه مورد نظر پرداخته می‌شود [۲۲]. در این روش نیز در گام نخست، به منظور مدلسازی آسان‌تر، ساختمان‌های منطقه مورد مطالعه، به لحاظ تعداد طبقات طبقه‌بندی می‌شوند. به این ترتیب با استفاده از قوانین اگر و آنگاه به بررسی تعداد طبقات پیشنهادی توسط ضوابط و طرح‌های مصوب و سیاست‌های توسعه پرداخته می‌شود. به عنوان مثال، قطعات ملکی که در منطقه‌ای با تراکم کم وجود دارد و دارای عرض معبر کمتر از ۲۰ متر می‌باشد، دارای تعداد طبقات پیشنهادی ۲ می‌باشد و طبق نکات گفته شده در دسته‌بندی طبقات پایین قرار می‌گیرد (شکل ۸).

جدول ۴- بررسی دقت ارتفاعی در شعاع‌های مختلف

دقت کلی	شعاع همسایگی
۰/۷۲	۵۰
۰/۷۵	۷۰
۰/۸۹	۱۰۰
۰/۸	۲۰۰

که در تعیین تراکم ساختمانی، نقش به‌سزایی دارد. در این روش، در گام نخست، به منظور مدلسازی آسان‌تر، ساختمان‌های منطقه مورد مطالعه، به لحاظ تعداد طبقات، طبقه‌بندی می‌شوند. به این ترتیب، ساختمان‌های ۱-۲ طبقه در دسته طبقات پایین، ساختمان‌های ۳-۵ طبقه در دسته طبقات متوسط و ساختمان‌های ۵-۷ طبقه در دسته طبقات بالا قرار می‌گیرند.

در گام دوم، به منظور مدلسازی ارتفاعی منطقه مورد نظر، ابزاری در محیط Visual Studio و با زبان ArcObject طراحی شده است که متناسب با حداکثر تعداد طبقات همسایگی، تعداد طبقات کاربری هدف را پیش‌بینی می‌نماید (شکل ۶). در اجرای اول این مدل، تمامی قطعات ملکی مجاور در شعاع ۵۰ متری قطعات ملکی توسعه، به همراه تعداد طبقاتشان انتخاب می‌شود. به این ترتیب متناسب با ماکزیمم تعداد طبقات مجاور، ارتفاع قطعه ملکی مورد نظر پیشنهاد می‌شود. به عنوان مثال، اگر بیشتر کاربری‌های مجاور کاربری هدف در شعاع معینی، دارای تعداد طبقات ۵-۷ باشند، تعداد طبقات بالا، به عنوان ارتفاع پیشنهادی کاربری مورد نظر ارائه می‌شود.



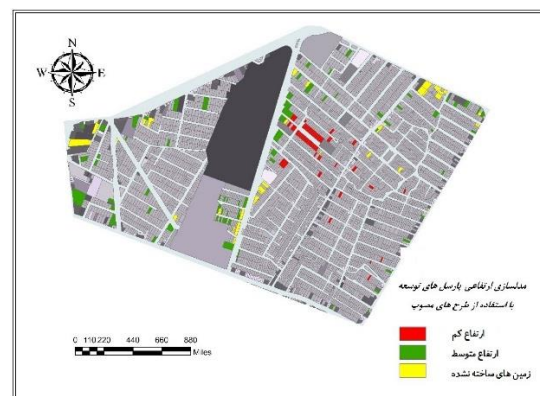
شکل ۶- ابزار طراحی شده جهت ارائه ارتفاع پیشنهادی قطعات ملکی توسعه نیافته در روش اول مدلسازی ارتفاعی

از طرفی به منظور بررسی دقیق‌تر نحوه‌ی عملکرد مدل‌های گسترش شهری اتوماسیون سلولی برداری با استفاده از آنالیز حساسیت، به بررسی اثر شعاع همسایگی پرداخته می‌شود که بیشترین دقت، مربوط به شعاع همسایگی ۱۰۰ متر می‌باشد. جدول شماره ۴ میزان دقت کلی در شعاع‌های مختلف و شکل ۷ مدلسازی ارتفاعی قطعات ملکی توسعه نیافته متناسب با وضعیت کاربری‌های مجاور را در شعاع ۱۰۰ متر نشان می‌دهد.

فیزیکی، نیاز به تردهای شهری را کاهش داده و از آلودگی‌های هوای ناشی از حمل و نقل و اتومبیل‌ها می‌کاهد. در این تحقیق، در مرحله نخست چارچوبی برای پیاده‌سازی مدل اتوماسیون برداری به منظور مدل‌سازی افقی و عمودی شهر، برای چندین بلوک آماری شهر قم ارائه می‌گردد. به این ترتیب، فاکتورهای اصلی در دو مرحله بررسی می‌گردد که در مرحله مدل‌سازی تغییرات کاربری، دقت کلی ۰/۶ نشان‌دهنده موفقیت مدل در پیش‌بینی موقعیت مکان‌های محتمل برای تبدیل به کاربری‌های شهری در زمان آینده است. مرحله دوم شامل دو روش اصلی می‌باشد که دقت بالای هر دو روش، موفقیت مدل در مدل‌سازی عمودی شهر و نقش بالای ارتفاع کاربری‌های مجاور در پیش‌بینی ارتفاع قطعه ملکی توسعه نیافته را نشان می‌دهد. مدلی که با استفاده از مباحث فوق و با در نظر گرفتن عوامل موثر در تراکم‌های شهری ارائه می‌شود، می‌تواند گامی در جهت حل مسئله تراکم باشد، به گونه‌ای که بلادرنگ و بدون ملاحظه، عواقب و پیامدهای تراکم نامطلوب هر تراکمی برای هر ساختمانی منظور نگردد.

در پایان نیز به منظور بهبود نحوه ارزیابی تعاملات کاربری‌ها و ارائه نتایج بهتر در شبیه‌سازی تغییرات شهری راه‌کارهای ذیل ارائه می‌گردد:

- شعاع همسایگی در مدل‌سازی افقی در این تحقیق بر اساس تحقیقات گذشته، ۸۰۰ متر و در مدل‌سازی عمودی ۱۰۰ متر عنوان شده است. جهت افزایش دقت مدل ارائه شده، می‌توان شعاع‌های متفاوت را متناسب با منطقه مورد مطالعه، ارزیابی نمود و برای هر کاربری شعاع را به گونه‌ای انتخاب نمود که منطبق بر مقیاس مکانی باشد.
- در این تحقیق به ارزیابی و توسعه قطعات ملکی توسعه نیافته پرداخته شده است. جهت ارائه نتایج بهتر در شبیه‌سازی تغییرات کاربری، می‌توان به بررسی تمام کاربری‌های داخل شهر پرداخت.



شکل ۸- مدل‌سازی ارتفاعی با استفاده از طرح‌های مصوب

۳-۷- ارزیابی مدل‌سازی عمودی

از آنجا که نتایج حاصل از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌های مختلف، کاربرد فراوانی دارد و همواره درجه اعتبار و صحت آنها مورد سوال است، بنابراین برای رسیدن به نتایج مورد انتظار بهبود ارزیابی دقت مدل، ضروری است و این مرحله از آزمون مدل، عنوان اعتبارسنجی شناخته می‌شود. ارزیابی مدل‌های اتوماسیون سلولی برداری همانند مدل‌های اتوماسیون سلولی رستری، می‌تواند توسط داده‌های کاربری دوره‌های زمانی مختلف باشد.

در مدل‌سازی ارتفاعی نیز، همچون مدل‌سازی افقی، نقشه ارتفاعی سال ۱۳۹۴ با نقشه شبیه‌سازی شده با استفاده از وضع ارتفاعی کاربری‌های مجاور و نقشه شبیه‌سازی شده با استفاده از طرح‌های مصوب و سیاست‌گذاری‌های توسعه مقایسه می‌شود. به این ترتیب دقت ۰/۸۹ از مقایسه نقشه ارتفاعی و روش اول و دقت کلی ۰/۷۵ از مقایسه نقشه ارتفاعی و روش دوم به‌دست آمد.

۴- نتیجه گیری

گسترش پراکنده مناطق شهری و آثار متعدد اقتصادی و زیست‌محیطی، مدیران و سیاست‌گذاران را به کنکاش جهت یافتن راهبردهایی برای مقابله با این امر وادار می‌دارد. مدل‌سازی افقی توام با توسعه عمودی، به عنوان یکی از راهبردهای رشد هوشمند با بهینه‌سازی فاصله‌های

مراجع

- [1] Jahani, m (1390). Investigate the Effects of Urban Vertical Development, Journal of research ,No. 3. [in Persian]

- [2] Karimi, M., Developing Multi-Criteria Decision Analysis Methods for Land Use Allocation, PhD Thesis in Geographic Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, 2010. [in Persian]
- [3] Rad, A (1391). " Urban Vertical Management using the OWA ", Urban Management Journal of the 4th Year, No. 9.
- [4] Khoshgoftar, 1389. Simulation of Urban Growth in Tehran, Using the CA-Markov Model ". [in Persian]
- [5] Arsanjani, J. J., M. Helbich, W. Kainz and A. D. Boloorani (2013). "Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 21: 265-275.
- [6] Sun, T. and J. Wang (2007). "A traffic cellular automata model based on road network grids and its spatial and temporal resolution's influences on simulation." Simulation Modelling Practice and Theory 15(7): 864-878.
- [7] Ahmadi R. (2009) "Cellular Automation Model, a New Method in Urban Simulation", Research and urban planning Volume 4, N 1. [in Persian]
- [8] Santé, I., A. M. García, D. Miranda and R. Crecente (2010). "Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis." Landscape and Urban Planning 96(2): 108-122
- [9] Munshi, T., M. Zuidgeest, M. Brussel and M. van Maarseveen (2014). "Logistic regression and cellular automata-based modelling of retail, commercial and residential development in the city of Ahmedabad, India." Cities 39: 68-86.
- [10] Zarei, R. & A.A. Alesheikh, "Modelling urban growth using Cellular automata and Genetic algorithm (Case study: Shiraz)", Research and urban planning, Vol 3, No. 3, pp. 1-16, 2012. [in Persian]
- [11] Al-Ahmadi, K., L. See, A. Heppenstall and J. Hogg (2009). "Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia." Ecological Complexity 6(2): 80-101.
- [12] Lin, J., B. Huang, M. Chen and Z. Huang (2014). "Modeling urban vertical growth using cellular automata—Guangzhou as a case study." Applied Geography 53: 172-186.
- [13] Rienow, A. and R. Goetzke (2015). "Supporting SLEUTH—Enhancing a cellular automaton with support vector machines for urban growth modeling." Computers, Environment and Urban Systems 49: 66-81.
- [14] Moreno, N. and D. J. Marceau (2006). A vector-based cellular automata model to allow changes of polygon shape. International Conference on Modeling and Simulation-Methodology, Tools, Software Applications, Calgary, Canada.
- [15] Cao, M. (2011). Implementation of a vector-based cellular automata model for simulating land-use changes. Geoinformatics, 2011 19th International Conference on, IEEE.
- [16] Aslani Moghaddam, I., A vector-based cellular automata model to simulate landuse changes, MSc. Thesis, Department of Geomatics and Surveying Engineering, School of Engineering, University of Tehran, 2009. [in Persian]
- [17] Hosseini, M. (1392). "Presentation of a Method for Determining the Maximum Residential Construction Concentration", Urban Management No. 31
- [18] Habibi, k. Modeling of land use change to constructed use using the S-CLUE model. Case study: Isfahan's fourteenth region. "Land use of the sixth, N.2, autumn and winter 2014.
- [19] Mousavi, R (1391). "Evaluation and Simulation of Urban Growth miane Cities Using the Markov-CA Model (Case Study: Maragheh City)", "Architecture and Sustainable Development Conference and Urban Development.
- [20] S. Abolhasani^{1*}, M. Taleai², M. Karimi³, Modeling Urban Growth Using Vector-Based Cellular Automata at Parcel Level, Vol.19, No.3, Fall 2015
- [21] Taleai, M., Sharifi, A., Sliuzas, R., Mesgari, M., (2007), Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses, International Journal of Applied Earth and Geoinformation 9, 375-391.
- [22] Construction Criteria of Urban Areas of Qom City, 1390