نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶

Vol.5, No.4, Winter 2018

۹۳-۱۱۱

مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد افقی شهر مشهد با استفاده از تلفیق اتوماتای سلولی فازی، شبکه عصبی و رگرسیون لجستیک

فرهاد رستمی گله[۱]، مرجان قائمی[۲]، روزبه شاد[۳*]، یاسمن لهرابی[۴]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران، سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۵

چکیده

در این پژوهش با به‌کارگیری مدل اتوماتای سلولی (CA) توسعه یافته بر مبنای سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و ارائه مدلی قدرتمند و ساده سعی بر مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد شهر مشهد شده است. با وجود قابلیت‌های فراوان اتوماتای سلولی در مدل‌سازی رشد شهری، این روش دارای محدودیت‌هایی نظیر عدم توانایی در مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در سیستم‌های شهری و انجام کالیبراسیون به‌صورت تجربی (روش آزمون‌وخطا) است. در روش پیشنهادی، به‌منظور غلبه بر مشکل عدم قطعیت و افزایش قابلیت مدل‌سازی، قوانین انتقال به‌صورت فازی بیان می‌شوند. برای رفع مشکل دوم نیز عوامل موثر با استفاده از رگرسیون لجستیک وزن دهی شده و فرآیند کالیبراسیون اجرا می‌گردد. لذا در این مقاله با ترکیب روش‌های مختلف در یک‌روال منطقی و بر اساس مدلی قدرتمند و ساده فرایند پیش‌بینی رشد افقی شهر مشهد اجرا می‌گردد. بدین منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و ETM+ رشد شهر مشهد برای دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۵ مدل‌سازی شده و پس از کالیبراسیون و اخذ نتایج قابل قبول از اعتبارسنجی، برای سال ۲۰۲۸ رشد افقی شهر پیش‌بینی می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده آن است که روش پیشنهادی با ضریب کاپای ۵۴/۸ و دقت کلی ۹۲ درصد، به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد شهری، نشان دهنده افزایش دقت مدل در مقایسه با اتوماتای ساده متداول است.

کلیدواژه‌ها: اتوماتای سلولی فازی، پیش‌بینی رشد شهری، سیستم اطلاعات مکانی، رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه.

*نویسنده مکاتبه کننده: دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی، مشهد

تلفن: ۰۹۱۲۶۵۸۷۱۲۹

Email: R.shad@um.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

۱- مقدمه

بر اساس گزارش سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۴، پنجاه‌وچهار درصد از جمعیت جهان ساکن شهرها می‌باشند. این عدد در سال ۱۹۵۰، سی درصد بوده و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ به شصت و شش درصد (افزایش از ۶/۳ میلیارد نفر به ۷/۴ میلیارد) برسد که درنتیجه آن کنترل جمعیت و مساحت شهرها به معضل بزرگی تبدیل خواهد شد [۱]. بر اساس گزارش مذکور، سرعت شهرنشینی در آفریقا و آسیا بیشتر از مناطق دیگر بوده و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ رشد جمعیت در این قاره‌ها به ترتیب به میزان ۵۶ و ۶۴ درصد افزایش یابد [۱]. در ایران نیز بر اساس سرشماری مرکز آمار در سال ۱۳۹۵، ۷۴ درصد از جمعیت ساکن شهرها می‌باشند. این در حالی است که رشد مذکور در سال ۱۳۹۰ برابر ۷۱/۴ درصد بوده و جمعیت شهرنشینی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ رشد ۲/۶ درصدی داشته است [۲]. رشد سریع شهری مشکلات فراوانی را در حوزه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی و نظیر آن، به دنبال دارد [۳]. تاثیرات زیست‌محیطی توسعه شهری ازلحاظ ارتباط و پیچیدگی باعث عدم توازن در کاربری زمین‌های شهری می‌شوند. همچنین، با افزایش جمعیت و مساحت شهری، سرانه خدمات کاهش‌یافته و نیاز به زیرساخت‌های اصلی از قبیل شبکه آب، برق، گاز و سرانه کاربری‌های آموزشی و ورزشی، بیش‌ازپیش نمود خواهد یافت [۴].

بنابراین به‌منظور دستیابی به یک برنامه جامع، طراحان و متخصصان شهری راهکارهایی را به‌منظور مدیریت بهینه منابع طبیعی و استفاده بهینه از زمین در شهر های ایران ارائه می‌نمایند. دو عامل اصلی، طراحان و برنامه‌ریزان را دررسیدن هرچه بهتر به اهدافشان یاری می‌کند [۵]. اولین عامل، پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در آینده و دومین عامل، امکان پیش‌بینی نتایج حاصل از راهکارهای اخذشده می‌باشد. بنابراین مدل‌های مکانی توسعه شهری به‌عنوان ابزاری برای طراحی سیاست‌های کلان مدیریت شهری قابل‌استفاده هستند. ازاین‌رو توسعه مدل‌های مذکور که به پیامدهای آینده رشد شهری و طرح‌ها و سیاست‌های کنونی مدیریت شهری وابسته می‌باشد، امری حیاتی است.

ازآنجایی‌که شهرها از پیچیده‌ترین سیستم‌های مکانی هستند مدل‌سازی سنتی امری مشکل و طاقت‌فرسا است. بر این اساس به‌کارگیری الگوریتم اتوماتای سلولی [1](CA) در سیستم‌های شهری ابزاری کارآمد می‌باشد. علت اصلی این موضوع مواردی مانند سادگی محاسبات، نمایش واضح زمان- مکان و قابلیت ارائه شبیه‌سازی واقعی از رشد شهرها هستند [۶]. در سال ۱۹۸۴، ولفرام ثابت نمود که تغییرات پدیده‌های طبیعی به کمک اتوماتای سلولی قابل‌نمایش می‌باشند [۷]. مدل اتوماتای سلولی به‌دلیل ساختار ساده و ماهیت دینامیکی، توانایی بالایی در مدل‌سازی وقایع پیچیده دارد. این ابزار به‌عنوان مدل مناسبی برای شبیه‌سازی رشد شهری شناخته‌شده است [۸]. توبلر برای اولین بار از این روش برای مدل‌سازی رشد شهری استفاده کرد [۹]. همچنین ازجمله مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی شبیه‌سازی شهری می‌توان به تحقیق وو [۱۰]، لی و همکاران [۱۱]، الخدر و همکاران [۱۲] و الاحمدی و همکاران [۱۳] اشاره نمود. همچنین رفیعی و همکاران مطالعه‌ای را به‌منظور درک روابط پویا میان عناصر شهری، پیش‌بینی رشد پراکنده برای دو دهه آینده و فراهم نمودن پایه و اساس لازم برای مدیریت صحیح شهری انجام دادند. محققین مذکور، از مدل پیش‌بینی و شبیه‌سازی اسلوث[2] استفاده نموده و به‌منظور کالیبره نمودن نتایج داده‌های تاریخی را به‌کار گرفتند [۱۴]. همچنین دیپ و ساکلانی نیز در طی مطالعه‌ای کاربرد

[1] Cellular Automata
[2] SLEUTH

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

سیستم اطلاعات مکانی (GIS)[1] و سنجش‌ازدور را در به تصویر کشیدن رشد هرز گونه‌ی شهری و تغییرات کاربری زمین بررسی کردند. نتایج به‌وضوح نشان دادند که پیش‌بینی با استفاده از CA به طراحی یک سیستم پایدار شهری کمک می‌نماید [۵]. منشی و همکاران نیز در پژوهشی، فرآیند پیش‌بینی رشد و توسعه‌ی شهر احمدآباد هندوستان را با استفاده از ترکیب رگرسیون لجستیک و اتوماتای سلولی اجرا نمودند. بررسی‌های دقیق‌تر نشان می‌دهند که محققین مذکور با استفاده از ابزارهای موجود سعی در ارائه مدل شبیه‌سازی ترکیبی به‌منظور به تصویر کشیدن اثرات آینده‌ی توسعه‌ی شهری در کنار منطقه بندی‌های حاضر و قوانین کنترل‌کننده توسعه داشته‌اند. در این مقاله، از رگرسیون لجستیک برای محاسبه‌ی سطح احتمال انتقال توسعه استفاده‌شده و هم‌زمان به‌منظور شبیه‌سازی میزان تغییرات و رشد شهری مدل تعامل مکانی بر پایه اتوماتای سلولی به‌کار گرفته‌شده است [۱۵]. لیو و زایونگ نیز برای شبیه‌سازی رشد شهری، الگوهای توسعه‌ی شهری و خطرات زیست‌محیطی را تحلیل نمودند. در این مطالعه از یک مدل ترکیبی شامل رگرسیون لجستیک خودکار، زنجیره‌ی مارکوف و اتوماتای سلولی برای بهبود مدل استاندارد رگرسیون لجستیک استفاده شد [۳].

ازجمله عوامل تاثیرگذار در رشد شهری سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های مدیران شهری می‌باشد. عدم توجه به فاکتور مذکور و تاثیر آن در شبیه‌سازی رشد شهری سبب غیرواقع‌بینانه شدن نتایج خواهد شد. از طرفی دیگر به دلیل پیچیدگی موجود در سیستم‌های شهری، فرآیند رشد آن‌ها به فاکتورهای زیادی وابسته است. لذا وسعت و تنوع فاکتورهای در نظر گرفته‌شده به‌عنوان ورودی مدل، کمک شایانی به‌واقع بینانه بودن نتایج خواهد نمود. مشکل عمده در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده با اتوماتای سلولی آن است که نمی‌توان رابطه دقیقی بین عمل و عکس‌العمل رفتارهای طبیعی تعریف نمود. زیرا تعریف دقیق رفتار سیستم نیازمند وجود دانش دقیق از حالت‌ها و همچنین تغییر حالت آن تحت ورودی های مختلف می‌باشد که در اکثر تحقیقات بررسی‌شده به این موضوع توجه نشده است. برای رفع این مشکل باید با استفاده از منطق فازی کمیت‌های غیردقیق و مبهمی که در تصمیم‌گیری درباره قوانین انتقال و تغییر حالت‌های سیستم موثرند را تعریف نمود. از طرفی دیگر هدف از کالیبره کردن مدل، تولید مقادیر وزنی بهینه مربوط به متغیرهای ورودی است. لذا استفاده از روش‌های آماری ازجمله رگرسیون لجستیک برخلاف روش آزمون‌وخطا سبب کاهش پیچیدگی مدل و تهیه وزن متغیرها به‌صورت مستقیم خواهد شد. درنتیجه با توجه به موارد عنوان‌شده و با ترکیب روش‌های مختلف در یک‌روال منطقی، مدلی قدرتمند و ساده به‌منظور پیش‌بینی رشد افقی شهر مشهد در این پژوهش پیشنهاد می‌گردد.

بنابراین در این پژوهش ابتدا با نگرشی جز به‌کل، فرآیند رشد شهری مشهد متاثر از فاکتورهای فیزیکی (دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر، دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس، دسترسی به ایستگاه‌های مترو، اثر شیب، فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر) و فاکتورهای انسانی (تسهیلات دولتی و میزان تقاضای زمین) در نظر گرفته می‌شود. سپس، تصاویر موردنیاز در محدوده مطالعاتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)[2]، طبقه‌بندی می‌شوند. سپس، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، وزن بهینه هر یک از عوامل تعیین‌شده و با استفاده از ضرایب به‌دست‌آمده از مدل

[1] Geospatial Information System

[2] Multi Layer Perceptron

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

مذکور، نقشه همپوشانی تهیه می‌شود. در مرحله بعد با در نظر گرفتن تأثیری که مقیاس و نوع همسایگی بر رفتار خروجی مدل CA دارد، تحلیل حساسیت پیاده‌سازی شده و بر اساس نتایج آن، الگوریتم اتوماتای سلولی فازی (FCA)[1] اجرا می‌گردد. در پایان، نتایج مدل‌سازی، با استفاده از روش‌های ارزیابی مانند شاخص کاپا و ماتریس خطا موردبررسی قرارگرفته و نتایج حاصل به‌منظور پیش‌بینی محدوده‌های مستعد و ارائه راهکارهای عملیاتی بهینه بررسی می‌شوند.

۲- فلوچارت و روش تحقیق

با توجه به فلوچارت تحقیق در شکل (۱) مراحلی شامل آماده‌سازی داده‌ها (طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه، تهیه فاکتورهای فیزیکی و آماده‌سازی عوامل انسانی)، تعیین قوانین انتقال موردنیاز و تعریف توابع عضویت مجموعه‌های فازی، تعیین وزن بهینه عوامل با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، ایجاد نقشه همپوشانی، اجرای آنالیز حساسیت و بررسی تاثیر مقیاس، اجرای الگوریتم اتوماتای سلولی فازی، اعتبارسنجی با استفاده از روش‌های شاخص کاپا و ماتریس خطا، طی شده است که نحوه پیاده‌سازی هر یک در بخش ۴ به تفضیل توضیح داده می‌شوند. در ادامه مبانی و مفاهیم علمی مرتبط با فلوچارت کار شامل اتوماتای سلولی، شبکه عصبی مصنوعی چندلایه، رگرسیون لجستیک و روش‌های ارزیابی تشریح می‌گردند.

۲-۱- اتوماتای سلولی

بر اساس تعریف ولفرام، اتوماتای سلولی یک فضای دینامیکی گسسته است که در آن فضا به سلول‌های مکانی تقسیم‌شده و زمان مرحله‌به‌مرحله پیش می‌رود [۲]. به زبان ساده‌تر، وضعیت هر سلول مطابق با قوانین انتقال در لحظه t+1، بر اساس وضعیت خود سلول و سلول‌های همسایه در لحظه t تعریف می‌شود. رابطه (۱)، تعریف فوق را به‌صورت ریاضی بیان می‌کند.

$$S_{xij}^{t+1} = f(S_{xij}^{t}, S'_{\Omega ij}) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابط فوق، S_{xij}^{t+1} وضعیت سلول در زمان t+1 ، S_x^t وضعیت سلول در زمان t و $S'_{\Omega ij}$ مجموعه وضع‌های ممکن در زمان t و f تابع بیان کننده مجموعه قوانین انتقال می‌باشد.

- **تحلیل حساسیت:**

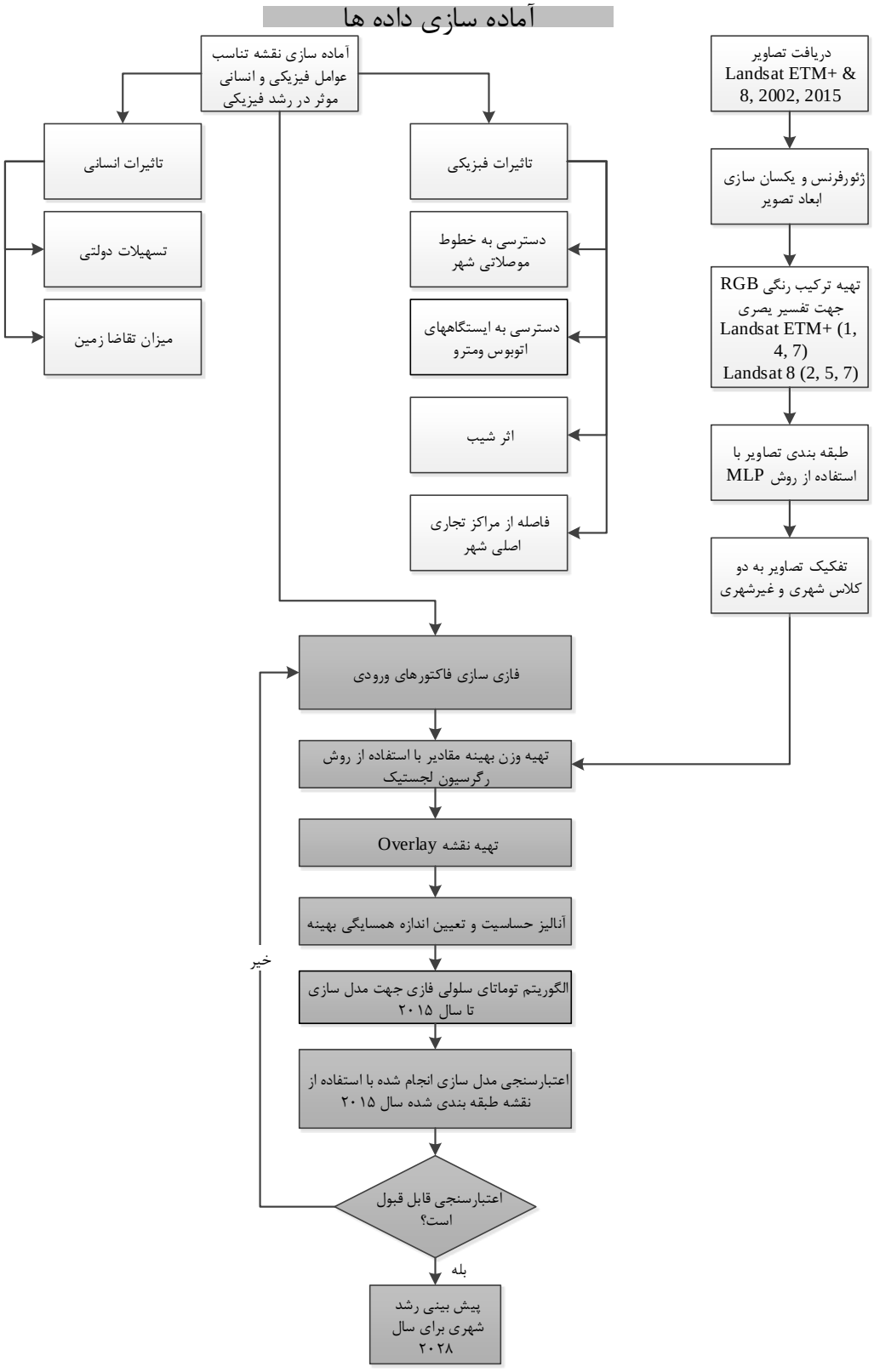
به‌علت تأثیری که مقیاس و نوع همسایگی بر رفتار و خروجی مدل CA دارد، برخی از محققین ازجمله منارد و مارکیو در سال ۲۰۰۵ اقدام به تهیه گزارشی در ارتباط با حساسیت مدل CA با توجه به مقیاس مکانی و وضعیت سلول نمودند [۱۷].

- **اتوماتای سلولی فازی:**

مشکل عمده در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده با اتوماتای سلولی آن است که نمی‌توان رابطه دقیقی بین عمل و عکس العمل رفتارهای طبیعی تعریف کرد، زیرا تعریف دقیق رفتار سیستم نیازمند وجود دانش دقیق از حالت‌ها و همچنین تغییر حالت آن تحت ورودی‌های مختلف است. برای رفع این مشکل، از منطق فازی به‌منظور تعریف کمیت‌های غیردقیق و مبهم موثر در تصمیم‌گیری درباره قوانین انتقال و تغییر حالت‌های سیستم، می‌توان استفاده کرد [۷].

[1] Fuzzy Cellular Automata

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



شکل ۱: فلوچارت مراحل تحقیق

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

۲-۲- شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، از مدل‌های معروف شبکه عصبی است و با استفاده از الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا[1] اجرا می‌شود [۱۵]. MLP معمولی، شامل لایه ورودی، لایه خروجی و یک یا چندلایه مخفی است. به‌طورکلی ساختار شبکه عصبی مصنوعی با کمک رابطه (۲) معرفی می‌شود.

$$Net_j = \sum_{i=1}^{m} W_{ij} O_i$$ رابطه (۲)

در رابطه بالا، W_{ij} نشان‌گر وزن بین نود i و نود j بوده و O_i خروجی نود i است. همچنین نرخ خطای قابل‌قبول با فرآیند یادگیری شبکه مرتبط بوده و بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^{K}(X_K - Y_K)^2}{K}}$$ رابطه (۳)

در روابط فوق X_K مقادیر مشاهداتی، Y_K مقادیر برآورد شده و K تعداد داده‌ها می‌باشد.

۲-۳- رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک حالت خاصی از رگرسیون است که در حالت دوگزینه‌ای یا چندگزینه‌ای بودن متغیر پاسخ (فقط دو یا چند حالت متفاوت برای متغیر پاسخ وجود داشته باشد)، به‌کار گرفته می‌شود. ارزش رگرسیون لجستیک به کمک رابطه (۴) برآورد می‌شود [۱۸].

رابطه (۴)

$$\text{Logistic}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \beta_1 x_{1,i} + \ldots + \beta_k x_{k,i}$$

در این مدل، p احتمال تعلق فرد به سطح اول (متغیر وابسته)، x متغیر مستقل i ام و β ضریب برآورد شده مدل (برای متغیر مستقل i ام) هستند. برد تابع مذکور، بین صفر و یک بوده و مقدار احتمال را در بازه صفر و یک نشان می‌دهد.

۲-۴- روش‌های ارزیابی

تعیین میزان انطباق مدل با واقعیت، مرحله مهمی در مدل‌سازی است که در آن مدل به‌دست‌آمده (درزمینه‌ی کاربردی) بایستی در محدوده قابل‌قبولی از دقت رضایت‌بخش قرار گیرد.

- **ماتریس خطا:** یکی از ابزارهای متداول جهت تعیین دقت مدل‌سازی شهری، ماتریس خطا است [۱۹]. این ماتریس، داده‌های دو منبع مختلف (داده‌های مرجع و داده‌های تولیدشده توسط مدل) را طبقه‌بندی می‌کند و روابط میان هر دو منبع را به‌صورت سلول به سلول مقایسه می‌نماید.
- **دقت کلی:** دقت کلی میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد. دقت کلی با استفاده از رابطه (۵) برآورد می‌شود.

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^{r} E_{ii}}{N}$$ رابطه (۵)

در رابطه فوق، c تعداد رده‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا و دقت کلی طبقه‌بندی هستند. دقت کلی، برآوردی کلی از دقت طبقه‌بندی و یا به‌اصطلاح دقیق‌تر میانگینی از دقت طبقه‌بندی هستند.

- **شاخص کاپا:** ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. ضریب کاپا با کمک رابطه (۶) برآورد می‌شود.

رابطه (۶)

$$= \frac{n\sum_{i=1}^{k} n_{ii} - \sum_{i=1}^{k} n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^{k} n_{i+} n_{+i}} \text{ni=1knii-}\widehat{K}$$
$$\text{i=1kni+n+in2-i=1kni+n+i}$$

[1] Back Propagation

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

در رابطه بالا، n تعداد کل پیکسل‌های واقعی زمینی، n_{i+} مجموع عناصر سطر i ام و n_{+i} مجموع عناصر ستون i ام هستند.

۳- منطقه موردمطالعه

شهر مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه در شمال شرق ایران قرارگرفته و مرکز استان خراسان رضوی است (شکل (۲)). این شهر پس از تهران، بزرگ‌ترین شهر ایران است. شهر مشهد با ارتفاع متوسط ۹۸۵ متر از سطح دریا، در حوضه آبریز کشف رود و بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع‌شده است. عواملی از قبیل رشد صنعت و خدمات توریستی و در ادامه آن نیاز به نیروی کار سبب شده است که در سده اخیر، شهر مشهد رشد جمعیت بالایی داشته باشد. بنابراین محاسبه روند رشد شهر مشهد کمک شایانی به برنامه‌ریزان و مدیران شهری ارائه خواهد نمود.

۴- پیاده‌سازی

در این بخش به معرفی مراحل اجرایی جهت آماده‌سازی داده‌های ورودی و پیاده سازی الگوریتم مورد نظر پرداخته می‌شود.

۴-۱- آماده‌سازی داده‌های ورودی

در ادامه جهت تولید فاکتورهای موردنیاز نحوه آماده‌سازی داده‌ها بررسی می‌شود. به‌این‌ترتیب که در ابتدا با استفاده از الگوریتم MLP تصاویر موردنیاز طبقه‌بندی‌شده و پس‌ازآن با تعریف قوانین عضویت فازی بر روی فاکتورهای فیزیکی و انسانی ورودی نقشه‌های فازی سازی شده فاکتورهای مذکور تهیه می‌گردند.

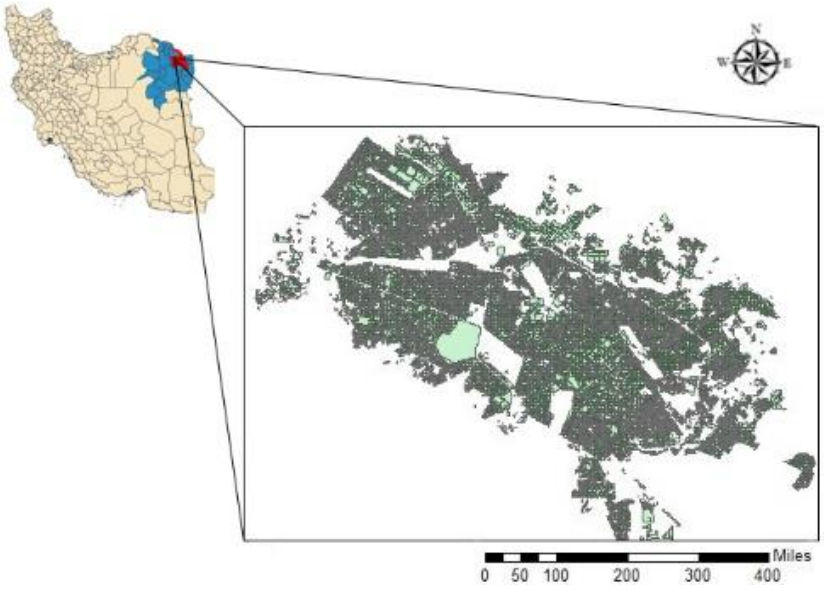
الف) تهیه نقشه کاربری اراضی شهری

در این مقاله جهت تهیه نقشه‌های پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌های لندست ۷ (سال ۲۰۰۲) و لندست ۸ (سال ۲۰۱۵) استفاده شد. سپس، با استفاده از الگوریتم MLP تصاویر طبقه‌بندی شدند. در جدول (۱) پارامترهای آموزشی شبکه عصبی طراحی‌شده، آورده شده است.

- **ارزیابی دقت نتایج شبکه:** ارزیابی دقت نتایج شبکه، یکی از مهم‌ترین مراحل آموزش شبکه است. در فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی از خطای قابل‌قبول یادگیری شبکه (RMSE)[1] جهت محاسبه دقت شبکه استفاده می‌شود. نتایج RMSE برای سال ۲۰۰۲ مقدار ۰٫۱۳۶۱ و برای سال ۲۰۱۵ مقدار ۰٫۲۱۸۰ حاصل شد که مقادیر به‌دست آمده نشان‌گر دقت بالای شبکه هستند.
- **طبقه‌بندی تصاویر:** پس از تعیین RMSE، از شبکه بهینه حاصله برای طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ استفاده شد. نقشه پوشش اراضی به‌دست‌آمده برای هرسال، دارای شش کلاس کاربری، شامل کاربری انسان ساخت، فضای سبز و باغات، مراتع، اراضی کشاورزی و دیم، سنگلاخ و اراضی بایر شکل (۳) بود.
- **اعتبارسنجی طبقه‌بندی:** اعتبار سنجی نقشه‌های طبقه‌بندی شده با استفاده از دقت کلی و شاخص کاپا و از طریق مقایسه با نمونه‌های واقعی، انجام شد. دقت کلی ۰٫۹۴۸ درصد و شاخص کاپای ۰٫۹۳۶ برای سال ۲۰۰۲ و همچنین دقت کلی ۰٫۸۱۷ درصد و شاخص کاپای ۰٫۷۷۵ برای سال ۲۰۱۵ نشان‌دهنده توان بالای شبکه عصبی پرسپترون چندلایه جهت طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد.

[1] Root Mean-Square Error

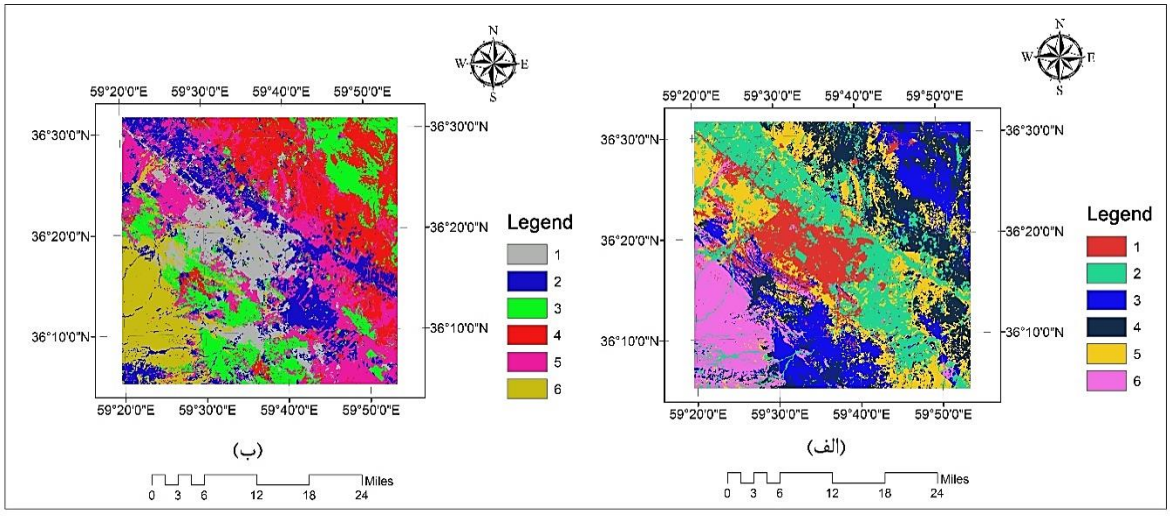
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



شکل ۲: موقعیت منطقه موردمطالعه روی نقشه ایران و در استان خراسان رضوی

جدول ۱: پارامترهای آموزشی شبکه عصبی

تعداد نرون‌های لایه ورودی	تعداد نرون‌های لایه مخفی	تعداد نرون‌های لایه خروجی	نرخ خطای قابل‌قبول آموزش شبکه	تعداد تکرار
۶ نرون (باندهای تصاویر باقدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر)	۶ نرون (با استفاده از روش آزمون و محاسبه دقت)	۶ نرون (کلاس‌های کاربری)	RMSE=0.01	۱۰۰۰۰



شکل ۳: نقشه کاربری اراضی شهر مشهد. الف) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲، ب) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵[1]

[1] کاربری‌های ذکر شده در راهنمای نقشه‌های شکل ۳ (۱- اراضی ساخته‌شده ۲- فضای سبز و باغات ۳- مراتع ۴- اراضی کشاورزی و دیم ۵- اراضی بایر ۶- سنگلاخ)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

ب) عوامل فیزیکی

عوامل فیزیکی در نظر گرفته‌شده در پژوهش، طبق مراحل زیر آماده‌سازی شدند. لازم به ذکر است که با توجه به حداقل و حداکثر مقدار فاصله از عوامل فیزیکی در نظر گرفته‌شده در این تحقیق، ابتدا فاصله در نقشه‌های ورودی به بازه‌ی صفر الی یک استانداردسازی شده و در ادامه با توجه به تعاریف زبانی توابع عضویت تعریف و به دنبال آن قوانین اعمال می‌گردند.

- **دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر:** قسمت‌های نزدیک‌تر به خطوط ارتباطی، دارای ارزش بیشتری نسبت به مناطق دورتر هستند (شکل (۴- الف)) [۱۴]. همچنین قوانین انتقال نیز به این صورت تعریف شدند که اگر دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر کم، متوسط و زیاد باشد، خروجی متغیر رشد شهری به‌ترتیب زیاد، متوسط و کم خواهد بود (شکل (۶- الف)).
- **دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس و مترو:** از دیگر عوامل تأثیرگذار بر رشد شهری، می‌توان به ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهری اشاره کرد. به‌این‌ترتیب که مناطق نزدیک‌تر به ایستگاه‌ها، ارزش بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند (شکل‌های (۴- ب و ۴- ج)). نقشه خروجی دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر در شکل‌های (۶- ب و ۶- ج) قابل مشاهده است.
- **شیب:** شیب زمین به علت میزان تأثیری که بر نوع کاربری زمین و هزینه توسعه دارد، از اهمیت زیادی برخوردار است [۲]. لذا مقدار صفرتا دو درصد برای شیب زمین در شهرسازی ایده‌آل است. همچنین شیب تا ۵ درصد مناسب بوده و بیش از نه درصد نامناسب است. لذا با استفاده از توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای و خطی توابع عضویت فاکتور مذکور تعریف گردیده شکل (۴- د) و پس از اعمال قوانین آورده شده نقشه خروجی شیب زمین تهیه گردید (شکل(۶- د)).
- **مراکز تجاری اصلی (CBD)**[1]: مناطق نزدیک‌تر به مراکز تجاری ارزش بیشتری نسبت به سایر مناطق خواهند داشت. به‌عبارت‌دیگر، هر چه فاصله از مراکز شهری بیش‌تر باشد، جذابیت توسعه کمتر می‌شود [۱۳]. هر چه فاصله از مراکز تجاری اصلی مذکور کم، متوسط و زیاد باشد، خروجی متغیر رشد شهری به ترتیب زیاد، متوسط و کم خواهد بود شکل (۴- ه). نقشه خروجی مراکز تجاری اصلی در شکل (۶- ه) قابل‌مشاهده است.

ج) عوامل انسانی

فاکتورهای انسانی در نظر گرفته شده در پژوهش، طبق مراحل زیر آماده‌سازی شدند. لازم به ذکر است که با توجه به حداقل و حداکثر مقدار فاصله از عوامل فیزیکی در نظر گرفته‌شده در این تحقیق، ابتدا فاصله در نقشه‌های ورودی به بازه‌ی صفر الی یک استانداردسازی شده‌اند.

- **تسهیلات دولتی:** تقاضا و تسهیلات اعطایی دولت، بیش‌ترین نقش را در گسترش فیزیکی شهر دارد. به‌عبارت‌دیگر، سیاست‌گذاری‌های دولتی همیشه در اولویت طرح‌های توسعه قرار داشته‌اند. لذا در این پژوهش، میزان تعلق تسهیلات دولتی مناطق شهر مشهد براساس مقایسه نقشه‌های طرح‌های تفضیلی شهر و همچنین از طریق مصاحبه با کارشناسان مربوطه به‌دست‌آمده است. نتایج به‌دست‌آمده در بازه صفر الی یک

[1] Central Business District

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

استانداردسازی شده و بر اساس تعاریف زبانی و کارشناسی فوق توابع عضویت تعریف گردیدند (شکل(۵- الف)). قوانین نیز به‌این‌ترتیب تعریف گردیدند هر چه تسهیلاتی اعطایی دولتی به مناطق زیاد، متوسط و کم باشد میزان رشد شهری در آن مناطق به ترتیب زیاد، متوسط و کم خواهد بود. شکل (۷- الف) نیز نشان‌دهنده نقشه خروجی فاکتور تسهیلات شهری است.

- **میزان تقاضای زمین:** جهت تهیه لایه تقاضا، از روش مصاحبه استفاده شد. به‌این‌ترتیب که از هر محله، یک آژانس معاملات املاک انتخاب شد و تعداد معاملات انجام گرفته در چهار ماه اخیر به‌عنوان ورودی این لایه (جهت ارزش‌گذاری)، مورداستفاده قرار گرفت و درنهایت نتایج به‌دست‌آمده در بازه‌ی صفر الی یک استانداردسازی شدند. بر این اساس ازآنجایی‌که وجهی از رشد شهری به رفتار و سلیقه مردم وابسته است هر چه خرید تقاضای زمین در محلات بیشتر باشد امکان رشد شهری در آن مناطق بیشتر خواهد بود. بر اساس تعریف مذکور توابع عضویت شکل (۵- ب) شکل‌گرفته است. قوانین نیز به‌این‌ترتیب تعریف گردیدند هر چه میزان تقاضای زمین در محلات زیاد، متوسط و کم باشد میزان رشد شهری نیز به ترتیب زیاد، متوسط و کم خواهد بود. نقشه خروجی میزان تقاضای زمین نیز در شکل (۷- ب) قابل‌مشاهده است.

۴-۲- اجرای رگرسیون لجستیک

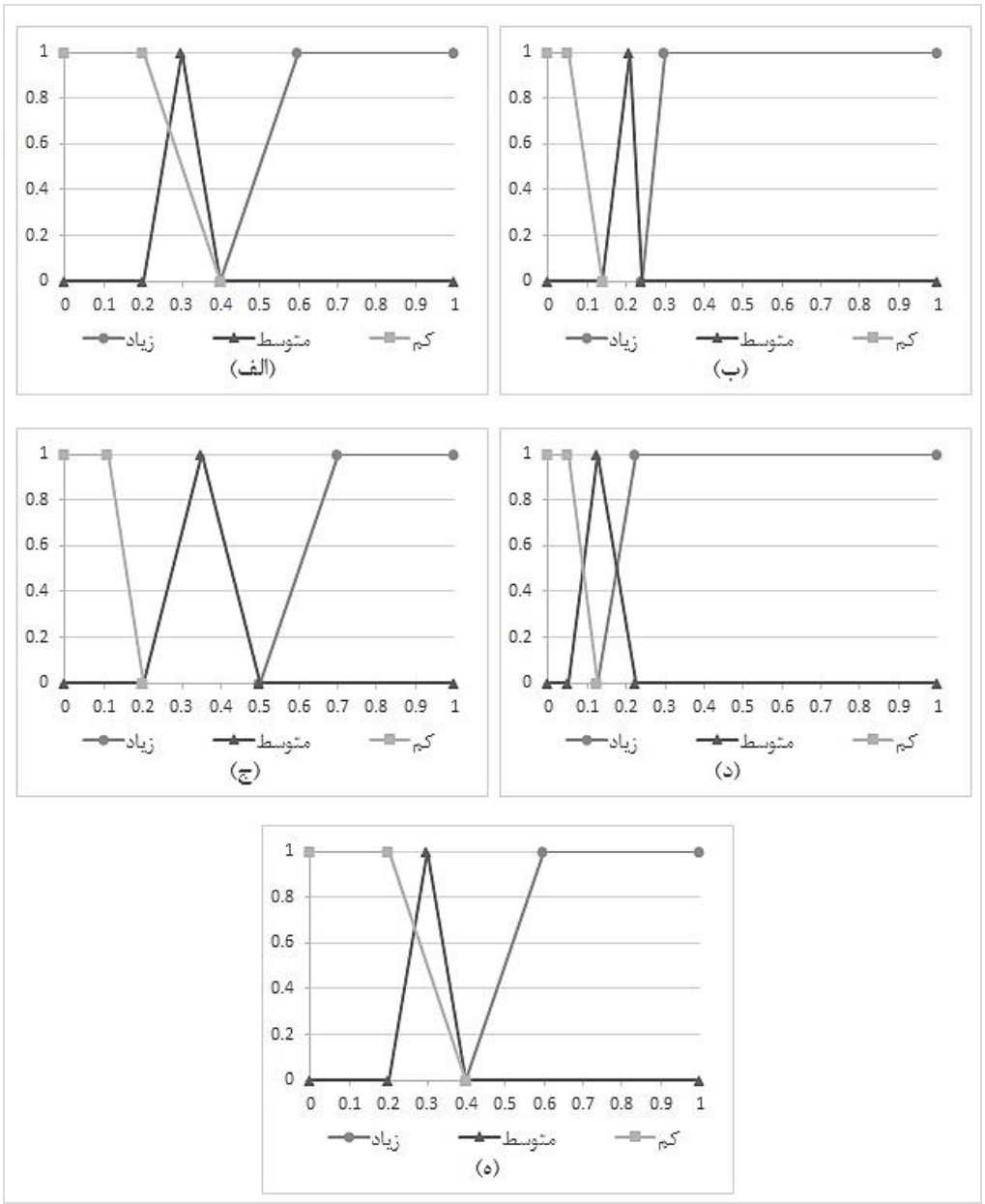
مرسوم‌ترین متد جهت کالیبراسیون مدل‌های CA شهری، روش آزمون‌وخطا است. در پژوهش حاضر، فاکتورها با استفاده از رگرسیون لجستیک وزن دهی می‌شوند. سپس نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده سال ۲۰۱۵ شکل (۸-ب) به‌عنوان متغیر وابسته و نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده سال ۲۰۰۲ شکل (۸- الف) و فاکتورهای انتخاب‌شده به‌عنوان متغیرهای مستقل به رگرسیون معرفی شدند. با اجرای رگرسیون لجستیک، ضرایب مطابق جدول (۲) به‌دست آمد.

۴-۳- تهیه نقشه همپوشانی

هدف از تهیه نقشه همپوشانی، ارزش‌گذاری فاکتورها در مدل‌سازی آتی شهر است. لازم به ذکر است که ارزش هر یک از فاکتورها بر اساس نتایج مرحله تعیین وزن بهینه، به‌دست‌آمده است. درواقع پس از مراحل مذکور، نقشه یکنواخت‌شده فاکتورها در وزن فاکتورها ضرب شده و حاصل‌ضرب آن‌ها به‌صورت برداری جمع می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

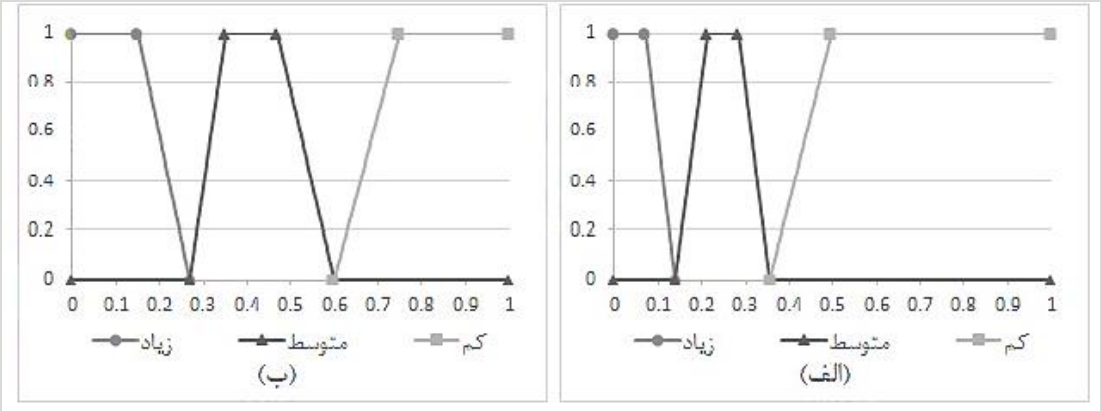
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



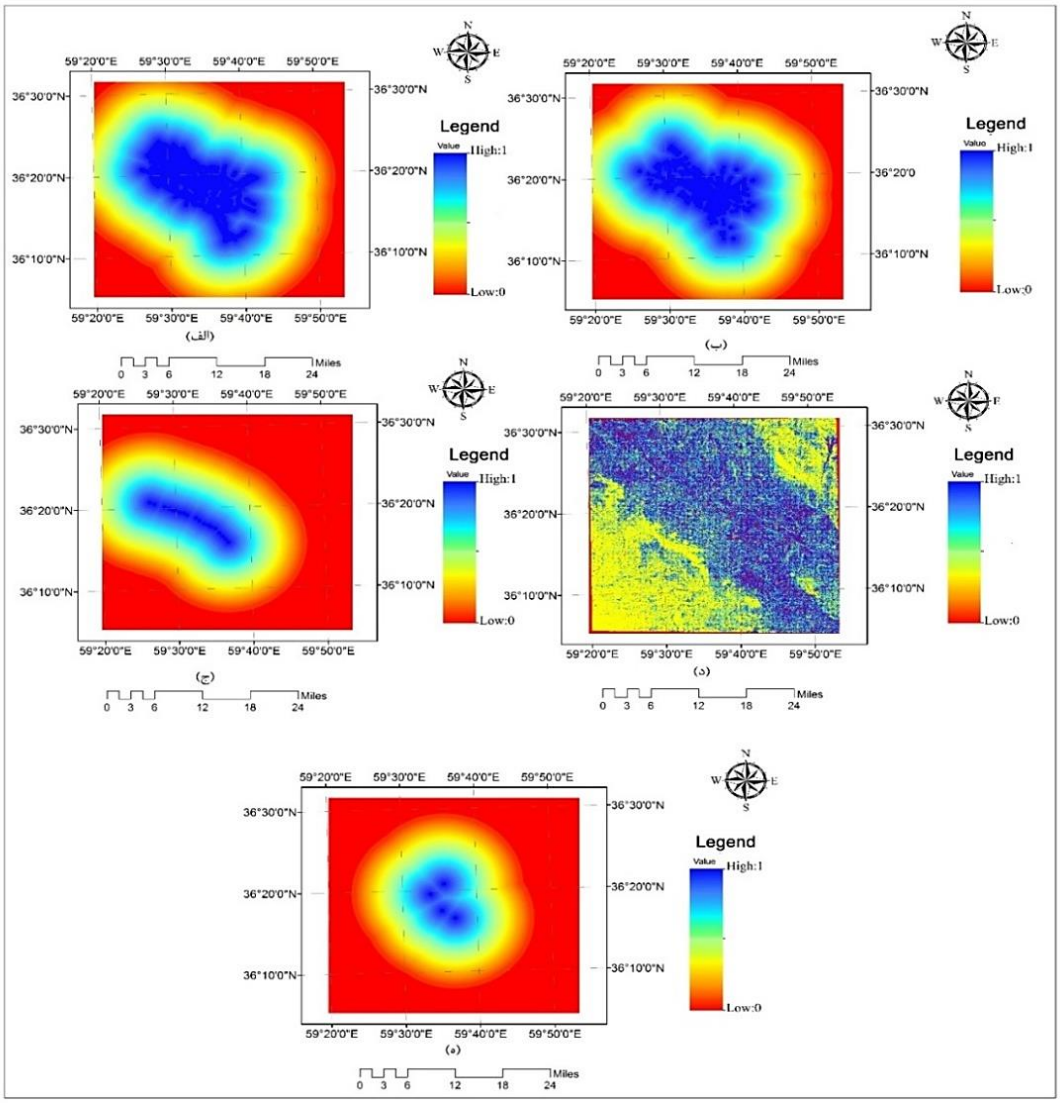
شکل ۴: توابع عضویت تعریف‌شده (دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر (الف)، دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس (ب)، دسترسی به ایستگاه‌های مترو (ج)، اثر شیب (د)، فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر (ه))

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



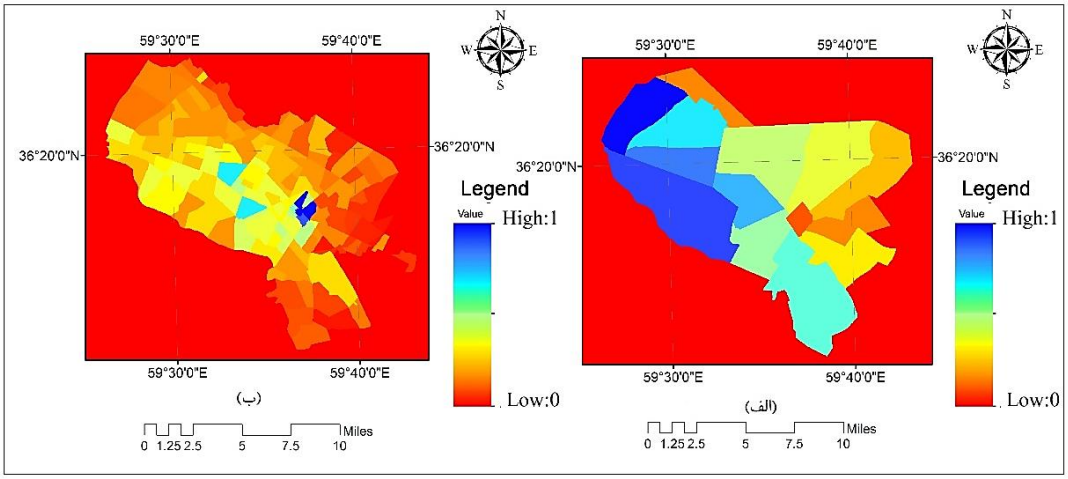
شکل ۵: توابع عضویت تعریف‌شده (تسهیلات دولتی (الف) و میزان تقاضای زمین (ب))



شکل ۶: نقشه‌های فازی سازی شده (دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر (الف)، دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس (ب)، دسترسی به ایستگاه‌های مترو (ج)، اثر شیب (د)، فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر (ه))

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

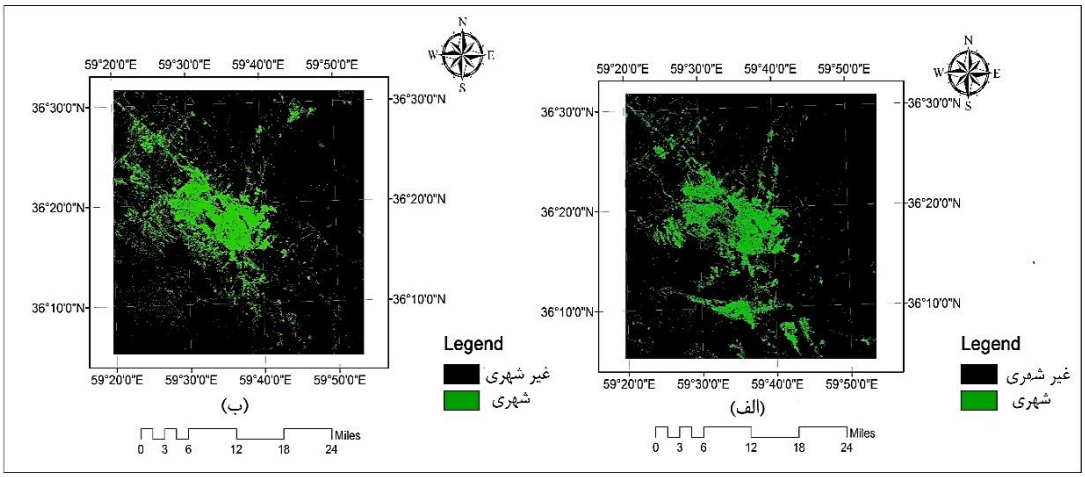
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



شکل ۷: نقشه‌های فازی‌سازی شده (تسهیلات دولتی (الف) و میزان تقاضای زمین (ب))

۴-۴- اجرای تجزیه و تحلیل حساسیت

به علت تأثیری که مقیاس و نوع همسایگی بر رفتار و خروجی مدل CA دارد، این مدل با استفاده از چهار همسایگی مربعی شکل (۹) مورد تجزیه و تحلیل حساسیت قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نشان داد که مقدار شاخص‌های کاپای ۵۴.۵٪، ۵۳.۶٪، ۵۲٫۹٪ و ۵۱٫۹٪ به ترتیب برای چهار همسایگی انتخاب‌شده ۳×۳، ۵×۵، ۷×۷ و ۹×۹ به‌دست آمدند. بنابراین مطابق نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد که همسایگی در مقیاس کوچک‌تر دقت بالاتری نسبت به همسایگی در مقیاس بالاتر دارد.

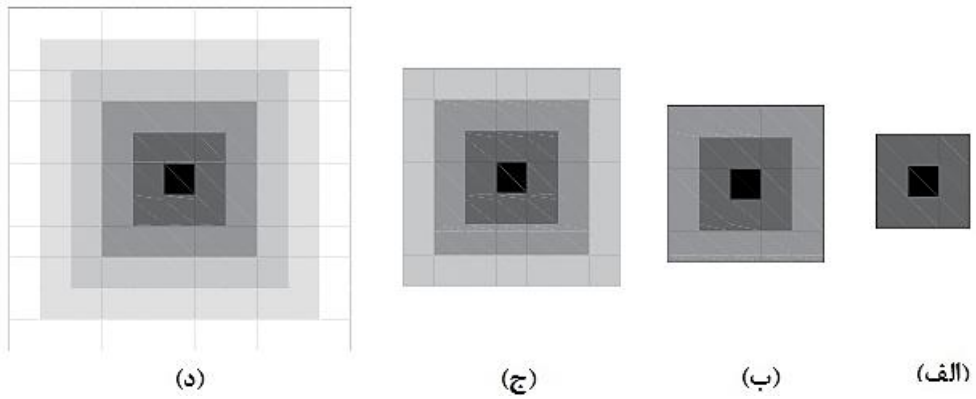


شکل ۸: نقشه کاربری اراضی انسان ساخت

جدول ۲: ضرایب به‌دست‌آمده از رگرسیون لجستیک

متغیر مستقل	ضریب	متغیر مستقل	ضریب
اثر شیب	-۰٫۲۱۷۶	دسترسی به ایستگاه‌های مترو	-۰٫۷۴۹
اراضی ساخته‌شده سال ۲۰۰۲	۲٫۲۶۰۵	دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر	۲٫۹۹۰۲
تسهیلات دولتی	۰٫۳۶۳۴	فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر	۰٫۳۴۳۹
دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس	-۰٫۰۴۹۳	میزان تقاضای زمین	۰٫۹۶۴۴

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



شکل ۹: همسایگی‌های تعریف‌شده (۳×۳ (الف)، ۵×۵ (ب)، ۷×۷ (ج)، ۱۱×۱۱ (د))

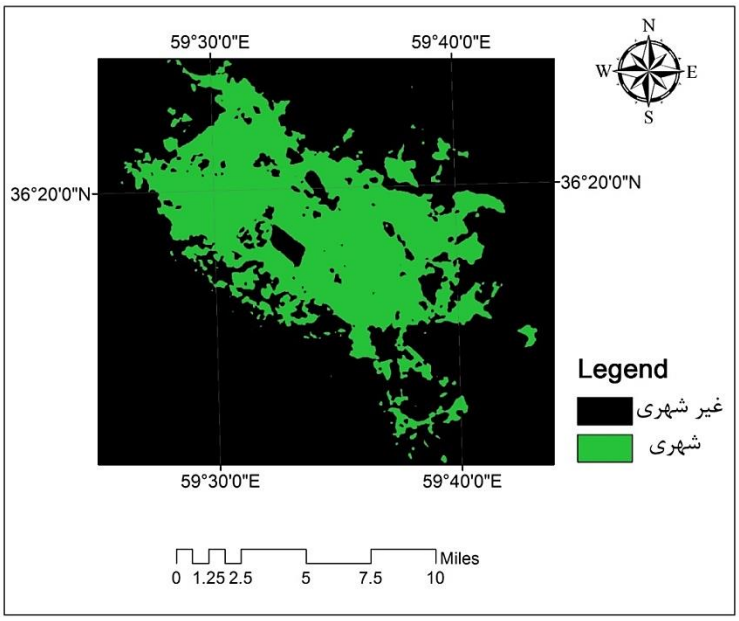
۴-۵- مدل‌سازی رشد شهری

همان‌طور که ذکر شد، برای پیاده‌سازی اتوماتای سلولی فازی ابتدا هر یک از لایه‌ها با در نظر گرفتن عبارات بیانی کم، متوسط و زیاد فازی سازی شده و قوانین انتقال مطابق با نظرات کارشناسی اجرا گردیدند. لایه‌های ورودی بر مبنای متغیرهای مسافت و تراکم و توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای و خطی فازی سازی شدند. علاوه بر این لایه خروجی رشد شهر مشهد نیز در سال‌های مختلف بر اساس عبارات بیانی کم، متوسط و زیاد فازی‌سازی گردید. برای اجرای اتوماتای سلولی فازی لازم است که قوانین انتقال بر اساس مشاهدات تجربی و نظرات کارشناسی طراحی گردند. به‌عنوان‌مثال در قوانین انتقال، اگر فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر کم، متوسط و زیاد باشد، خروجی متغیر رشد شهری به ترتیب زیاد، متوسط و کم خواهد بود. بدین ترتیب ترکیب‌های مختلفی از قوانین انتقال بررسی‌شده و اثرگذارترین آن‌ها بر متغیر خروجی رشد شهری به دست آمدند. در این حالت اتوماتای سلولی فازی امکان تعلق هر پیکسل خروجی را به مجموعه‌های فازی خروجی با استفاده از ارزیابی توابع عضویت بهینه مشخص می‌نماید. با اعمال قوانین انتقال فازی و تهیه نقشه همپوشانی، الگوریتم FCA روی پارامترهای مذکور و نقشه کاربری سال ۲۰۰۲ اعمال شد و کاربری‌ها برای سال ۲۰۱۵ پیش‌بینی شدند. پارامترهای اتوماتای سلولی فازی در جدول (۳) آورده شده است. خروجی این مرحله، نقشه شبیه‌سازی‌شده به‌منظور اعتبارسنجی شکل (۱۰) می‌باشد.

جدول ۳: پارامترهای اتوماتای سلولی

فضای سلولی	وضعیت سلول	همسایگی	زمان	قوانین انتقال
مربعی- دوبعدی (باقدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر)	شهری- غیرشهری	خروجی آنالیز حساسیت	۲۰۰۲-۲۰۱۵	قوانین انتقال فازی در قالب نقشه همپوشانی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



شکل ۱۰: نقشه حاصل از اعمال مرحله مدل‌سازی

۴-۶- اعتبارسنجی مدل

منظور از اعتبار سنجی آن است که مدل در محدوده‌ای رضایت‌بخش از دقت قرارگرفته باشد. در این مطالعه از شاخص کاپا و ماتریس خطا برای ارزیابی مدل جدول (۴) استفاده شد. دقت کلی ۹۲/۱ درصد و شاخص کاپای ۰/۵۴، دستاورد تحقیق حاضر هستند. برای بررسی دقیق‌تر صحت عملکرد روش تلفیقی ارائه‌شده نتایج آن با اتوماسیون سلولی ساده مقایسه گردید. نتایج نشان دادند که دقت کلی اتوماسیون ساده سلولی معادل با ۸۷/۲ درصد و شاخص کاپای ۰/۴۸، بوده که کمتر از روش تلفیقی ارائه‌شده در این مقاله می‌باشد.

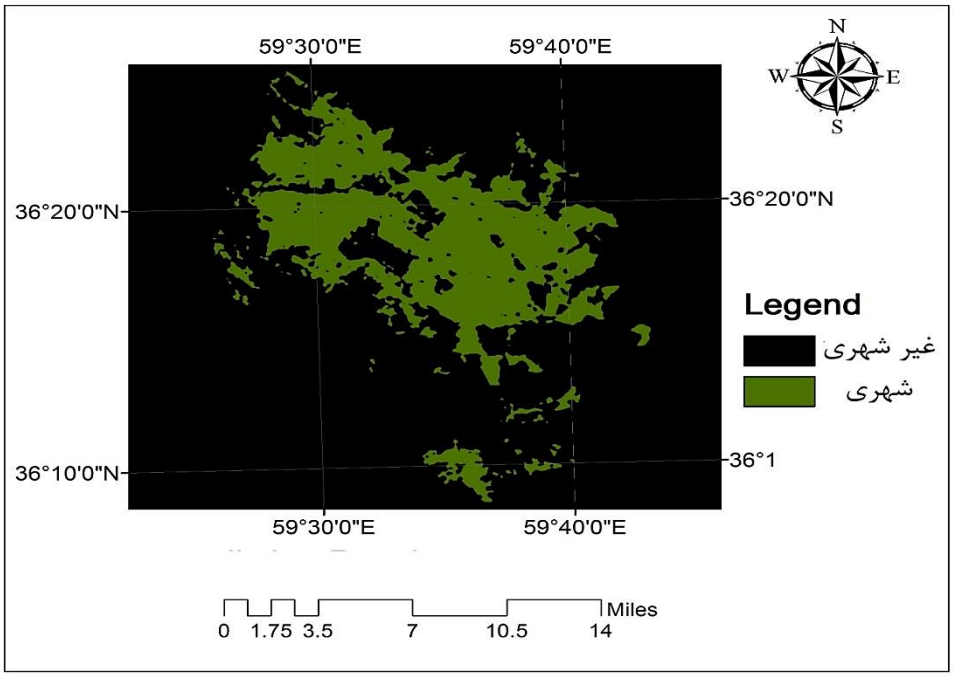
جدول ۴: نتایج ارزیابی طبقه‌بندی سال ۲۰۱۵

	کلاس غیرشهری	کلاس شهری	کل	خطای کاربر
کلاس غیرشهری	۲۳۹۰۱۵۱	۱۶۱۴۴۲	۲۵۵۱۵۹۳	۰/۰۶۳۲۷
کلاس شهری	۵۳۸۷۷	۱۵۲۶۱۰	۲۰۶۴۸۷	۰/۲۶۰۹۲
کل	۲۴۴۴۰۲۸	۳۱۴۰۵۲	۲۷۵۸۰۸۰	
خطای تولیدکننده	۰/۰۲۲۰۴	۰/۵۱۴۰۶		
۰/۵۴۵۲۷۵ = شاخص کاپا			۰/۹۲۱= دقت کلی	

۴-۷- پیش‌بینی رشد شهری

پس از کالیبراسیون مولفه‌های تشکیل‌دهنده مدل و نیز ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی، از مدل ارائه‌شده می‌توان جهت پیش‌بینی استفاده کرد. در این راستا، از بخش پیش‌بینی اتوماتای سلولی استفاده شد و رشد شهری برای ۱۳ سال آینده (سال ۲۰۲۸) پیش‌بینی می‌شود. نتایج شکل (۱۱)، نشان‌دهنده رشد شهری است که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان و مدیران شهری در درک چشم‌انداز پیش رو کمک شایانی کند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



شکل ۱۱: نقشه پیش‌بینی رشد شهری برای سال ۲۰۲۸

۵- بحث و نتیجه‌گیری

اتوماتای سلولی روشی جزء به‌کل با ساختاری ساده شناخته می‌شود که امکان مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده را به راحتی مهیا می‌کند. علاوه بر آن در این مطالعه، سعی شده است تأثیر اثرات فیزیکی و انسانی در مدل‌سازی رشد شهری به‌وسیله روش اتوماتای سلولی بررسی شود. از دیگر ملزومات تحقیق درزمینه‌ی رشد و پیش‌بینی شهری، در دسترس بودن نقشه کاربری اراضی می‌باشد. لذا، در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (سال ۲۰۰۲) و لندست ۸ (سال ۲۰۱۵) و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، نقشه تصاویر طبقه‌بندی‌شده تهیه گردید. دقت کلی ۰/۹۴۸ درصد و شاخص کاپای ۰/۹۳۶ برای سال ۲۰۰۲ و همچنین دقت کلی ۰/۸۱۷ درصد و شاخص کاپای ۰/۷۷۵ برای سال ۲۰۱۵ نشان‌دهنده توان بالای شبکه عصبی پرسپترون چندلایه جهت طبقه‌بندی تصاویر است. در پژوهش حاضر فاکتورها با استفاده از رگرسیون لجستیک وزن دهی شده‌اند. با برقراری رگرسیون لجستیک بین نقشه کاربری اراضی شهری سال ۲۰۱۵ به‌عنوان متغیر وابسته (ماهیت شهری- غیرشهری) و نقشه فازی‌سازی شده، فاکتورهای موردنیاز به همراه نقشه اراضی سال ۲۰۰۲ به‌عنوان متغیرهای مستقل، وزن فاکتورها تعیین شد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی با استفاده از دقت کلی و شاخص کاپا، نشان‌دهنده دقت بالایی در مدل حاصل می‌باشد. نتیجه حاصل از دقت کلی ۹۲/۱ درصد و همچنین شاخص کاپای ۰/۵۴ بیانگر دقت بالای مدل پیشنهادی هستند. درنهایت، پیش‌بینی آینده توسعه شهری با استفاده از اتوماتای سلولی فازی تا سال ۲۰۲۸ انجام گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود شکل (۱۲) بیشترین رشد شهری چسبیده به شهر (رشد پیوسته) در قسمت شمال شرقی و شمالی اتفاق افتاده است. با مقایسه مقادیر محاسبه‌شده با واقعیت، مشاهده می‌شود که دو قسمت

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

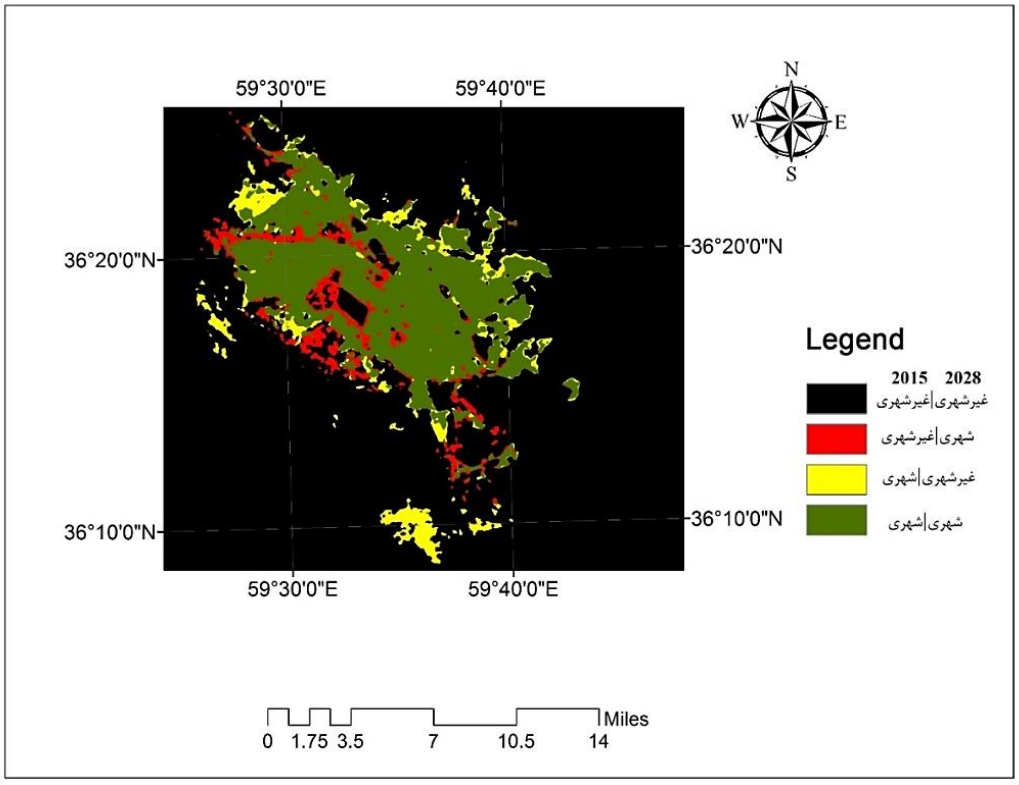
مذکور مناطق الهیه و طبرسی هستند که روند رشد فزاینده‌ای خواهند داشت. طرح جدید جامع شهر مشهد برای پاسخگویی به جمعیت سه میلیون و هشتصد و پنجاه‌وشش هزار نفر در افق ۲۰۲۸ تدوین‌شده است که در آن محدوده شهر سی هزار و پانصد و پنجاه‌وچهار هکتار و مساحت حریم آن هفتادوهفت هزار و پانصد چهل‌ویک هکتار می‌باشد. بر اساس نتایج مقاله ۳۴۸۱/۳۸ هکتار در فرآیند توسعه شهری قرارگرفته که معادل با تقاضای جمعیتی ۴۳۹۳۵۹ نفر می‌باشند. در این راستا امید است که نتایج تحقیق حاضر بتواند کمک شایان و قابل‌توجهی به برنامه‌ریزی دقیق‌تر و بهتر شهر مشهد نماید. همچنین از مشکلاتی از قبیل حاشیه‌نشینی، زاغه‌نشینی، وجود محلات نامتعارف و نفوذناپذیر و نظیر آن جلوگیری کند. این امر از مشکلاتی از قبیل حاشیه‌نشینی، زاغه‌نشینی، وجود محلات نامتعارف و نفوذناپذیری و نظیر آن در جهت نیل به توسعه پایدار جلوگیری می‌نماید.

مدل اتوماتای سلولی بیان‌شده در این تحقیق، ابزار مناسبی جهت درک فرآیندهای پیچیده مکانی خواهد بود. بااین‌وجود، مشکلات و محدودیت‌های موجود در آن را نمی‌توان نادیده گرفت. بررسی و بهبود این محدودیت‌ها نیازمند تحقیقات آینده است. لذا در ادامه پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌گردد:

- در تحقیق پیشرو از اتوماتای سلولی جهت مدل‌سازی توسعه افقی شهر مشهد استفاده‌شده است. لذا در مرحله بعدی می‌توان مدل مذکور را جهت مدل‌سازی رشد عمودی شهرها استفاده نمود.
- در مدل طراحی‌شده، خروجی آن وضعیت پتانسیل شهری و یا غیرشهری را نشان می‌دهد. می‌توان برای افزایش قابلیت‌های مدل خروجی، آن را به کلاس‌های دیگری نیز تقسیم نمود. این امر باعث می‌شود تا خروجی مدل واقع‌بینانه‌تر شود.
- توسعه شهری یک فرآیند فازی بوده که به‌وسیله تعداد زیادی عامل غیرقطعی نظیر شرایط جغرافیایی منطقه، شرایط اقتصادی و اجتماعی، وضعیت زیرساخت‌ها، پتانسیل رشد جمعیت و برنامه‌ریزی‌های شهری کنترل می‌شود. لذا وارد نمودن فاکتورهای فوق موجب افزایش کارایی مدل و بالا رفتن دقت می‌گردد.
- در این پژوهش جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهری از روش MLP استفاده‌شده است. پیشنهاد می‌شود که هدف تحقیق با روش‌های طبقه‌بندی دیگر برآورد و مقایسه گردد.
- با توجه به آنکه نقشه همسایگی در فاکتورهای ورودی پژوهش حاضر در نظر گرفته نشده است، پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی مدنظر محققین قرار گیرد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]



شکل ۱۲: مقایسه‌ای میان‌سال ۲۰۱۵ و پیش‌بینی سال ۲۰۲۸

مراجع

[1] World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Report ST/ESA/SER.A/366. New York. https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf. Accessed 16 November 2016.

[2] مرکز آمار ایران ۱۳۹۵. سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵, ایران: معاونت برنامه‌ریزی و کنترل راهبردی نهاد ریاست جمهوری

[3] Liu, Yaobin, Lu Dai, and Huanhuan Xiong, "Simulation of urban expansion patterns by integrating auto-logistic regression, Markov chain and cellular automata models", Journal of Environmental Planning and Management, Vol.58, pp. 1113-1136, 2015.

[4] Hossein zadeh, K, "Perspectives, Elements and Factors Affecting the Physical Development of Iranian Cities", Journal of Geography and Regional Development, Vol 6, pp 214-226. 2006

[5] Deep, S. and Saklani, A, "Urban sprawl modeling using cellular automata", The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Vol 17, pp.179-187, 2014.

[6] Al-Ageili, Munira, Malek Mouhoub, and Joseph M. Piwowar. "Integrating remote sensing, GIS and dynamic models: Cellular automata approach for the simulation of urban growth for the city of montreal", Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2013 26th Annual IEEE Canadian Conference on. IEEE, 2013.

[7] S. Wolfram, Cellular automata as models of complexity, 419-424, 1984.

[8] I. Sante, A. M. Garcia, D. Miranda and R. Crecente, "Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis". Landscape and Urban Planning, 96(2), 108-122, 2010.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

[9] Tobler, W.R, "Cellular geography". In: Gale, S. Olsson, G. (Eds.), Philosophy in Geography. Reidel, Dordrecht, 1979.

[10] Wu, F. W. C, "Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation". Environment and Planning B, Planning and Design, Vol 23, pp. 103-126, 1998.

[11] Li, X. Yang, Q. and Liu, X. "Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata", Landscape and Urban Planning, Vol 86, pp. 177-186, 2008.

[12] Al-kheder, S. Wang, J. and Shan, J. "Fuzzy inference guided cellular automata urban-growth modelling using multi-temporal satellite images", Int. J. Geogr. Inform. Sci, 22(11-12), pp. 1271-1293, 2008.

[13] Al-Ahmadi, K. See, L. Heppenstall, A. and Hogg, J. "Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia". e c o l ogi c a l com p l e x i t y, Vol 6, pp. 80-101, 2009.

[14] Rafiee, R. et al. "Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM) », Cities, Vol 26, pp. 19–26, 2009.

[15] Munshi, Talat, et al. "Logistic regression and cellular automata-based modelling of retail, commercial and residential development in the city of Ahmedabad, India", Cities 39, pp 68-86, 2014.

[16] Ménard, André, and Danielle J. Marceau. "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata". Environment and Planning B: Planning and Design 32.5 693-714, 2005.

[17] W. Clark and P. Hosking, Statistical Methods for Geographers, New York: John Wiley & Sons, 1986.

[18] D. Z. Sui and H. Zeng, "Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen", Landscape and urban planning, 53(1), 37-52, 2001.

[19] F. Wu, "Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system", Journal of Environmental Management, 53(4), 293-308, 1998.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.5, No.4, Winter 2018

Modeling and Prediction of Horizontal Urban Growth of Mashhad study region by Aggregating Cellular Automata, Fuzzy Theory, Neural Network and Logistic Regression

Farhad Rostami Galeh [1], Marjan Ghaemi[2], Rozbeh Shad[*3], Yasaman Lohrabi [4]

1- A Masters student in Civil Engineering, Geospatial Information System University of Ferdowsi Mashhad
2- Assisstant professor in Department of Civil Engineering, University of Ferdowsi Mashhad
3- Assisstant professor in Department of Civil Engineering, University of Ferdowsi Mashhad
4- A Masters student of natural resources engineering, University of Shahrekord

Abstract

In this paper, we try to present a simple and powerful model to forecast the urban growth of Mashhad city applying a developed Cellular Automata (CA) algorithm in Geo-spatial information System (GIS). In spite of different CA's advantages in urban growth modeling, this model faces several limitations such as inability to model the uncertainties of urban systems and working based on experimental calibration (trial and error) techniques. In the proposed method, to overcome the uncertainty problem and increase the model efficiency, the fuzzy transition rules are introduced in the modeling process. Moreover, the effective criteria are weighted using the logistic regression algorithm to remove the second restriction and then the calibration process will be applied. Therefore, the prediction process of urban growth were implemented using a suggested simple and powerful model by aggregating different methods in a logical framework. For this purpose, Landsat 8 and ETM+ satellite images (between 2002-2015) were entered into the modeling process and the horizontal urban growth of Mashhad study area were predicted for 2028. The final obtained results showed that the proposed method with the Kappa coefficient of 54.8 and the overall accuracy of 92% is more accurate than conventional CA techniques.

Key words:. Fuzzy cellular automaton, anticipating, GIS, logistic regression, multilayer perception artificial neural network

Correspondence Address: Civil Engineering, Geospatial Information System University of Ferdowsi Mashhad, Iran
Tel: +989126587129.
Email : R.shad@um.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.93]