

نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ۹، شماره پیاپی ۳۴، پاییز ۱۳۹۷

شاپا چاپی: ۵۲۲۹-۲۲۲۸ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶

<http://jupm.miau.ac.ir>

مدل‌سازی احتمال تغییر رشد شهری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون

لجستیک (مطالعه موردی: شهر مشهد)

فرهاد رستمی گله! کارشناسی ارشد عمران، سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

روزبه شاد: استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مرجان قائمی: استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

یاسمن لهرابی: کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۲۰

صص ۱۸۲-۱۶۹

دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۸

چکیده

در کشورهای در حال توسعه، تمایل زیاد برای تمرکز جمعیت در مناطق شهری و به تبع آن رشد سریع و ناموزون شهرها سبب شده است که طراحان و برنامه‌ریزان شهری، استفاده از سیاست‌ها و راهکارهای مناسب را جهت اجتناب از تأثیرات مخرب زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی در دستور کار قرار دهند. در این راستا، اطلاعات مکانی و زمانی مرتبط با الگوهای نرخ رشد، درک بهتری را از فرآیند رشد شهری فراهم نموده و ابزارهای مناسب را جهت اخذ سیاست‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی در اختیار مدیران شهری قرار می‌دهند. لذا هدف اصلی این پژوهش، محاسبه احتمال تغییر رشد شهر مشهد با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. برای این منظور، جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (سال ۲۰۰۲) و لندست ۸ (سال ۲۰۱۵) استفاده شد. سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (*MLP*)، طبقه‌بندی تصاویر انجام شد و نقشه‌های کاربری اراضی شهری با دقت کلی ۰/۹۴۸ و شاخص کاپای ۰/۹۳۶ برای سال ۲۰۰۲ و همچنین دقت کلی ۰/۸۱۷ و شاخص کاپای ۰/۷۷۵ برای سال ۲۰۱۵ استخراج شدند. در نهایت، با اجرای رگرسیون لجستیک بین نقشه کاربری اراضی شهری سال ۲۰۱۵ (به‌عنوان متغیر وابسته) و فاکتورهای مؤثر از جمله عوامل فیزیکی و عوامل انسانی به‌همراه نقشه اراضی سال ۲۰۰۲ (به‌عنوان متغیرهای مستقل)، نقشه پتانسیلی پیشرفت اراضی شهری تهیه شد. ارزیابی مدل رگرسیونی ایجادشده با استفاده از دو شاخص $Pseudo-R^2$ و ROC نشان داد که این مدل با مقدار ROC معادل ۰/۸۷ و مقدار $Pseudo-R^2$ برابر ۰/۳۴۵ دارای قابلیت بالایی جهت نمایش تغییرات و تعیین مناطق مستعد تغییر می‌باشد و می‌توان برآزش مدل را نسبتاً خوب در نظر گرفت.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی احتمال تغییر رشد شهری، رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، مشهد.

بیان مسأله:

بر اساس سرشماری سازمان ملل متحد، سالانه جمعیت شهری در کشورهای در حال توسعه، از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ به طور متوسط رشدی معادل ۲/۲ درصد خواهد داشت. بنابراین در کشورهای در حال توسعه، جمعیت شهری از ۲/۳ میلیارد نفر در سال ۲۰۰۵ به ۳/۹ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید (United Nations, 2005). رشد سریع شهری مشکلات فراوانی را در حوزه‌های زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی و نظیر آن، به دنبال دارد. تأثیرات زیست محیطی توسعه شهری از لحاظ ارتباط و پیچیدگی باعث عدم توازن در کاربری زمین‌های شهری می‌شوند. همچنین، با افزایش جمعیت و مساحت شهری، سرانه خدمات کاهش یافته و نیاز به زیرساخت‌های اصلی از قبیل شبکه آب، برق، گاز و سرانه کاربری‌های آموزشی و ورزشی، بیش از پیش نمود خواهد یافت. با این وجود افزایش هر دو مقوله جمعیت و مساحت شهر موضوعاتی نیستند که بتوان به راحتی آن‌ها را کنترل نمود. طبق آخرین سرشماری سازمان ملل متحد میزان شهرنشینی در سال ۲۰۳۰ به حدود ۶۰ درصد جمعیت کل جهان خواهد رسید که در نتیجه آن کنترل جمعیت و مساحت در شهرها به معضل بزرگی تبدیل خواهد شد (United Nations, 2005). به همین دلیل در سال‌های اخیر، این مسأله در فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت روند توسعه شهری مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. 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. (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). در این راستا افزایش نرخ رشد جمعیت شهری و مهاجرت روستاییان به شهرها که ثمره تکامل نظام سرمایه‌داری، اشتغال و نیاز به نیروی کار بوده، موجب افزایش تراکم جمعیت در شهرها شده است. به طوریکه مراکز جمعیت شهری کم جمعیت، رفته رفته به کلان شهرهای پر رفت و آمد تبدیل شده‌اند. در دهه گذشته، در طرح‌های توسعه شهری، شهرها و روستاها غالباً بدون توجه به امر حیاتی کاربری بهینه زمین، بر روی اراضی باارزش کشاورزی، دشت‌های غنی و کوهپایه، سواحل دریا و حواشی رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند. روند مذکور اثرات منفی طبیعی، اقتصادی، علمی و فرهنگی را به دنبال داشته است. همچنین این رشد مهاجرت بی رویه و افزایش جمعیت سبب ایجاد مشکلاتی از قبیل افزایش بی‌رویه شهرها و رشد ناموزون آن‌ها شده است. به تبع آن پیامدهایی همچون حاشیه نشینی، نابودی اراضی کشاورزی، عدم پاسخگویی برخی از خدمات و کاربردهای ضروری و مشکلات زیست محیطی را به همراه دارند. به همین دلیل در سال‌های اخیر، نیاز به پرداختن به این مسئله در فرآیند ارزیابی و پایش برنامه‌ریزی شهری و روند توسعه شهری به خوبی احساس می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده، مدل‌سازی الگوهای فضایی شهری می‌تواند دید مناسبی را در مورد اینکه چگونه شهرها تحت شرایط مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیطی توسعه می‌یابند، ایجاد کند (زارعی و آل شیخ، ۱۳۹۱: ۳). افزایش نرخ رشد جمعیت شهری و مهاجرت روستاییان به شهرها، موجب افزایش تراکم جمعیت در شهر مشهد شده است. به طوری که این شهر، رفته رفته به کلان شهری پر رفت و آمد تبدیل شده است. هر دو مقوله افزایش جمعیت و مساحت شهر موضوعاتی غیر قابل کنترل هستند. لذا شناسایی و بررسی وضعیت رشد بخش‌های مختلف شهر مشهد می‌تواند کمک شایان و قابل توجهی به برنامه‌ریزی دقیق‌تر و بهتر برای شهر بیانجامد و این امر می‌تواند از مشکلاتی از قبیل حاشیه‌نشینی، زاغه‌نشینی و وجود محلات نامتعارف در جهت نیل به توسعه پایدار جلوگیری کند. بنابراین با توجه به ضرورت بررسی مسائل و مشکلات ذکر شده، لزوم انجام این تحقیق مطرح می‌شود.

پیشینه پژوهش:

در کشورهای در حال توسعه، تمایل زیاد برای تمرکز جمعیت در مناطق شهری و به تبع آن رشد سریع و ناموزون شهرها سبب گردیده، طراحان و برنامه‌ریزان، سیاست‌های مناسب شهری را جهت اجتناب از تأثیرات مخرب زیست محیطی و اجتماعی - اقتصادی اتخاذ کنند. در این راستا، اطلاعات مکانی و زمانی مرتبط با الگوهای نرخ رشد، درک بهتر فرآیند رشد شهری را میسر نموده و کمک فراوانی را به مدیران شهری جهت اخذ سیاست‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی می‌نماید. لازم به ذکر است که سامانه‌های اطلاعات مکانی، ابزارهای کارآمدی را جهت جمع‌آوری و آنالیز اطلاعات لازم فراهم می‌کنند (آقامحمدی، ۱۳۹۲). از جمله تحقیقات انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از رگرسیون لجستیک، می‌توان به پژوهش هو و لی در سال ۲۰۰۶ در جهت مدل‌سازی رشد شهر آتلانتا (منطقه شهری گرجستان) اشاره نمود (Hu and Li, ۲۰۰۶: ۶۹). علی‌رغم آن‌که رگرسیون لجستیک از پویایی زمانی برخوردار نبوده، اما فضای صریح و مناسبی را برای تجزیه و تحلیل فراهم می‌کند. همچنین رگرسیون اجازه درک عمیق‌تر از نیروهای محرک رشد در فضای شهری را فراهم می‌نماید. از جمله مطالعات صورت گرفته در زمینه شبیه‌سازی شهری می‌توان به تحقیق‌های (Wu, 1998: 107)، (Li et al, 2008: 179)، (Al-kheder et al, 2008: 1282) و (Al-Ahmadi et al, 2009: 84-85) اشاره نمود. همچنین Rafiee و همکاران مطالعه‌ای را به منظور 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. (Munshi et al, 2014: 74) 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 به منظور به تصویر کشیدن اثرات آینده‌ی توسعه‌ی شهری در کنار منطقه بندی‌های حاضر و قوانین کنترل‌کننده توسعه داشته‌اند.

همچنین ایو و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و سامانه اطلاعات مکانی، مدل‌سازی و پیش‌بینی آینده توسعه شهری لاگوس را بررسی نمودند (Eyoh et al, 2012: 61). (Liu et al, 2015: 14-15) با استفاده از یک مدل ترکیبی شامل انواعی مانند رگرسیون لجستیک خودکار (ALR)، زنجیره‌ی مارکوف و اتوماتای سلولی^۲، الگوهای توسعه شهری و خطرات زیست محیطی را ارزیابی کردند. نتایج حاصل از مطالعه مذکور نشان داد که تلفیق رگرسیون لجستیک با اتوماتای سلولی می‌تواند مدل توانمندی را جهت درک بهتر پویایی شهری و خطرات زیست محیطی ایجاد کند. لذا استفاده از روش‌های آماری از جمله رگرسیون لجستیک برخلاف روش آزمون‌وخطا سبب کاهش پیچیدگی مدل و تهیه وزن متغیرها به صورت مستقیم خواهد شد. در نتیجه با توجه به موارد عنوان‌شده و با ترکیب روش‌های مختلف در یک‌روال منطقی، مدلی قدرتمند و ساده به منظور پیش‌بینی رشد افقی شهر مشهد در این پژوهش پیشنهاد می‌گردد.

روش تحقیق:

در این مقاله با استفاده از اطلاعاتی نظیر دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر، دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس و مترو، اثر شیب، فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر، تسهیلات دولتی و تقاضای زمین، میزان احتمال تغییر رشد شهری (در منطقه مورد مطالعه) محاسبه شد. همچنین جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره لندست ۷ (سال ۲۰۰۲) و لندست ۸ (سال ۲۰۱۵) استفاده شد و با اعمال شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه^۳ (MLP)، طبقه‌بندی تصاویر انجام شد و نقشه کاربری

^۱Ayto Logistic Regression

^۲Cellular Automata

^۳Muli-Layer Perceptron

اراضی حاصل شد. در نهایت، به منظور تعیین میزان احتمال رشد شهری، رگرسیون لجستیک پیاده سازی شد. لازم به ذکر است که در این پژوهش، نقشه کاربری اراضی شهری سال ۲۰۱۵ به عنوان متغیر وابسته و فاکتورهای فیزیکی و انسانی به همراه نقشه اراضی سال ۲۰۰۲، به عنوان متغیرهای مستقل به مدل رگرسیون لجستیک معرفی شدند. در این بخش، مفاهیم علمی و پایه‌ای تحقیق شامل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، رگرسیون لجستیک و روش‌های ارزیابی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP): MLP معمولی، شامل لایه ورودی، لایه خروجی و یک یا چند لایه مخفی است. این لایه‌ها با نرون‌های ادراکی، نرون‌های موتور و میان نرون‌های تکورتکس مغز انسان قابل قیاس می‌باشند. در طی آموزش تابع MLP، هر نمونه به لایه ورودی وارد شده و نود دریافت کننده، سیگنال‌های وزن دار تمام نودهای متصل به خود را در لایه بعدی جمع می‌کند.

رگرسیون لجستیک: فرض اساسی در رگرسیون لجستیک آن است که احتمال متغیر وابسته با پیروی از منحنی لجستیک به سمت عدد ۱ (پاسخ مثبت) کشیده می‌شود (Clark and Hosking, 1986: 70-72).

روش‌های ارزیابی: تعیین میزان انطباق مدل با واقعیت، مرحله مهمی در مدل‌سازی است. اعتبارسنجی مدل به مفهوم آن است که نتایج به دست آمده در محدوده قابل قبولی از دقت قرار گیرند.

الف- ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی: از مهم‌ترین فرآیندهایی است که در مرحله پس‌پردازش تصویر اعمال می‌شود. معمول‌ترین روش جهت اعمال این فرآیند، انتخاب نمونه‌های واقعی از کلاس‌ها و مقایسه آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی انجام شده می‌باشد. نتایج این مقایسه اغلب با استفاده از ماتریس خطا^۴ و به صورت دقت کلی^۵ و شاخص کاپا^۶ ارائه می‌شود (Jensen, 1996: ۲۰۳-۲۰۰).

ب- ارزیابی مدل رگرسیونی: ارزیابی مدل رگرسیونی برازش یافته با محاسبه دو شاخص $Pseudo-R^2$ و ROC امکان پذیر است. شاخص $Pseudo-R^2$ بر مبنای قاعده نسبت احتمال، نیکویی برازش در رگرسیون لجستیک را آزمون می‌کند. بنابراین اگر میزان $Pseudo-R^2$ برابر با یک باشد، برازش عالی بوده و اگر معادل با صفر به دست آید، نشان‌دهنده عدم وجود رابطه است (Rossiter and Loza, 2012: 37).

قلمرو پژوهش:

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 قرار گرفته و مرکز استان خراسان رضوی است (شکل شماره ۱). شهر مشهد با ارتفاع متوسط ۹۸۵ متر از سطح دریا، در حوضه آبریز کشف رود و بین رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع شده 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. لذا محاسبه روند رشد شهر مشهد کمک شایانی به برنامه‌ریزان و مدیران شهری ارائه خواهد نمود (Nong and Du, 2011: 64).

^۱Perceptual Neurons

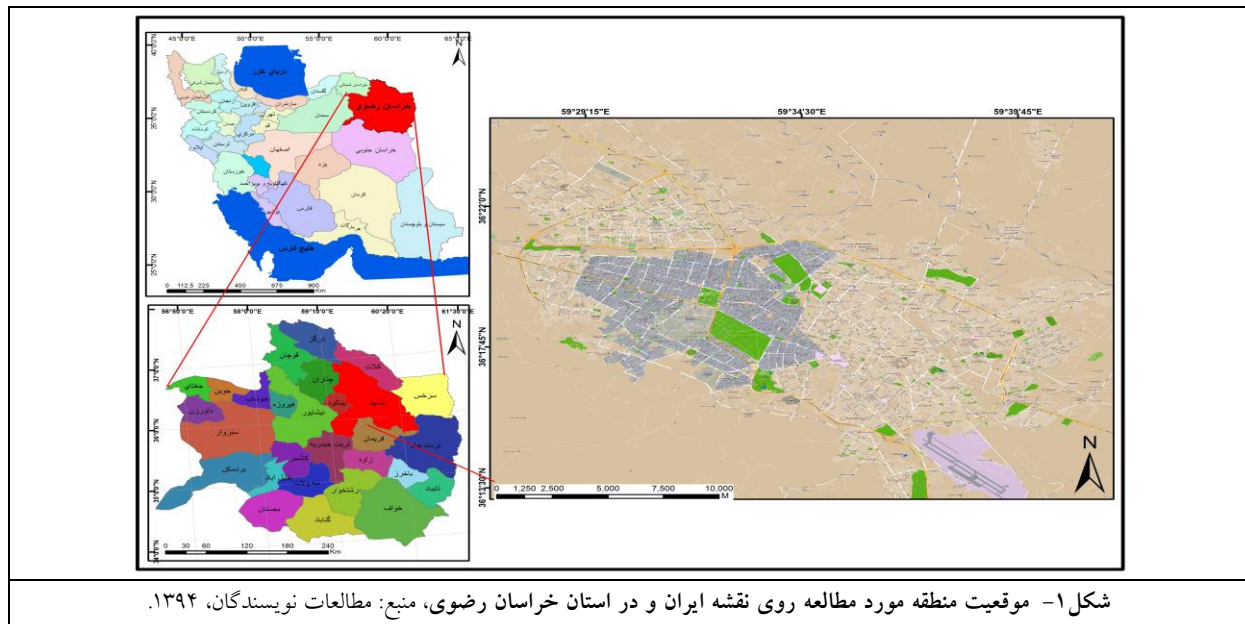
^۲Motor Neurons

^۳Inter Neurons

^۴Error Matrix

^۵Overall Accuracy

^۶Kappa Index



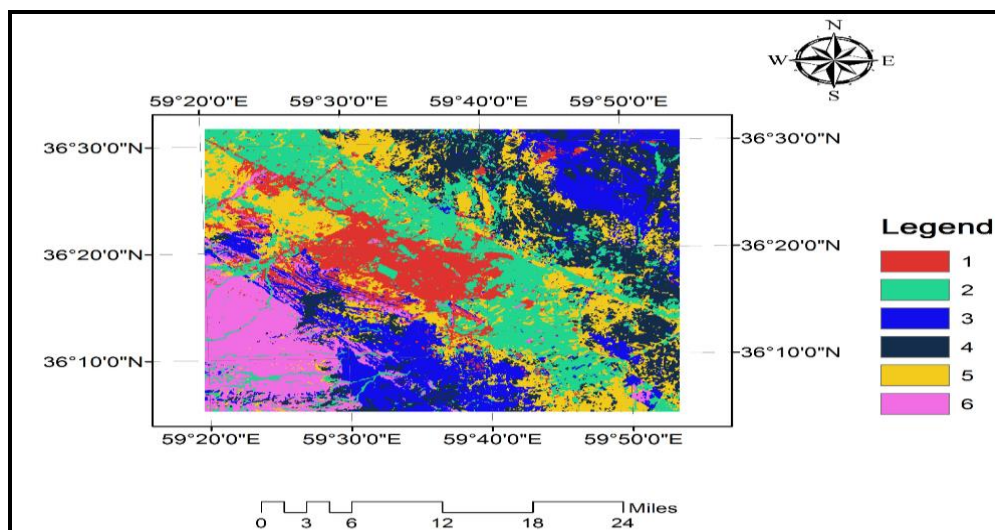
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه روی نقشه ایران و در استان خراسان رضوی، منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۴.

یافته‌های پژوهش و بحث اصلی:

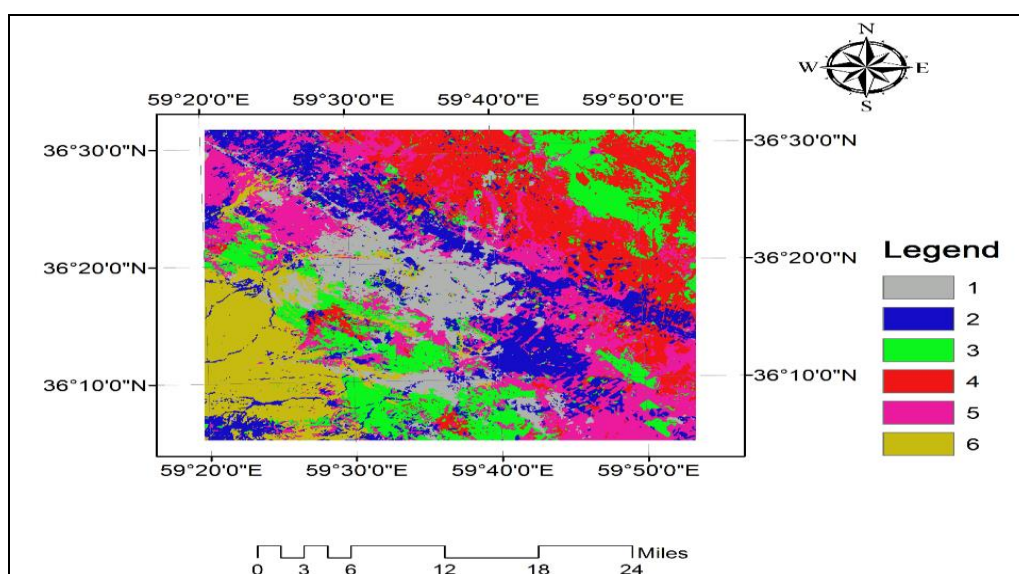
در این قسمت در گام اول در مورد آماده‌سازی عوامل موثر و همچنین تهیه نقشه کاربری اراضی شهری بحث می‌شود. در گام دوم، روند اجرا و پیاده‌سازی رگرسیون لجستیک مورد بحث قرار گرفته و فرآیند اجرای آن تشریح می‌گردد. در نهایت مدل به‌دست آمده، با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مورد صحت‌سنجی قرار می‌گیرد.

آماده‌سازی عوامل مؤثر:

تهیه نقشه کاربری اراضی: در این تحقیق جهت تهیه نقشه‌های پوشش اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (سال ۲۰۰۲) و لندست ۸ (سال ۲۰۱۵) استفاده شد و سپس با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، طبقه‌بندی انجام شد (Sears et al., 1986: 165-167). با توجه به نوع کاربری‌های تعریف شده در این تحقیق (کاربری اراضی انسان‌ساخت، فضای سبز و باغات، مراتع، اراضی کشاورزی و دیم، سنگلاخ و کاربری بایر) از باندهای آبی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه جهت ایجاد ترکیب رنگی استفاده شد. پس از ایجاد ترکیب رنگی کاذب، نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه مطابق با کلاس‌های تعریف‌شده انجام گردید. به این منظور ۳۰۲۰ نمونه تست مطابق با کلاس‌ها برای طبقه‌بندی تصویر سال ۲۰۰۲ و همچنین ۳۰۲۹ نمونه تست برای کلاس‌بندی تصویر سال ۲۰۱۵ جهت آموزش شبکه استخراج شدند. ارزیابی دقت نتایج شبکه از مهم‌ترین فرآیندهایی است که در مرحله آموزش اعمال می‌شود. در فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی از خطای قابل قبول شبکه برای یادگیری (RMS) جهت محاسبه دقت شبکه استفاده می‌شود. برای سال ۲۰۰۲ مقدار ۰/۱۳۶۱ و برای سال ۲۰۱۵ مقدار ۰/۲۱۸۰ به‌دست آمد. مقادیر به‌دست آمده بیان‌کننده دقت بالای شبکه است. با مشخص شدن دقت شبکه و درصد اعتمادپذیری مرحله آموزش شبکه، طبقه‌بندی تصاویر در گام بعدی انجام می‌گیرد. تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۰۲ در شکل (۲) و برای سال ۲۰۱۵ در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ (۱- اراضی انسان ساخت ۲- فضای سبز و باغات ۳- مراتع ۴- اراضی کشاورزی و دیم ۵- اراضی بایر ۶- سنگلاخ)، منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۵.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ (۱- ساخته شده ۲- فضای سبز و باغات ۳- مراتع ۴- اراضی کشاورزی و دیم ۵- اراضی بایر ۶- سنگلاخ)، منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۵.

معمولترین روش جهت اعمال اعتبارسنجی طبقه‌بندی، انتخاب نمونه‌های واقعی از عوارض و کلاس‌ها و مقایسه آن با نتایج طبقه‌بندی انجام شده است. نتایج حاصل از ماتریس خطا و شاخص کاپای به دست آمده برای سال ۲۰۰۲ در جدول (۱) و برای سال ۲۰۱۵ در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر مربوط به سال ۲۰۰۲ نشان می‌دهد که طبقه‌بندی کلاس چهارم (اراضی کشاورزی و دیم) بیشترین میزان خطای کاربر را در طبقه‌بندی داشته، به گونه‌ای که تعداد ۱۷۹۱۵ از ۲۲۳۴۰ به درستی در این کلاس قرار گرفته‌اند. همچنین در تصویر مربوط به سال ۲۰۱۵ نیز کمترین صحت کاربر مربوط به طبقه چهارم (اراضی کشاورزی و دیم) با میزان خطای ۰/۳۴۹۲۲ است. از طرف دیگر مقادیر شاخص کاپا و دقت

کلی به دست آمده در طبقه بندی تصویر سال ۲۰۰۲ بیشتر از تصویر سال ۲۰۱۵ می باشد. این مسئله نشان دهنده انتخاب نمونه های دقیق تر و با صحت بیشتر است.

جدول ۱- ارزیابی طبقه بندی سال ۲۰۰۲

خطای کاربر	کل	کلاس ۶	کلاس ۵	کلاس ۴	کلاس ۳	کلاس ۲	کلاس ۱		
۰/۰۴۲۱۷	۷۰۱۷۳	۷۹۹	۱۰۱۳	۹	۵۹۱	۵۴۷	۶۷۲۱۴	کلاس ۱	
۰/۰۴۸۴۲	۶۱۲۹۶	۲۰۵	۴۲۷	۱۴۴	۶۲۵	۵۸۳۲۶	۱۵۶۷	کلاس ۲	
۰/۰۱۹۱۵	۷۰۷۴۷	۵۰۳	۱۲۲	۳۰۶	۶۹۳۹۲	۱۶۸	۲۵۶	کلاس ۳	
۰/۱۹۸۰۸	۲۲۳۴۰	۱۱	۹۱۷	۱۷۹۱۵	۳۲۱۷	۲۷۸	۲	کلاس ۴	
۰/۰۶۸۵۴	۴۴۲۵۵	۲۸۱	۴۱۲۲۲	۷۶۰	۲۷۸	۷۱۴	۱۰۰۰	کلاس ۵	
۰/۰۲۱۶۲	۳۰۱۶۱	۲۹۵۰۹	۳۷	۰	۳۲۱	۴۷	۲۴۷	کلاس ۶	
	۲۹۸۹۷۲	۳۱۳۰۸	۴۳۷۳۸	۱۹۱۳۴	۷۴۴۲۴	۶۰۰۸۲	۷۰۲۸۶	کل	
		۰/۰۵۷۴۶	۰/۰۵۷۵۲	۰/۰۶۳۷۱	۰/۰۶۷۶۱	۰/۰۲۹۱۹	۰/۰۴۳۱۷	خطای تولید کننده	
دقت کلی: ۰/۹۴۸۵۱۷					شاخص کاپا: ۰/۹۳۶۲۶۱				

منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۶.

جدول ۲- ارزیابی طبقه بندی سال ۲۰۱۵

خطای کاربر	کل	کلاس ۶	کلاس ۵	کلاس ۴	کلاس ۳	کلاس ۲	کلاس ۱		
۰/۱۵۰۶۶	۷۰۱۸۶	۱۵۸	۱۸۵۹	۵	۷۵۱۹	۱۰۳۳	۵۹۶۱۲	کلاس ۱	
۰/۱۴۹	۵۳۱۰۱	۲۱۴	۱۹۱۹	۳۷۲	۱۷۹۶	۴۵۱۸۹	۳۶۱۱	کلاس ۲	
۰/۰۷۸۰۶	۶۵۵۲۹	۳۸۲	۹۰۵	۴۹۸	۶۰۴۱۴	۱۹۰۱	۱۴۲۹	کلاس ۳	
۰/۳۴۹۲۲	۲۲۳۲۷	۰	۴۵۵۷	۱۴۵۳۰	۱۸۱۰	۱۴۲۱	۹	کلاس ۴	
۰/۳۴۲۷۶	۵۲۱۱۵	۱۲۹	۳۴۲۵۲	۳۷۲۹	۲۰۹۴	۹۶۶۹	۲۲۴۲	کلاس ۵	
۰/۱۴۸۰۹	۳۵۷۱۴	۳۰۴۲۵	۲۴۶	۰	۷۹۱	۸۶۹	۳۳۸۳	کلاس ۶	
	۲۹۸۹۷۲	۳۱۳۰۸	۴۳۷۳۸	۱۹۱۳۴	۷۴۴۲۴	۶۰۰۸۲	۷۰۲۸۶	کل	
		۰/۰۲۸۲	۰/۲۱۶۸۸	۰/۲۴۰۶۲	۰/۱۸۸۲۵	۰/۲۴۷۸۸	۰/۱۵۱۸۷	خطای تولید کننده	
دقت کلی: ۰/۸۱۷۵۴۱					شاخص کاپا: ۰/۷۷۵۲۳۲				

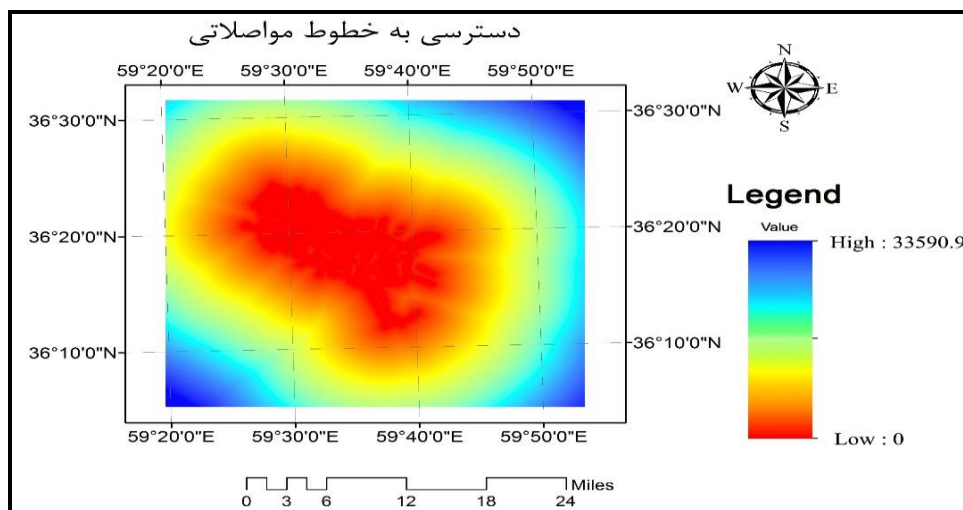
منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۶.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول های بالا، می توان عنوان نمود که دقت کلی ۰/۹۴۸ و شاخص کاپای ۰/۹۳۶ برای سال ۲۰۰۲ و همچنین دقت کلی ۰/۸۱۷ و شاخص کاپای ۰/۷۷۵ برای سال ۲۰۱۵ نشان دهنده توان بالای شبکه عصبی پرسپترون چند لایه جهت طبقه بندی تصاویر است.

آماده سازی عوامل فیزیکی:

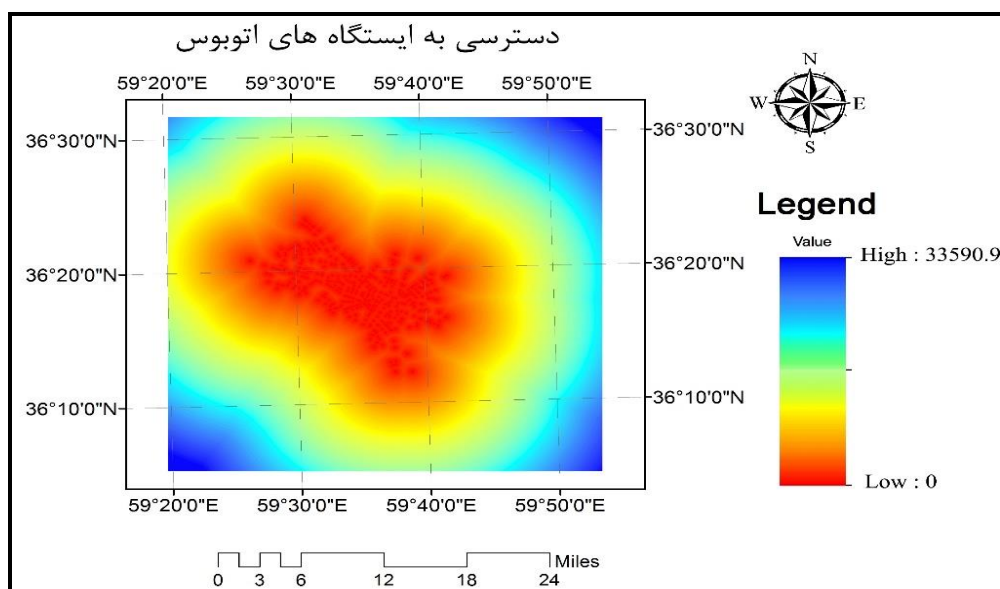
عوامل فیزیکی در نظر گرفته شده شامل دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر، دسترسی به ایستگاه های اتوبوس و مترو و مراکز تجاری اصلی هستند. یک شبکه خطوط مواصلاتی کارآمد، دسترسی به مکان ها را آسان نموده و در نهایت نواحی با دسترسی مناسب، امکان توسعه بیشتری خواهند داشت (AL-Ahmadi, 2009: 93-97). به منظور تهیه فاکتور مذکور، از لایه برداری خطوط مواصلاتی شهر مشهد استفاده شده است. قسمت های نزدیک تر به خطوط ارتباطی، دارای ارزش بیشتری نسبت

به مناطق دورتر می‌باشند. جهت ارزش‌گذاری لایه‌ها از روش فاصله اقلیدسی استفاده شده است. شکل (۴)، نقشه دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر را نشان می‌دهد.

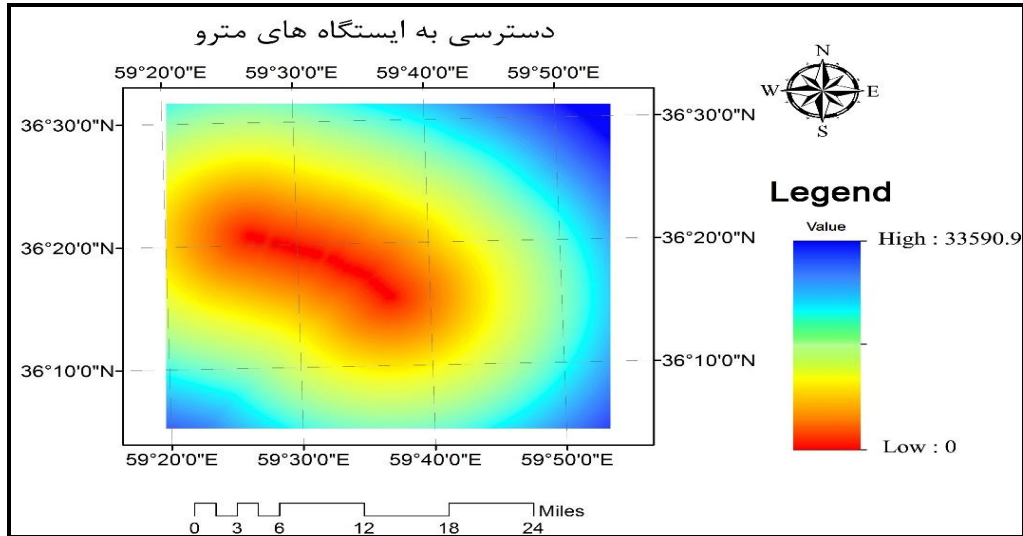


شکل ۴- فاصله اقلیدسی دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر، منبع: مطالعات نویسندگان

از دیگر عوامل تأثیرگذار در رشد شهری، می‌توان به ناوگان حمل و نقل عمومی شهری اشاره نمود. خطوط مسافری مترو و اتوبوس شهری به‌عنوان شاخص‌ترین ناوگان عمومی شهری شناخته می‌شوند. به‌منظور تهیه این فاکتورها، از لایه نقطه‌ای ایستگاه‌های اتوبوس و مترو شهر مشهد استفاده شده است. به این ترتیب که مناطق نزدیک‌تر به ایستگاه‌ها، ارزش بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند. لذا جهت ارزش‌گذاری لایه‌های مذکور از روش فاصله اقلیدسی استفاده شده است. شکل (۵) نقشه فاصله اقلیدسی از ایستگاه‌های اتوبوس و شکل (۶) نقشه فاصله اقلیدسی از ایستگاه‌های مترو را نشان می‌دهند.

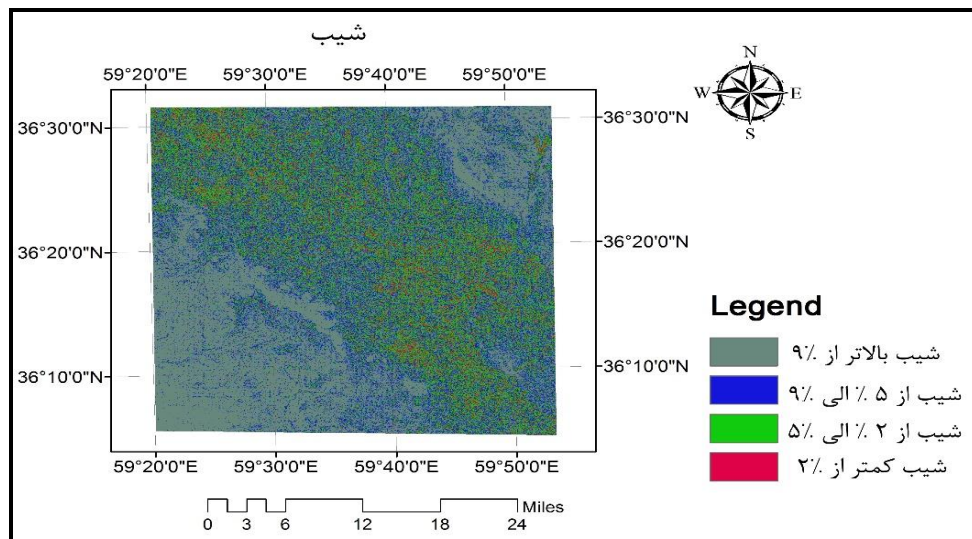


شکل ۵- فاصله اقلیدسی دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس، منبع: مطالعات نویسندگان



شکل ۶- فاصله اقلیدسی دسترسی به ایستگاه های مترو، منبع: مطالعات نویسندگان

یکی از عواملی که در برنامه ریزی های شهری باید به آن توجه داشت، ژئومورفولوژی شهری است که به ساختار زمین-شناسی شهر و پیرامون آن می پردازد. شیب زمین به علت میزان تأثیری که در نوع کاربری زمین و هزینه توسعه دارد از اهمیت زیادی برخوردار است (AL-Ahmadi, 2009: 95). در این تحقیق از فاکتور شیب به عنوان یکی از تأثیرگذارترین عوامل ژئومورفولوژی در رشد شهری استفاده شده است. مقدار صفر تا دو درصد برای شیب زمین در شهرسازی ایده آل است. همچنین شیب تا ۵ درصد ایده آل و شیب بالای نه درصد نامناسب است (شیعه، ۱۳۹۳). بر این اساس، در این پژوهش شیب منطقه مورد مطالعه به چهار دسته کلاسه بندی شده است (شکل ۷).

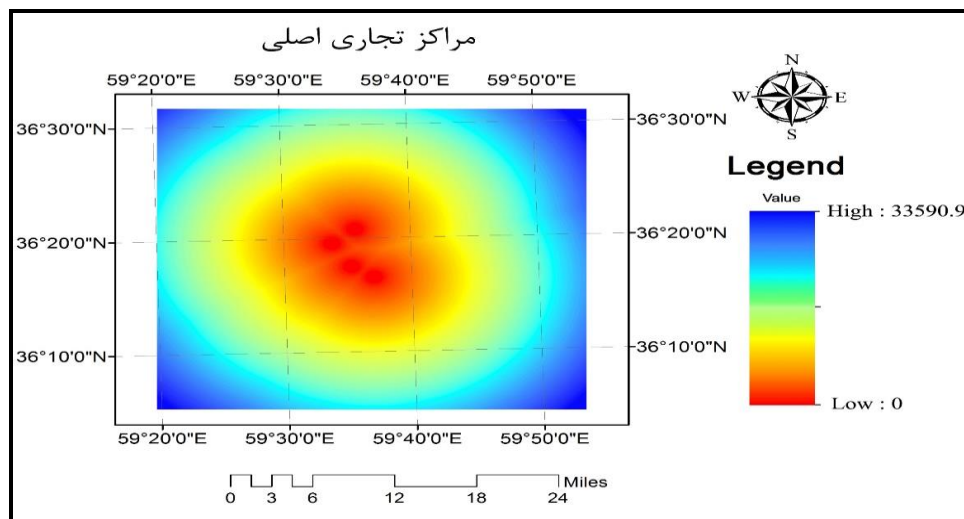


شکل ۷- نقشه شیب (۱- شیب بالاتر از ۹ درصد ۲- شیب بین ۵ الی ۹ درصد ۳- شیب بین ۲ الی ۵ درصد ۴- شیب کمتر از ۲ درصد)،

منبع: مطالعات نویسندگان

از جمله عوامل مهم در زندگی شهری، دسترسی آسان و در کمترین زمان به مراکز خرید شهری است. به این ترتیب مناطق نزدیک تر به مراکز تجاری، ارزش بیشتری نسبت به سایر مناطق خواهند داشت؛ به عبارت دیگر هر چه فاصله از مراکز شهری بیشتر باشد جذابیت توسعه کمتر می شود (AL-Ahmadi, 2009: 94). در این پژوهش مراکز تجاری ۱۷ شهریور، سپاد، محدوده

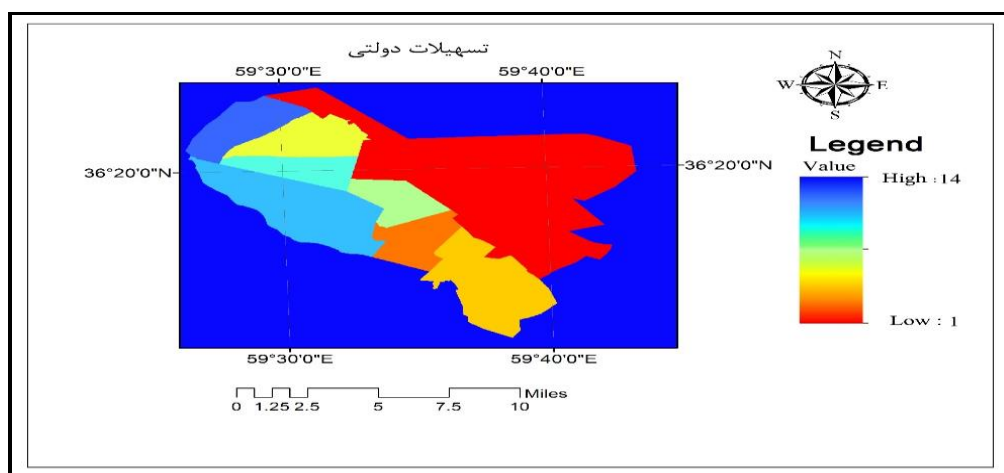
خیابان جانباز و مرکز خرید خیابان دانشگاه به عنوان مهم ترین مراکز تجاری شهر مشهد شناخته می شوند. لذا از فاصله اقلیدسی با حریم متوالی ۵۰۰ متر نسبت به لایه نقطه مراکز مذکور به منظور تعیین میزان فاصله از مراکز تجاری استفاده شده است (شکل ۸).



شکل ۸- نقشه فاصله اقلیدسی از مراکز تجاری اصلی، منبع: مطالعات نویسندگان

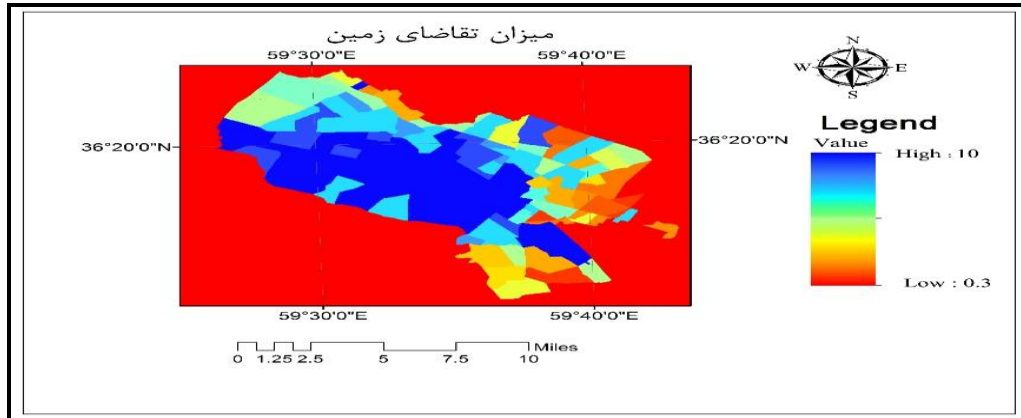
آماده سازی عوامل انسانی:

فاکتورهای انسانی در نظر گرفته شده در پژوهش شامل تسهیلات دولتی و میزان تقاضای زمین هستند. تقاضا و تسهیلات اعطایی دولت، بیشترین نقش را در گسترش فیزیکی شهر دارد. به عبارتی سیاست گذاری های دولتی همیشه در اولویت طرح های توسعه قرار داشتند. لذا در این پژوهش میزان تعلق تسهیلات دولتی مناطق شهر مشهد بر اساس مقایسه نقشه های طرح های تفضیلی شهر و همچنین از مصاحبه با کارشناسان مربوطه به دست آمده است. بر این اساس، مناطق با امتیاز بالاتر به عنوان بیشترین ارزش و مناطق با امتیاز کمتر، کمترین ارزش را دارا هستند (شکل ۹).

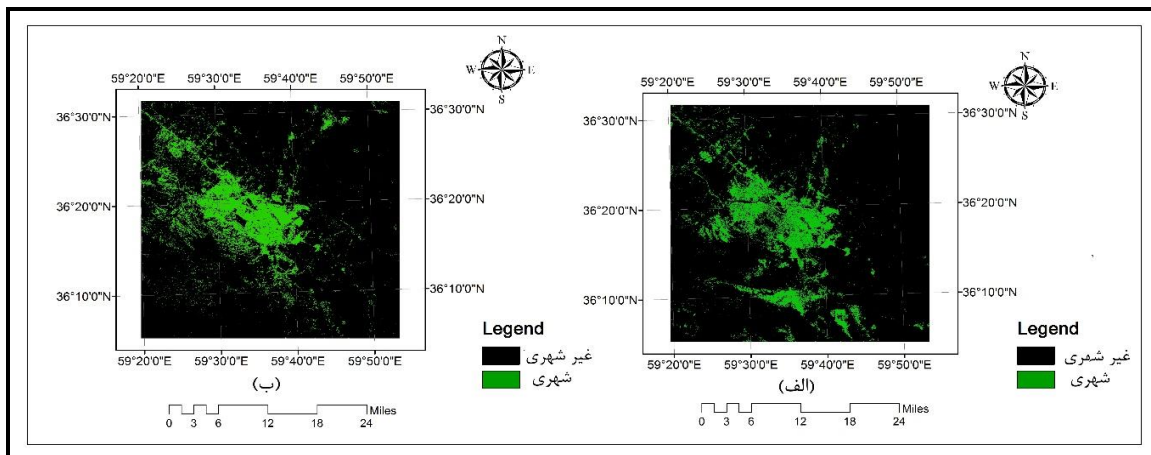


شکل ۹- نقشه تسهیلات دولتی، منبع: مطالعات نویسندگان

جهت تهیه لایه تقاضا، از روش نمونه گیری و پرسشگری استفاده شده است. بدین ترتیب که از هر محله، یک آژانس معاملاتی انتخاب شد و تعداد معاملات انجام یافته در هر محله در چهار ماه اخیر، به عنوان ورودی این لایه جهت ارزش گذاری مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- نقشه میزان تقاضای زمین، منبع: مطالعات نویسندگان



شکل ۱۱- نقشه کاربری اراضی تهیه شده (الف) اراضی سال ۲۰۰۲ و (ب) سال ۲۰۱۵))، منبع: مطالعات نویسندگان

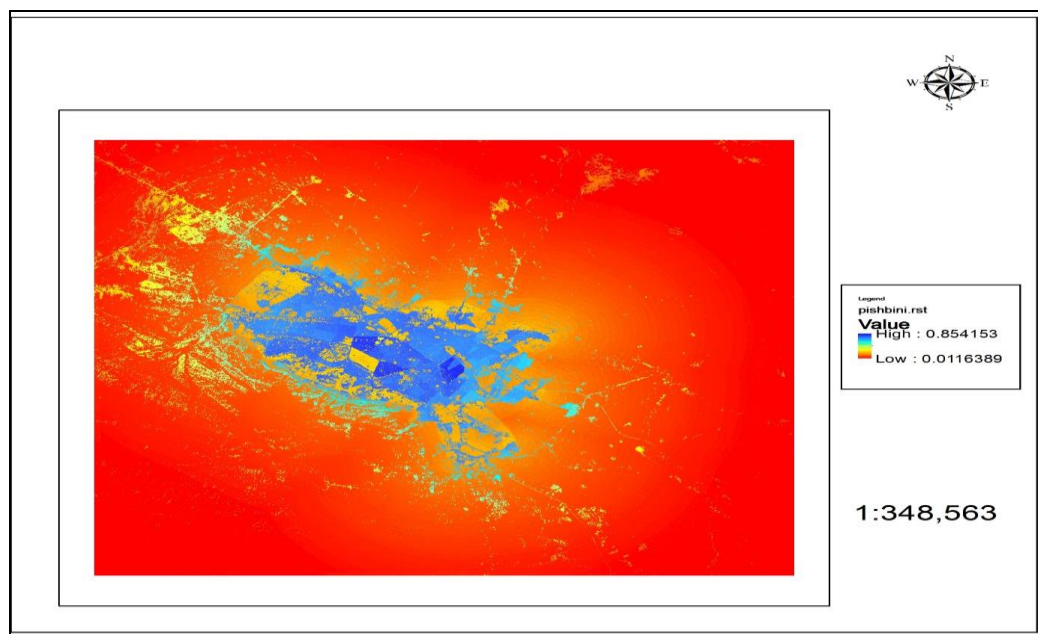
اجرای مدل رگرسیون لجستیک:

در این پژوهش نقشه کاربری اراضی ساخته شده سال ۲۰۱۵ (شکل ۱۱ (ب)) به عنوان متغیر وابسته و همچنین نقشه کاربری اراضی ساخته شده سال ۲۰۱۲ (شکل ۱۱ (الف)) و فاکتورهای انتخاب شده (دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر، دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس، دسترسی به ایستگاه‌های مترو، اثر شیب، فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر، تسهیلات دولتی و میزان تقاضای زمین) به عنوان متغیرهای مستقل به رگرسیون معرفی شدند. با اجرای رگرسیون لجستیک، ضرایب مندرج در جدول ۳ حاصل شد. خروجی مدل، یعنی نقشه رستری احتمال تغییر رشد شهری برای شهر مشهد نیز در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۳- ضرایب به دست آمده از رگرسیون لجستیک

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

منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۶.



شکل ۱۲- نقشه احتمال تغییر اراضی شهر مشهد، منبع: مطالعات نویسندگان

برای ارزیابی مدل از دو شاخص $Pseudo-R^2$ و ROC استفاده شده است. مقدار $Pseudo-R^2$ برابر با ۰/۳۴۵۳ محاسبه شد. بنابراین می‌توان برآزش مدل را نسبتاً خوب در نظر گرفت. میزان شاخص ROC نیز ۰/۸۷۱۸، به‌دست آمد که نزدیکی این عدد به یک حاکی از قابلیت بالای مدل در توصیف تغییرات و تعیین مناطق مستعد تغییر می‌باشد.

نتیجه‌گیری:

از ملزومات تحقیق در زمینه رشد و پیش‌بینی شهری در دسترس بودن نقشه کاربری اراضی می‌باشد. در این پژوهش، جنبه‌ای از رشد فیزیکی شهر مشهد و چشم‌انداز رشد شهری مدنظر بوده است؛ لذا با نگرش جز به کل، عوامل فیزیکی و انسانی موثر در رشد شهری و نقشه کاربری اراضی ساخته شده سال ۲۰۰۲ مطابق با وزن‌های به‌دست آمده از رگرسیون لجستیک در نظر گرفته شدند. مقادیر به‌دست آمده برای دقت کلی و شاخص کاپا برای هر دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ بیانگر توانایی بالای شبکه عصبی پرسپترون جهت طبقه‌بندی تصاویر است. با انجام رگرسیون لجستیک بین نقشه کاربری اراضی شهری سال ۲۰۱۵ به‌عنوان متغیر وابسته (ماهیت شهری- غیر شهری) و نقشه فازی سازی‌شده فاکتورهای دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر، دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس، دسترسی به ایستگاه‌های مترو، اثر شیب، فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر، تسهیلات دولتی و میزان تقاضای زمین و همچنین نقشه اراضی سال ۲۰۰۲ به‌عنوان متغیرهای مستقل جهت تعیین وزن فاکتور-ها انتخاب شدند. با تحلیل ضرایب به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین اهمیت در ارتباط با رشد شهری در مشهد را به‌ترتیب متغیرهای دسترسی به خطوط مواصلاتی شهر، کاربری اراضی انسان‌ساخت سال ۲۰۰۲، میزان تقاضای زمین، تسهیلات دولتی و فاصله از مراکز تجاری اصلی شهر دارند. متغیرهای دسترسی به ایستگاه‌های مترو، دسترسی به ایستگاه‌های اتوبوس و اثر شیب نیز به‌عنوان دیگر عوامل تأثیرگذار شهری شناخته می‌شوند که نتایج حاصل از رگرسیون نشان می‌دهد با متغیر وابسته تعریف‌شده رابطه معکوس دارند. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل و مقایسه آن با نتایج مطالعات گذشته از جمله لی و همکاران در سال ۲۰۰۸، لی و لیو در سال ۲۰۰۶، باردو و همکاران در سال‌های ۲۰۰۳، لی و یه در سال ۲۰۰۴ و وو در سال ۲۰۰۲ که از شاخص‌های مذکور استفاده نموده‌اند، نشان داد که مدل‌سازی در محدوده رضایت بخشی از دقت قرار دارد.

بنابراین با توجه به نتایج حاصل، می‌توان این‌گونه تحلیل نمود که هر چه فاصله از ایستگاه‌های مترو و اتوبوس بیشتر می‌شود رشد شهری افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر تجربیات نشان داده است که ژئومورفولوژی شهری با شیب بالا هزینه ساخت و ساز بالایی دارد. برخلاف معمول که در این مناطق احتمال رشد کمتر است؛ در شهر مشهد درصد رشد بالایی را دارند. نتایج این تحقیق با یافته‌های محققانی از جمله هو و لی در سال ۲۰۰۶ برای مدل‌سازی رشد شهری آتلانتا، یو و کیون گون در سال ۲۰۱۱ برای مدل‌سازی رشد شهری شهرستان جیاپو چین، مونشی و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای پیش‌بینی رشد و توسعه شهر احمدآباد هندوستان، ایو و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای پیش‌بینی رشد شهری لاگوس، لیو و زایونگ در سال ۲۰۱۵ مطابقت دارد. پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- 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 واقع-بینانه‌تر 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.
- 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.
- پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی شاخص‌ها و متغیرهای دیگری هم اضافه شود تا تاثیر آن‌ها نیز در مدل‌سازی برآورد شود. همچنین بهتر است از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالاتر استفاده شود.

منابع و مأخذ:

۱. آقامحمدی، میثم (۱۳۹۱): «مدلسازی توسعه شهری با استفاده از اتوماتای سلولی مبتنی بر منطق فازی با تاکید بر توسعه قوانین انتقال»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
۲. زارعی، رضا و اصغر آل شیخ (زمستان ۱۳۹۱): «مدلسازی توسعه شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز)، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال سوم، شماره یازدهم، صص ۱۶-۱».
۳. شیعه، اسماعیل (۱۳۹۳): مقدمه ای بر مبانی برنامه ریزی شهری، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۲۱۲ ص.
4. Al-Ahmadi, K., See, L., Heppenstall, A., & Hogg, J. (2009): Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia. *Ecological Complexity*, 6(2), 80-101.
5. Al-kheder, S. Wang, J. and Shan, J. (2008): Fuzzy inference guided cellular automata urban-growth modelling using multi-temporal satellite images. *Int. J. Geogr. Inform. Sci.*, 22(11), 1271-1293.
6. Amar.org.ir (1394)
7. Barredo, J., Kasanko, M., McCormic, N & Lavalle, C. (2003): Modelling Dynamic Spatial processes: Simulation of urban feuture scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planing*, 64(10), 145-160.
8. Clark, W. A., Hosking, P. L., & WAV, C. (1986): Statistical methods for geographers, 310(5).
9. Eyoh, A., Olayinka, D. N., Nwilo, P., Okwuashi, O., Isong, M., & Udoudo, D. (2012): Modelling and predicting future urban expansion of lagos, nigeria from remote sensing data using logistic regression and GIS. *International Journal of Applied*, 2(5), 58-71.
10. Hu, Z., & Lo, C. P. (2007): Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers. Environment and Urban Systems*, 31(6), 667-688.

11. Jensen, J. R. (1996): *Thematic information extraction: Image classification. Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*, 197-256.
12. Li, X. & Liu, X. (2006): *An extended cellular automation using case-based reasoning for simulating urban development in a large complex region. International Journal of Geographical Information Science*, 20(10), 1109-1136.
13. Li, X. Yang, Q. and Liu, X. (2008): *Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata. Landscape and Urban Planning*, 86(4), 177-186.
14. Li, X., Yeh, A., (2004): *Modeling Sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. Geographical Information Science*, 14(2), 131-152.
15. Liu, Y., Dai, L., & Xiong, H. (2015): *Simulation of urban expansion patterns by integrating auto-logistic regression, Markov chain and cellular automata models. Journal of Environmental Planning and Management*, 58(6), 13-36.
16. Munshi, Talat, et al. (2014): *Logistic regression and cellular automata-based modelling of retail, commercial and residential development in the city of Ahmedabad. India. 39(8)*, 68-86.
17. Nong, Y., & Du, Q. (2011): *Urban growth pattern modeling using logistic regression. Geospatial Information Science*, 14(1), 62-67.
18. Rossiter, D. G., & Loza, A. (2012): *Analyzing land cover change with logistic regression in R. University of Twente. Faculty of Geo-Information Science & Earth Observation (ITC), Enschede (NL)*, 34-40.
19. Sears, D. O., Huddy, L., & Schaffer, L. G. (1986): *A schematic variant of symbolic politics theory, as applied to racial and gender equality. Political cognition*, 159-202.
20. United Nations, 2014. *Human Development Report*, New York: 10017.
21. Wu, F. M. D. (2002): *Urban expansion simulation of Southeast England using population surface modeling and cellular automata. Environment and Planning*, 23(2), 103-126.
22. Wu, F. W. C. (1998): *Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. Environment and Planning B, Planning and Design*, 23(2), 103-126.