



مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از رویکردهای پیش‌پردازش آماری و مدل پرسپترون چند لایه (نمونه موردی: کلان‌شهر تهران)

پیمان حیدریان*، کارشناس ارشد GIS و سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
کاظم رنگزن، دانشیار گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
سعید ملکی، دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
ایوب تقی‌زاده، مربی گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۷/۷ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۱۷، صص ۹۷-۱۱۸

چکیده

پایداری در توسعه شهری به علت سطوح بالای شهرنشینی تقریباً در کل بخش‌های جهان، به یک موضوع مهم تبدیل شده است. بنابراین برای رسیدن به توسعه پایدار شهری و همچنین تصمیم‌گیری بهتر برای جهت‌دهی توسعه در آینده، بازبینی دائمی فرآیندهای دینامیک شهری با توجه به توسعه در گذشته و پیش‌بینی آن در آینده، اجتناب‌ناپذیر است. هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی و پیش‌بینی توسعه کلان‌شهر تهران با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) و مدل شبکه عصبی مصنوعی (پرسپترون چندلایه (MLP)) با در نظر گرفتن دوره ۱۱ ساله ۱۳۸۵-۱۳۷۴ است. برای این منظور ابتدا، معیارهای موثر در فرآیند توسعه شهری از سازمان‌های مربوط جمع‌آوری، آنالیز و آماده‌سازی شدند و نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های موردنظر از تصاویر ماهواره لندست استخراج شد و با استفاده از داده‌های اتوکد سازمان نقشه‌برداری و نقشه‌های موجود بهبود داده شدند. سپس صحت‌سنجی نقشه‌ها و آشکارسازی تغییرات انجام شد. نتایج آشکارسازی تغییرات با ضریب کاپای ۹۱/۸۵٪ نشان می‌دهد که بیشترین افزایش مساحت در مناطق ساخته شده (۵۸۸۶/۳۸ هکتار) و بیشترین کاهش مساحت در زمین باز (۵۳۲۸/۸۹ هکتار) رخ داده است. بر مبنای این تغییرات و برای اجتناب از روش سعی و خطا در انتخاب بهترین ترکیب معیارهای ورودی به مدل، با استفاده از روش OLS پیش‌پردازشی روی این معیارها صورت گرفت. در مرحله بعد با در نظر گرفتن خروجی روش OLS، ۱۱ متغیر مستقل بعنوان ورودی به مدل انتخاب شدند. سپس مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری برای سال ۱۳۹۶، با استفاده از روش MLP انجام شد و با روش زنجیره مارکف نقشه کاربری اراضی برای سال ۱۳۹۶ پیش‌بینی شد. در نهایت نتایج نشان داد که پیش‌بینی صورت گرفته نسبت به مطالعات گذشته به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر است و بیشترین میزان توسعه در سال ۱۳۹۶ در بخش‌های شرقی، شمال غرب و غرب کلان‌شهر تهران رخ خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، توسعه شهری، پیش‌پردازش آماری، رگرسیون حداقل مربعات، شبکه عصبی، GIS، RS.

مقدمه

بوده‌است. از آن میان تهران به عنوان نخست‌شهر و بزرگ‌ترین شهر ایران گواه این رشد سریع، چه در جمعیت و چه در وسعت در دو دهه گذشته بوده‌است. بیشتر کشورهای دنیا، سیاست‌های برنامه‌ریزی توسعه-یافته‌ای را برای فائق آمدن بر مشکلات ناشی از رشد و توسعه سریع و پراکنده شهری، به کار بسته‌اند. این سیاست‌های برنامه‌ریزی شامل تغییرات یا گرایش‌ها به سمت توسعه و گسترش در آینده با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی شهری است. برای غلبه بر مشکلاتی مانند پراکندگی شهری، در مطالعات گسترش شهری به بررسی و پژوهش در مورد فرم‌های شهری بهتر پرداخته می‌شود تا بتوان به توسعه پایدار محیط شهری کمک کرد (خوش‌گفتار و طالعی، ۱۳۸۹: ۱۸). به این دلیل، مطالعه پدیده رشد و گسترش شهری، با کمک مدل‌سازی‌های مبتنی بر داده‌ها و اطلاعات زمانی و مکانی اهمیت یافته و از انگیزه‌های اولیه برای این پژوهش است.

اهمیت و ضرورت پژوهش

به منظور کاهش اثرات زیان‌بار رشد شهری بر محیط‌زیست و حفظ عملکرد بهینه اکوسیستم، الگوهای زمانی و مکانی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی و عوامل مؤثر بر این تغییرات، بطور قابل‌ملاحظه‌ای در توسعه نسبی سیاست‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مهم هستند (دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹: ۳۹۰). ظهور تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های زمین‌مکانی، بعد جدیدی برای بازبینی و ارزیابی تغییرات پوشش کاربری زمین باز کرده است (توالد و کابرا، ۲۰۱۱: ۲۱۴۹). تکنیک‌های سنجنش از

طبق برآوردها تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به میزان بی‌سابقه بین ۸/۱ تا ۱۰/۶ میلیارد نفر خواهد رسید. بیشترین میزان این رشد جمعیت در آینده در کشورهای در حال توسعه، بویژه کشورهای کمتر توسعه‌یافته اتفاق خواهد افتاد (سازمان ملل متحد، ۲۰۰۸: ۷). این فشار افزایش جمعیت منجر به رشد غیرقابل کنترل، پراکندگی، گسترش افقی مناطق شهری، تغییر سریع در کاربری زمین و افزایش تخریب زیست‌محیطی (دووان و یاماگوچی^۱، ۲۰۰۹: ۳۹۰) می‌شود. این درحالی است که، رشد فضای اشغال شده توسط مناطق شهری در حال افزایش، سریع‌تر از جمعیت آن است و برآورد شده است که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ جمعیت شهری جهان تا ۷۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. در حالی که مناطق ساخته شده ۱۰۰۰۰۰ نفری و بیشتر، می‌تواند تا ۱۷۵ درصد افزایش پیدا کند (توالد و کابرا^۲، ۲۰۱۱: ۲۱۴۹). از اثرات منفی رشد کنترل نشده مناطق شهری، می‌توان به توسعه زمین با برنامه‌ریزی ضعیف و گاهاً بدون برنامه‌ریزی، از دست رفتن زمین‌های مولد در دسترس از جمله زمین‌های کشاورزی، کاهش نفوذ آب، بالا رفتن میزان گازهای گلخانه‌ای، افزایش آلودگی هوا، خسارات جدی به چرخه اکولوژیکی و غیره اشاره کرد (مایثانی^۳، ۲۰۰۹: ۳۶۴).

ایران به عنوان کشوری در حال توسعه، همانند بیشتر کشورهای دنیا، چه از نظر مکانی و چه از نظر جمعیتی با رشد سریعی در شهرهای خود روبرو

1 Dewan & Yamaguchi

2 Tewolde & Cabral

3 Maithani

پیشینه پژوهش

در زمینه مدلسازی رشد شهری و مسائل مرتبط با آن پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است (جوکار ارسنجانی و همکاران، ۲۰۱۲؛ مایتانی، ۲۰۱۰؛ مایتانی، ۲۰۰۹؛ لو و وی^۳، ۲۰۰۹) که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. کامیاب و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و با بکارگیری سه گروه متغیر شامل متغیرهای بیوفیزیکی، اقتصادی-اجتماعی و کاربری زمین به مدلسازی توسعه شهری گرگان پرداخته‌اند. اثر نسبی متغیرها را با بکارگیری حساسیت‌سنجی ROC بدست آورده و متغیرهای ورودی به مدل را از روش حذف یک متغیر انتخاب کرده‌اند. برای اجرای مدل، ده متغیر مؤثر بر توسعه به عنوان نودهای ورودی و متغیر وابسته تغییرات شهری به عنوان نود خروجی با تعداد تکرار ۳۰۰۰ بکار گرفته‌اند و در نهایت عنوان کرده‌اند که نوع کاربری منطقه تأثیر زیادی بر توسعه شهری گرگان دارد. ملکی و احمدی (۱۳۸۹) در کتاب توسعه فضایی-کالبدی شهر ایلام به بررسی و ارزیابی توسعه کالبدی در سطح این شهر پرداخته‌اند، و توسعه کالبدی این شهر را ناشی از عوامل مهم مهاجرت روستائیان، رشد جمعیت، جنگ تحمیلی، بورس بازی زمینی و عامل زمین شهری دانسته‌اند که این عوامل باعث عدم تعادل کاربری‌های شهری و خدمات رسانی در این شهر شده‌اند. توالد و کابرال (۲۰۱۱) پراکندگی شهری شهر Asmara پایتخت اریتره را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ابزارهای زمین مکانی و مدل‌های پرسپترون چند لایه و زنجیره مارکف آنالیز و

دور و دسترسی آزاد به منابع داده‌ای تصاویر ماهواره‌ای ارزان و تکرارپذیر، تا حد زیادی پتانسیل بازبینی رشد شهری، پویایی کاربری زمین شهری، آنالیز چشم‌انداز و شهرنشینی را افزایش داده است (مایتانی، ۲۰۰۹: ۳۶۴). برای ارائه کارایی بیشتر در تشخیص تغییرات کاربری اراضی، سنجش از راه دور اغلب با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب می‌شود. تکنولوژی GIS برای ایجاد، ذخیره‌سازی، تجزیه و تحلیل و مدیریت داده‌های مکانی و زمانی در ارتباط با ویژگی‌های آن‌ها است (لانگلی^۱ و همکاران، ۲۰۰۵) و با استفاده از آن، به طور فنی امکان ترکیب حجم بزرگ داده‌های جمع‌آوری شده توسط افراد مختلف برای اهداف گوناگون امکان‌پذیر است (ماسر^۲، ۲۰۰۱: ۵۰۵). همچنین GIS یکی از بهترین ابزارهای برنامه‌ریزی طرح‌های ساختاری-راهبردی است زیرا سیستمی است که امکاناتی نظیر بهترین گزینه‌ها، شبیه‌سازی و مدلسازی را در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار می‌دهد (مختاری، ۱۳۸۵: ۶). بنابراین، در مواجهه با اثرات منفی رشد شهری، برنامه‌ریزان شهری نیاز فوری به توسعه مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری دارند. زیرا این مدل‌ها نه تنها درک درستی از روند رشد و توسعه شهرها ارائه می‌دهند، بلکه سناریوهای متعدد رشد بالقوه یک منطقه شهری در آینده را فراهم می‌سازند، و این نوع اطلاعات برای تنظیم رشد و توسعه شهری و برنامه‌ریزی مناسب، برای مناطق قابل شهری شدن در آینده بسیار مفید است (مایتانی، ۲۰۱۰: ۳۶).

1 Longley

2 Masser

مبانی نظری پژوهش

برای مدل‌سازی الگوهای مکانی تغییرات کاربری زمین دو رویکرد رایج وجود دارد: (۱) مدل‌های رگرسیون مبنای (۲) مدل‌هایی که بر پایه انتقال مکانی هستند. اولین مدل، رابطه بین دامنه گسترده‌ای از متغیرهای مستقل، پیش‌بینی کننده و تغییرات مشاهده شده در کاربری اراضی را شکل می‌دهد. سپس با استفاده از این متغیرها، محل تغییرات آینده در چشم‌انداز تخمین زده می‌شود (پیجانوسکی^۱ و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۹۹). مدل‌هایی که بر مبنای انتقال‌های مکانی هستند تکنیک‌های احتمالی را پوشش می‌دهند که اساس کار آنها، روش سلول‌های خودکار^۲ و زنجیره مارکوف^۳ است (پانتیوس و مالانسون^۴، ۲۰۰۵: ۲۴۴). این مدل‌ها بطور واضح فرض می‌کنند که نواحی نزدیک، بر احتمال انتقال ناحیه یا سلول اصلی اثر می‌گذارند (الفان^۵، ۲۰۰۳: ۵۷۵). از آنجا که رشد شهری یک پدیده پیچیده است و در آن تعدادی از متغیرها با هم تعامل غیرخطی دارند، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل کردن توسعه و رشد شهری کاملاً منطقی است (آتکینسون و تاتنال^۶، ۱۹۹۷: ۷۰۰). شبکه عصبی مصنوعی مستقل از توزیع آماری داده‌ها است و متغیرهای آماری ویژه نیاز نیستند. بنابراین این ویژگی امکان ترکیب داده‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی را تسهیل می‌کند. علاوه بر این،

مدل‌سازی کرده‌اند، و به این نتیجه رسیدند که مناطق ساخته شده تا سال ۲۰۰۹ سه برابر شده و در دو دهه گذشته (از ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۹) این شهر رشد افقی سریعی را تجربه کرده است و باعث از بین رفتن زمین‌های ارزشمند برای کشاورزی و کشت شده و پراکندگی ظاهری ناهماهنگی را موجب شده است. در نهایت با پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۰ عنوان کردند که مناطق ساخته شده ۱۴۸۴ هکتار افزایش پیدا خواهد کرد و این نشان می‌دهد که سیستم تخصیص زمین در Asmara، طرح کاربری اراضی را نادیده می‌گیرد و باعث از دست رفتن هرچه بیشتر زمین‌های کشاورزی و قابل کشت می‌شود. همچنین پارک و همکاران (۲۰۱۱) با مقایسه نقشه‌های مطلوبیت زمین ایجاد شده با استفاده از GIS، نسبت فراوانی (FR)، AHP، رگرسیون لجستیک (LR) و ANN اقدام به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهری کره جنوبی کردند. این محققین عوامل ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از جاده و مناطق مسکونی، نسبت جاده، کاربری اراضی، امتیاز زیست‌محیطی و محدودیت‌های قانونی را به عنوان پیش‌بینی کننده‌های تغییرات کاربری اراضی بکار بردند. در نهایت با انجام آنالیزهای عامل مشخصه نسبی (ROC)، کاپا و دقت کلی برای بدست آوردن معنی‌داری و همبستگی بین نقشه‌های مطلوبیت زمین به این نتیجه رسیدند که نسبت فراوانی (FR)، AHP، رگرسیون لجستیک (LR) و ANN نقشه‌های مطلوبیت زمین مشابهی را برای کره جنوبی ایجاد کرده‌اند.

1 Pijanowski

2 Cellular Automata (CA)

3 Markov Chain (MC)

4 Pontius & Malanson

5 Alphan

6 Atkinson & Tatnall

منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران در موقعیت جغرافیایی $4^{\circ} 51'$ تا $36^{\circ} 51'$ طول شرقی و $34^{\circ} 35'$ تا $49^{\circ} 35'$ عرض شمالی واقع شده است. پایتخت ۲۲۰ ساله کشور در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز (با متوسط ارتفاع ۱۱۹۰ متر از سطح دریا) قرار گرفته است. مساحت آن ۵۹۴ کیلومتر (مناطق ۲۲ گانه مصوب شورای شهر) که با حریم قریب ۲۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت و ۸ میلیون نفر (به همراه شهرهای اقماری آن قریب ۱۲ میلیون نفر) جمعیت دارد. دمای میانگین تهران بین ۷- تا $39,4^{\circ}$ درجه (میانگین ماهانه حداکثر ۲۷ و حداقل $0,1^{\circ}$ درجه) و بارندگی سالانه ۳۱۶ میلیمتر است. براساس مرجع آماری سالنامه سال ۱۳۸۵، قریب ۱۱ درصد جمعیت کشور، ۲۴ درصد جمعیت با تحصیلات عالی کشور، ۲۶ درصد تولید ناخالص ملی، ۱۴ درصد بودجه عمرانی کشور، $26/5$ درصد بودجه جاری دولت، ۳۸ درصد امکانات فرهنگی و آموزشی و ۲۶ درصد امکانات درمانی در این کلان‌شهر تمرکز یافته است (معصومی، ۱۳۹۰: ۷۸) (شکل ۱).

تجزیه و تحلیل دقت، حتی با گروه داده آموزشی اندک از منطقه امکان‌پذیر است، زیرا محاسبات پیکسل‌مبنا هستند (پارک^۱ و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۰۵). انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی بروز شامل پرسپترون چند لایه، توابع پایه شعاعی^۲، شبکه‌های خود سازمان-ده و مانند این‌ها به طور گسترده‌ای در مدل‌سازی پدیده‌های غیرخطی استفاده می‌شوند (وانگ و لی، ۲۰۱۱: ۱۱۲).

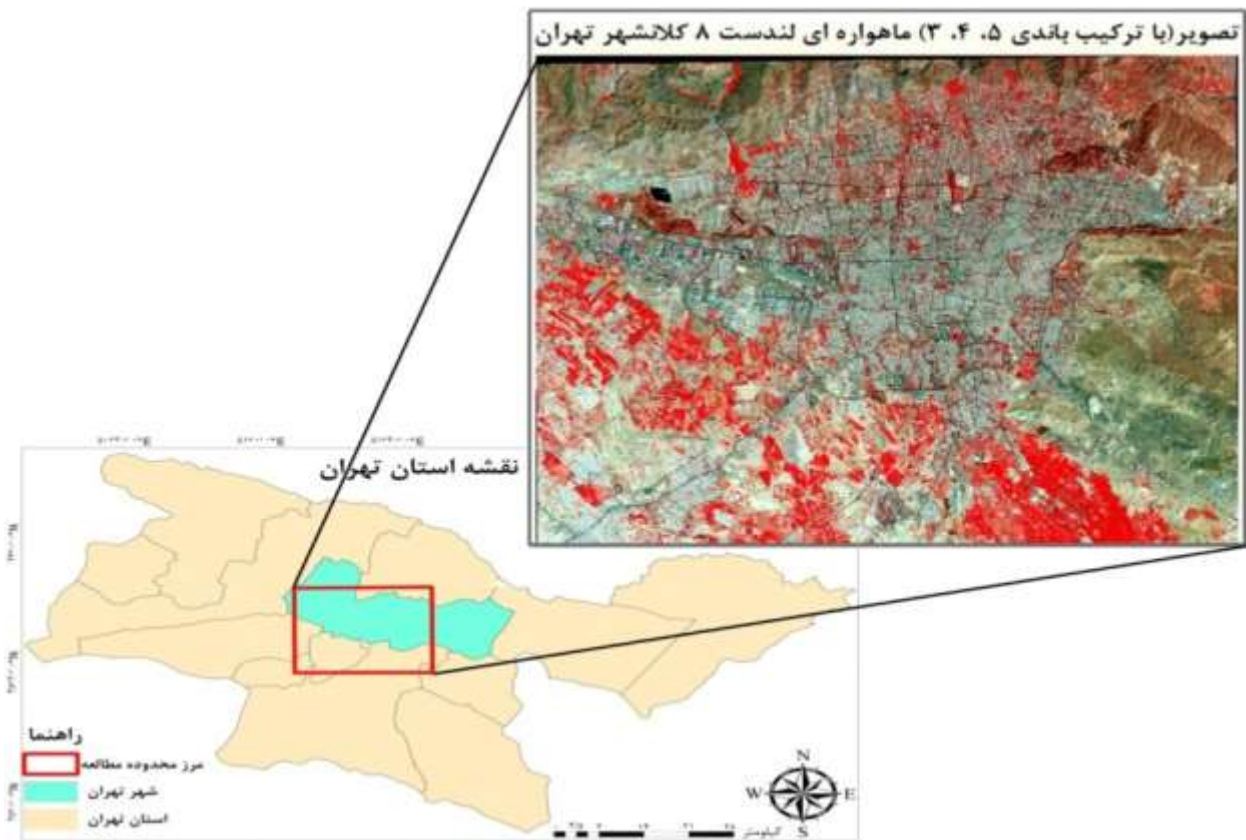
اهداف پژوهش

مطالعه حاضر دو هدف را دنبال می‌کند: یکی مدل‌سازی توسعه کلان‌شهر تهران و پیش‌بینی تغییرات آن برای چشم‌انداز سال ۱۳۹۶، و دیگری ارائه روشی مناسب و پیشنهادی (روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)) به منظور ترکیب با مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) برای پیش‌پردازش پارامترهای ورودی به مدل مذکور و انتخاب ترکیب مناسب از میان آن‌ها است. زیرا انتخاب ترکیب مناسب از پارامترهای ورودی یکی از فرآیندهای پیچیده در مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی است (قبائی سوق و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۱۲) و با وجود پژوهش‌های زیاد برای مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از روش‌های هوشمند، همچنان مسائل مبهمی از قبیل ترتیب اهمیت و تعداد داده‌های ورودی مورد نیاز در این زمینه وجود دارد.

1 Park

2 Radial Basis Functions (RBF)

3 Wang & Li

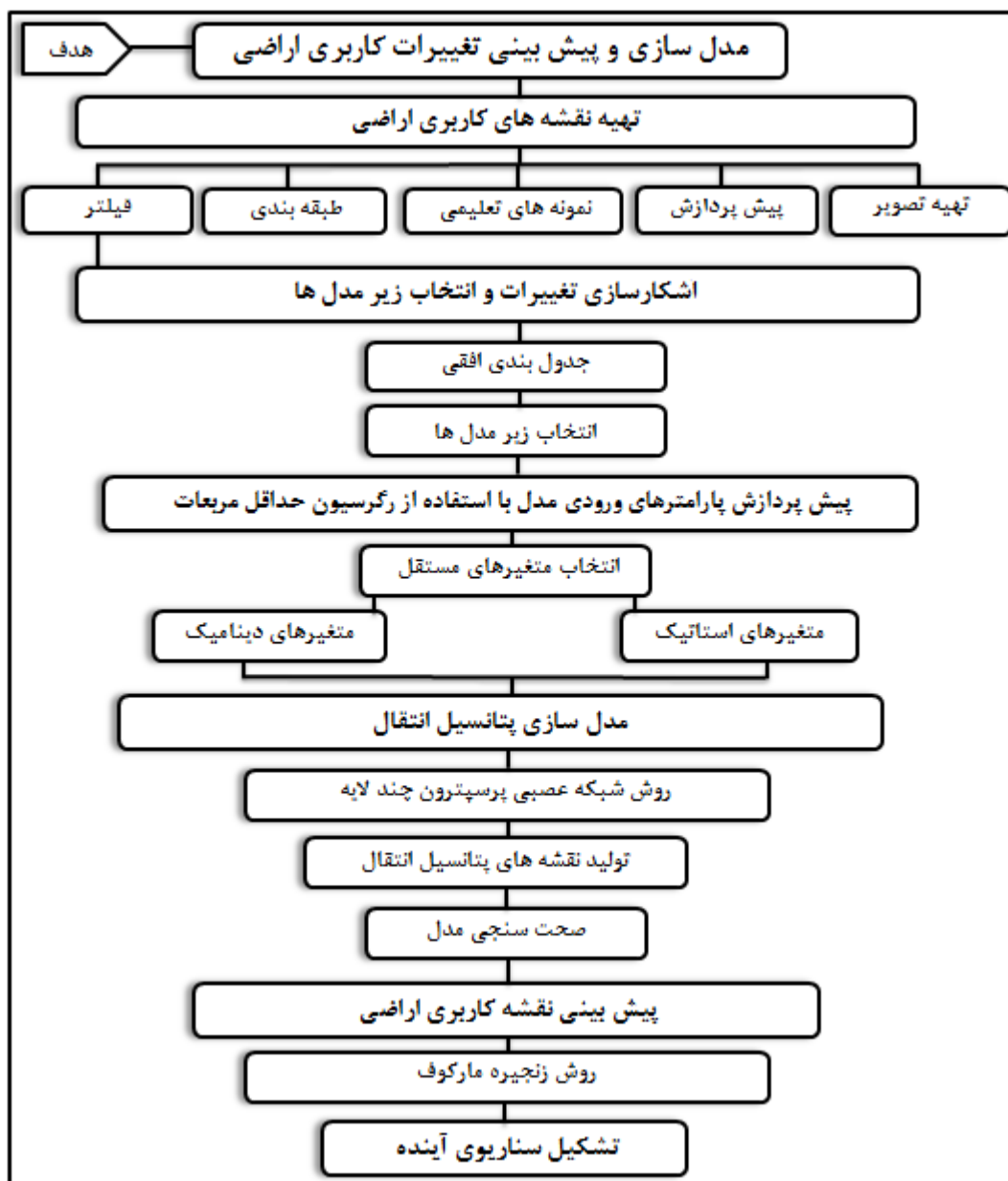


شکل (۱) محدوده مورد مطالعه

مدل و انتخاب متغیرهای مستقل، مدل‌سازی پتانسیل
تبدیل کاربری و پیش‌بینی سناریوی آینده است
(شکل ۲).

روش پژوهش

الگوی بررسی پژوهش به ترتیب شامل؛ تهیه
نقشه‌های کاربری زمین، آشکارسازی تغییرات و
انتخاب زیرمدل‌ها، پیش‌پردازش پارامترهای ورودی به



شکل (۲) فلوچارت فرآیند مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

تهیه نقشه کاربری اراضی

از جمله راه‌های استخراج اطلاعات کاربری اراضی از داده‌های سنجش از دور، تفسیر بصری و رقومی‌سازی دستی قطعات است. با این حال، تفسیر بصری به یک باند یا در نهایت یک ترکیب رنگی محدود می‌شود و رقومی‌سازی دستی نیز بشدت

خسته کننده و برگرفته از نظرات شخصی است. بنابراین، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فرآیند طبقه‌بندی تصاویر مناسب‌ترین راه برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی است (روزنستین و کارنیلی^۱، ۲۰۱۱: ۵۳۳). طبقه‌بندی تصویر یک فرآیند پیچیده است و

1 Rozenstein, & Karnieli

نیاز به در نظر گرفتن عوامل زیادی دارد. مراحل کلی طبقه‌بندی تصویر شامل ۱- تعیین یک سیستم طبقه‌بندی مناسب، ۲- پردازش، ۳- انتخاب نمونه‌های آموزشی، ۴- انتخاب مناسب روش‌های طبقه‌بندی و پردازش پس از طبقه‌بندی و ۵- ارزیابی دقت و صحت است (لو و ونگ^۱، ۲۰۰۷: ۸۲۵). ارزیابی دقت طبقه‌بندی به طور کلی شامل سه جزو اصلی است: روش‌های نمونه‌برداری، روش مقایسه نمونه‌ها با داده‌های واقعی، برآورد و تجزیه و تحلیل. یکی از روش‌هایی که بطور گسترده‌ای در ارزیابی دقت استفاده می‌شود ماتریس خطا است. به منظور درستی ایجاد ماتریس خطا، باید عوامل زیر را در نظر گرفت: ۱- جمع‌آوری داده‌ها مرجع، ۲- طبقه‌بندی، ۳- روش‌های نمونه‌برداری، ۴- واحد همبستگی فضایی و ۵- حجم و واحد نمونه. پس از تولید ماتریس خطا، سایر عناصر مهم ارزیابی دقت و صحت، از جمله دقت کلی، سرعت و دقت کاربر، سرعت و دقت تولید کننده و ضریب کاپا^۲ را می‌توان بدست آورد (ساتیر و بربرگلو^۳، ۲۰۱۲: ۳۴).

آشکارسازی تغییرات و انتخاب زیرمدل‌ها

روش‌های متعدد آشکارسازی تغییرات برای ارزیابی تغییرات کاربری زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ارائه شده است (دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹: ۳۹۱؛ کاپین^۴ و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۵۶۶). با این وجود، انتخاب روش و الگوریتم برای ارزیابی و کشف این تغییرات به دلیل تأثیر در نتیجه

آشکارسازی، اقدامی مهم و اساسی است؛ زیرا که روش انتخاب شده جهت ارزیابی و کشف تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در نتایج به دست آمده و تفسیر و تحلیل آن‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد (ریعی و همکاران، ۱۳۸۳: ۴۲). برای این منظور از تکنیک‌های مقایسه پیش طبقه‌بندی و پس طبقه‌بندی بطور گسترده‌ای استفاده شده است (سینگ^۵، ۱۹۸۹: ۹۸۹؛ دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹: ۳۹۱). در رویکرد پیش طبقه‌بندی، روش‌هایی از قبیل تفاضل تصویر^۶ (شجاعیان، ۱۳۸۳: ۳۵)، نسبت بانندی^۷ (دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹: ۳۹۱)، آنالیز تغییر بردار^۸ (جانسون و کاسیسچک^۹، ۱۹۹۸: ۴۱۲)، طبقه‌بندی چند زمانی مستقیم، تفاضل شاخص پوشش گیاهی^{۱۰} (تاون شند و جاستیک^{۱۱}، ۱۹۹۵: ۲۱۸۸) و آنالیز مؤلفه‌های اصلی^{۱۲} (لی و یه^{۱۳}، ۱۹۹۸: ۱۵۰۱؛ هارتر^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۳۶) توسعه داده شده‌اند. فرض اساسی در این روش‌ها این است که تغییرات کاربری زمین، در نتیجه تفاوت‌های مقادیر بازتاب پیکسل‌ها بین تاریخ‌های مورد نظر است. با این حال، در حالی که این روش‌ها در مکان‌یابی تغییر کارا هستند، اما نمی‌توانند ماهیت تغییر را شناسایی کنند (رید و لیو^{۱۵}، ۱۹۹۸: ۹۶). در حالت عکس، مقایسات پس طبقه‌بندی، تغییرات زمانی را بطور مستقلی بین داده‌های پوشش اراضی

5 Singh

6 Image Differencing

7 Band Ratio

8 Change Vector Analysis

9 Johnson & Kasischke

10 Vegetation Index Differencing

11 Townshend & Justice

12 Principal Component Analysis

13 Li & Yeh

14 Hartter

15 Ridd & Liu

1 Lu & Weng

2 Overall Kappa

3 Satir, & Berberoglu

4 Coppin

سوق و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۱۲). به طور کلی ویژگی مهمی که در ورودی‌های شبکه عصبی باید وجود داشته باشد این است که متغیرها نباید همبستگی زیادی با هم داشته باشند، زیرا متغیرهای همبسته ممکن است عملکرد پیش‌بینی را تضعیف کنند. دلیل این امر رابطه متقابل متغیرها با هم و ایجاد تورش است (ژانگ، ۲۰۰۳: ۱۰۵). متغیرهای همبسته، اطلاعات مشابهی برای تعیین متغیر خروجی ارائه می‌دهند که این خود باعث گمراهی شبکه شده و نمی‌داند که از کدام یک داده‌های ورودی استفاده کند به عبارت دیگر، ممکن است شبکه از مسیر اصلی خود منحرف شده و یا دچار بیش‌برازش^۶ شود (هوانگ^۷ و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۰۹). در این پژوهش برای پیاده‌سازی MLP از مدل تغییر کاربری زمین^۸ استفاده می‌شود که در آن متغیرهای مستقل برای انجام مدل‌سازی، با ارزیابی از طریق ضریب همبستگی کرامر^۹ انتخاب می‌شوند. این ضریب همبستگی متغیرهای مستقل را در یک زمان با طبقه‌بندی موضوعی نقشه کاربری اراضی مقایسه می‌کند (استمن^{۱۰}، ۲۰۰۶). ضریب همبستگی کرامر که نشان‌دهنده ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی است، مطابق با فرمول زیر محاسبه می‌شود (پیستوکی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۰).

طبقه‌بندی شده بررسی می‌کنند (دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹: ۳۹۱). با وجود مشکلات مربوط به مقایسه‌های پس طبقه‌بندی، این روش بطور گسترده‌ای برای شناسایی تغییرات کاربری زمین (لو^۱ و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۳۶۸) بویژه در محیط‌های شهری استفاده می‌شود (جنسن و کاوان^۲، ۱۹۹۹: ۶۱۱). با این حال، یکی از معایب این رویکرد دقت و صحت نقشه‌های حاصل از تغییرات کاربری زمین است که بستگی به دقت طبقه‌بندی موردنظر دارد (یوان^۳ و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۱۸). یکی از روش‌های آشکارسازی پس از طبقه‌بندی، جدول‌بندی افقی است. این تغییرات که بین دو سال اتفاق می‌افتد شناسایی می‌شوند و به عنوان یک زیرمدل در نظر گرفته می‌شوند. برای انتخاب زیرمدل‌هایی که بالاترین صحت را داشته باشند، لازم است که مدل با چند سناریو مختلف اجرا شود (پرز و گاک^۴ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲).

پیش‌پردازش پارامترهای ورودی به مدل و انتخاب متغیرهای مستقل

شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) معمولاً از چندین لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی تشکیل می‌شود. لایه‌های ورودی اطلاعات بیرونی را وارد مدل می‌کنند (ژانگ^۵ و همکاران، ۱۹۹۸: ۳۸). بنابراین، انتخاب تعداد و ترکیب مناسب از پارامترهای ورودی یکی از مهمترین مراحل ساخت و طراحی مدل‌سازی ریاضی و هوشمند است (قبائی

6 Over Fit

7 Huang

8 Land change Modeler

9 Cramer's V

10 Eastman

11 Pistocchi

1 Lu

2 Jensen & Cowen

3 Yuan

4 Pérez Vega

5 Zhang

رابطه (۱)

$$X^2 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=1}^n \frac{(T_{ij} - T_{ij}^*)^2}{T_{ij}^*}$$

رابطه (۲)

$$T_{ij}^* = \frac{(T_j * T_i)}{T}$$

رابطه (۳)

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{T * M}}$$

X^2 : آماره کای اسکور است. T: تعداد کل پیکسل‌ها، T_i : تعداد پیکسل‌ها در طبقه i نقشه ۱، T_j : تعداد پیکسل‌ها در طبقه j نقشه ۲، m و n به ترتیب تعداد طبقات در نقشه ۱ و ۲، M حداقل یا کمینه (n-1, m-1) هستند. در بعضی موارد لازم است با چندین ترکیب از متغیرهای کمی امتحان شود تا مطلوب‌ترین انطباق بین آنها و انتقال بدست آید (استمن، ۲۰۰۶). بنابراین، برای اجتناب از روش سعی و خطا در انتخاب متغیرهای مؤثر می‌توان از روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی استفاده کرد. رگرسیون حداقل مربعات معمولی یک رگرسیون جهانی (Global) است که با استفاده از فرمول زیر شرح داده می‌شود؛

رابطه (۴)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

در رابطه فوق، Y متغیر وابسته، X متغیرهای مستقل، β ضرایب متغیرهای مستقل در تشریح متغیر وابسته و ε میزان خطا یا بخشی از متغیر وابسته که توسط متغیرهای مستقل شرح داده نمی‌شود (استون و بروکس^۱، ۱۹۹۰: ۲۳۹). این روش در کنار روش

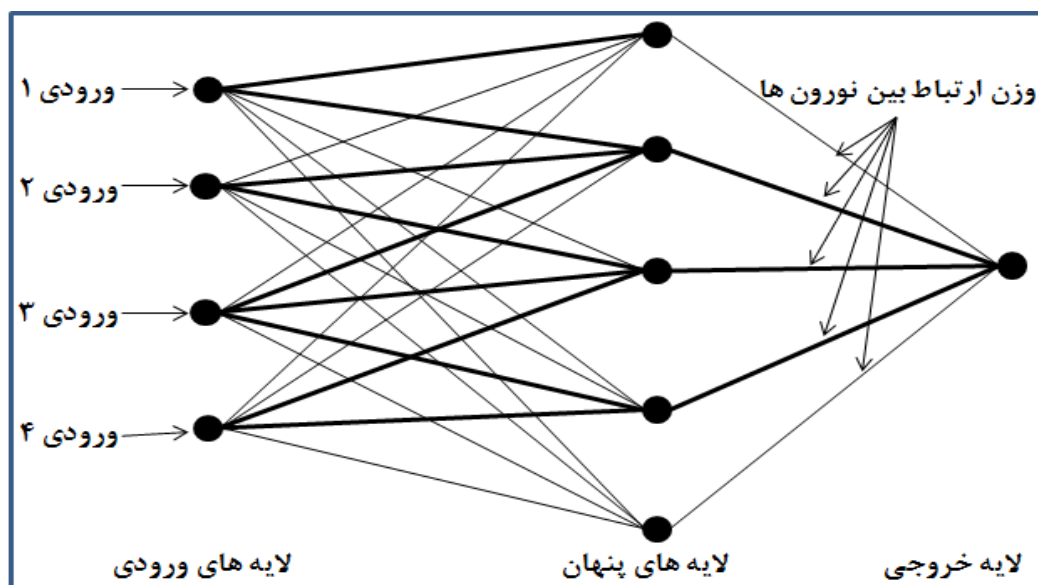
رگرسیون گام به گام و گاما تست (قبائی سوق و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۱۲) از جمله روش‌هایی است که می‌توان از آن برای پیش‌پردازش متغیرهای مستقل ورودی به شبکه عصبی استفاده کرد و تعداد پیش‌بینی‌کننده‌ها را تا یک مجموعه کوچک با اجزاء ناهمبسته کاهش داد (فراهانی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۵۹).

مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری و صحت‌سنجی آن

مدل‌ساز تغییر کاربری زمین تجزیه و تحلیل کاملی از تغییرات زمین با ایجاد نقشه-های تغییرات کاربری، نمودار، انتقال طبقه کاربری و روند آن‌ها را فراهم می‌کند. همچنین، قادر به ایجاد سناریوهای تغییر اراضی با ادغام عوامل زیستی، فیزیکی و اجتماعی و اقتصادی است که در تغییر کاربری اراضی تأثیرگذار هستند (ماس و فلورس^۲، ۲۰۰۸). بعد از انتخاب زیرمدل‌ها و بر اساس متغیرهای مستقل انتخاب شده، مدل‌سازی احتمال وقوع تبدیل هر کاربری از طریق شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه انجام می‌شود. به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر پتانسیل دارد (غلامعلی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۳) و در نهایت نقشه‌های پتانسیل تبدیل کاربری ایجاد می‌شود. شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، اولین بار توسط روزن بلات در سال ۱۹۸۵ طراحی شدند (قبائی سوق و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۱۳). MLP شامل یک مجموعه‌ای از واحدهای ورودی (لایه ورودی)، یک یا چند مجموعه از گره‌های محاسبه (لایه‌های پنهان) و یک مجموعه‌ای

هستند که به عنوان مجموعه‌ای از وزن‌ها استفاده می‌شوند (مایتانی، ۲۰۰۹: ۳۶۵) (شکل ۳).

از گره‌های محاسبه / خروجی (لایه خروجی) است. گره‌ها توسط شبکه‌ای از اتصالات با هم در ارتباط



شکل (۳) ساختار شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) (مایتانی، ۲۰۰۹: ۳۶۵)

۱۴۷). در این مطالعه برای بررسی و ارزیابی صحت مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری با روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه از خطای آموزش و خطای تست استفاده می‌شود.

پیش‌بینی سناریوهای آینده

خروجی‌های مرحله مدل‌سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی‌های مرحله پیش‌بینی تغییرات بکار می‌روند. بعد از مشخص کردن زمان نهایی (سال ۱۳۹۶)، با استفاده از آنالیز زنجیره مارکف یا تعیین ماتریس احتمال انتقال از یک مدل خارجی (مانند مدل اقتصاد سنجی)، مقدار تغییر در هر انتقال مدل‌سازی می‌شود. آنالیز زنجیره مارکف فرآیندی است که در آن حالت یک سیستم در زمان دوم با استفاده از حالت

آموزش این شبکه توسط الگوریتم "پس از انتشار" انجام می‌شود که شامل گسترش خطا از لایه خروجی به لایه‌های ورودی تکراری به منظور اصلاح مقادیر وزن است. قابلیت MLP برای یادگیری و تعمیم بستگی به معماری آن (تعداد لایه‌های مخفی و گره) و پارامترهای آموزش (نرخ یادگیری، سرعت، و تعداد تکرارها در مورد یادگیری الگوریتم پس از انتشار) دارد. شبکه‌هایی که بیش از حد کوچک باشند نمی‌توانند ساختار داخلی داده‌ها را شناسایی کنند و در نتیجه دقت طبقه‌بندی را کاهش می‌دهند. شبکه‌هایی که بیش از حد بزرگ هستند به احتمال زیاد باعث افزونگی داده‌های آموزش می‌شود (بیشاپ^۱، ۱۹۹۵:

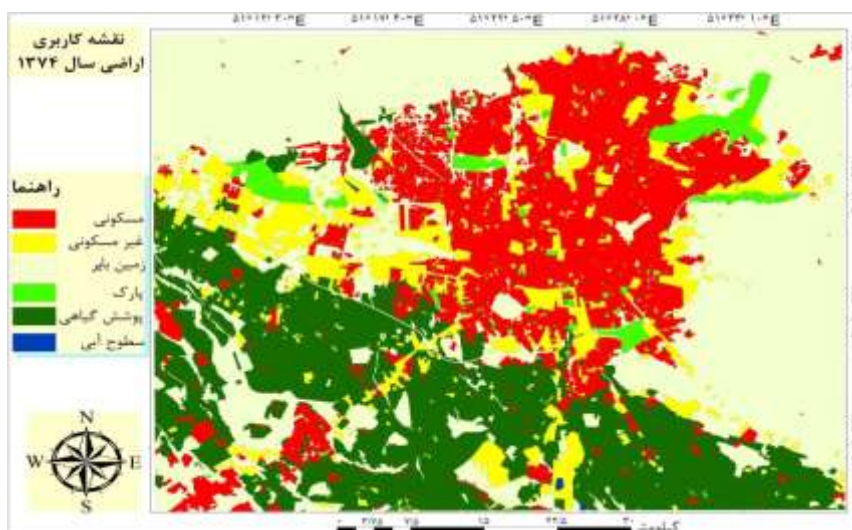
سیستم در زمان اول پیش‌بینی می‌شود و ماتریس احتمال‌های انتقال از هر کلاس پوشش به هر کلاس پوشش دیگر را ارائه می‌دهد. بطور کلی دو مدل پایه برای پیش‌بینی تغییرات وجود دارد؛ مدل پیش‌بینی سخت و مدل پیش‌بینی نرم. مدل پیش‌بینی سخت بر مبنای مدل تخصیص زمین رقابتی و شبیه‌فرآیند تصمیم‌گیری چند هدفه است و مدل پیش‌بینی نرم یک نقشه آسیب‌پذیری تغییر برای انتخاب مجموعه انتقال‌ها تولید می‌کند (استمن، ۲۰۰۶، ۲۴۵). در مطالعه حاضر پیش‌بینی تغییرات با استفاده از آنالیز زنجیره مارکوف و مدل پیش‌بینی سخت انجام می‌شود.

یافته‌ها

۱- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

یکی از مسائل چالش برانگیز در مطالعه الگوهای ناهمگون رشد شهری، مسأله داده است (لیو و وی، ۲۰۰۹: ۵۲). چون جمع‌آوری داده در سطح ناحیه‌ای و محلی در ایران خیلی محدود است و داده‌های کمکی (داده‌های رقوم) در این زمینه برای سال‌های گذشته بسیار ناچیز است، بنابراین برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه یک دوره ۱۱ ساله (۱۳۸۵-۱۳۷۴) لحاظ شد. داده‌های کاربری اراضی در این پژوهش طی دو مرحله از تصاویر ماهواره لندست ۵ سنجنده TM (۱۳۷۴/۰۵/۲۵) و

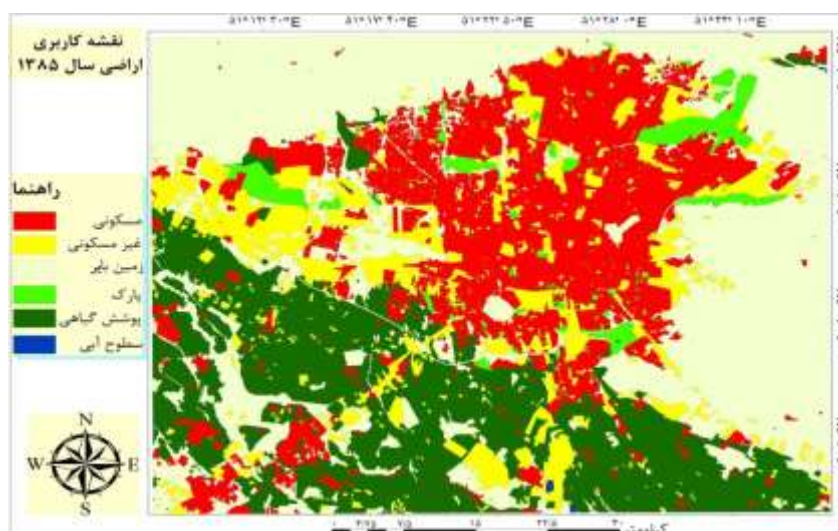
لندست 7 سنجنده ETM⁺ (۱۳۸۵/۰۶/۳۰) بدست آورده شد. ابتدا، با توجه به اینکه داده‌های اخذ شده از ماهواره لندست تصحیح هندسی شده‌اند لذا با انجام تصحیح رادیومتریک و پیش‌پردازش‌های اولیه، تصاویر ماهواره‌ای در دو نرم‌افزار ENVI 5 و IDRISI 16.3 طبقه‌بندی گردیدند. نرم‌افزار IDRISI با ترکیب دو شاخص AVI و MNF و با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال دقت بالاتری را در طبقه‌بندی حاصل کرد. در نهایت نقشه‌های طبقه‌بندی شده (در چهار نوع کاربری شامل؛ مناطق ساخته شده، زمین بایر، کشاورزی، و سطوح آبی) با استفاده از نقاط کنترل زمینی صحت‌سنجی شدند و ضریب کاپای ۰/۷۶۵ برای هر نقشه بدست آمد. در مرحله بعد، با استفاده از داده‌های اتوکد (مقیاس ۲۰۰۰) سال ۱۳۷۴ سازمان نقشه برداری و نقشه‌های کاربری رقوم (مقیاس ۲۰۰۰) سال ۱۳۸۵ موجود، نقشه‌های حاصل از مرحله اول بهبود داده شد و در شش کاربری شامل: مسکونی، غیر مسکونی، زمین بایر، کشاورزی، پارک و سطوح آبی طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های حاصل از مرحله دوم با استفاده از نقاط کنترل زمینی ارزیابی صحت شدند و ضریب کاپای ۰/۸۸۵ برای هر نقشه به دست آمد (شکل ۴ و ۵).



شکل (۴) نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۴

تغییرات در سطوح آبی (با ۴۲/۳۵ هکتار افزایش) و پارک‌ها (با ۶۴۸/۰۴ هکتار افزایش) و بیشترین تغییرات به ترتیب در مناطق زمین بایر (با ۵۳۲۸/۸۹ هکتار کاهش)، غیر مسکونی (با ۳۲۳۹/۴۶ هکتار افزایش)، مسکونی (با ۲۶۴۶/۹۲ هکتار افزایش) و کشاورزی (با ۱۱۹۳/۸۸ هکتار کاهش) رخ داده است (جدول ۲).

۲- آشکارسازی تغییرات و انتخاب زیرمدل‌ها همان‌طور که در بالا ذکر شد راه‌های مختلفی برای آشکارسازی تغییرات وجود دارد. در این پژوهش به منظور آشکارسازی تغییرات از روش جدول‌بندی افقی استفاده شد و ضریب کاپا برای آشکارسازی تغییرات ۹۱/۵۸٪ و همچنین ضریب همبستگی کرامر معادل ۹۱/۵۳٪ بدست آمد. ارزیابی تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۵ نشان داد که کمترین



شکل (۵) نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۵

با توجه به هدف مطالعه حاضر، ارزیابی تغییرات مناطق شهری (مسکونی و غیرمسکونی) ایجاب بیشتری دارد. همان‌طور که ذکر شد مناطق غیرمسکونی و مسکونی بیشترین افزایش مساحت را در این دوره ۱۱ ساله داشته‌اند و در مقابل از مساحت آنها مقداری کاسته شده است. مناطق غیرمسکونی در این دوره معادل ۵۲۳/۸ هکتار به کاربری‌های دیگر تبدیل شده است، که بیشترین میزان آن با ۴۲/۲۳٪ به مسکونی و کمترین میزان آن با ۰/۴۲٪ به سطوح آبی بوده و همچنین معادل ۳۷۶۴/۵۲ هکتار از کاربری‌های

دیگر به آن تبدیل شده که بیشترین مقدار آن با ۶۹/۵۷٪ از زمین بایر و کمترین مقدار آن با ۰/۰۲٪ از سطوح آبی بوده است. مناطق مسکونی طی دوره مذکور معادل ۶۱۷/۸۵ هکتار به کاربری‌های دیگر تبدیل شده است، که بیشترین میزان آن با ۴۳/۱۶٪ به غیر مسکونی و کمترین میزان آن با ۰/۰۱٪ به سطوح آبی بوده و همچنین معادل ۳۲۵۹/۲۶ هکتار از کاربری‌های دیگر به آن تبدیل شده که بیشترین مقدار آن با ۶۹/۶۹٪ از زمین بایر و کمترین مقدار آن با ۱/۰۲٪ از پارک بوده است (جدول ۱).

جدول (۱) جدول‌بندی افقی بین نقشه‌های کاربری ۱۳۷۴ (عمودی) و ۱۳۸۵ (افقی)

مجموع	سطوح آبی	پارک	کشاورزی	زمین بایر	غیرمسکونی	مسکونی	
۳۸۲۷۱/۶	۰	۳۳/۳	۷۳۳/۳۲	۲۲۷۱/۴۲	۲۲۱/۲۲	۳۵۰۱۲/۳۴	مسکونی
۲۰۴۵۱/۹۶	۰/۸۱	۸/۶۴	۸۶۹/۲۲	۲۶۱۹/۱۸	۱۶۶۸۷/۴۴	۲۶۶/۶۷	غیرمسکونی
۶۱۸۰۶/۸۷	۰	۳۰/۰۶	۸۸۴/۰۷	۶۰۶۱۴/۵۵	۱۲۱/۳۲	۱۵۶/۸۷	زمین بایر
۳۸۱۹۵/۶۴	۲/۴۳	۸/۶۴	۳۶۸۲۸/۴۵	۱۱۶۶/۷۶	۵۶/۷۹	۱۳۲/۵۷	کشاورزی
۵۳۹۳/۹۷	۰/۹۹	۴۶۵۷/۶۸	۷۰/۸۳	۴۸۰/۶	۱۲۲/۲۲	۶۱/۶۵	پارک
۱۶۱/۳۷	۱۱۵/۸۳	۶/۲۱	۹/۲۷	۲۷/۷۲	۲/۲۵	۰/۰۹	سطوح آبی
۱۶۴۲۸۱/۴۱	۱۲۰/۰۶	۴۷۴۴/۵۳	۳۹۳۹۵/۱۶	۶۷۱۸۰/۲۳	۱۷۲۱۱/۲۴	۳۵۶۳۰/۱۹	مجموع

بعد از انجام آشکارسازی تغییرات و ارزیابی آن، با توجه به نتایج آشکارسازی، زیرمدل‌هایی که بیشترین تغییرات را نشان می‌دادند انتخاب شدند، که عبارتند از؛ کشاورزی به مسکونی، کشاورزی به غیر

مسکونی، مسکونی به غیر مسکونی، زمین بایر به مسکونی، زمین بایر به غیر مسکونی و زمین بایر به پارک.

جدول (۲) مساحت کاربری‌ها در سال ۱۳۷۴ و ۱۳۸۵

سطوح آبی	پارک	کشاورزی	زمین بایر	غیر مسکونی	مسکونی	
۱۲۰/۰۶	۴۷۴۴/۵۳	۳۹۳۹۵/۱۶	۶۷۱۸۰/۲۳	۱۷۲۱۱/۲۴	۳۵۶۳۰/۱۹	مساحت در سال ۱۳۷۴
۱۶۱/۳۷	۵۳۹۳/۹۷	۳۸۱۹۵/۶۴	۶۱۸۰۶/۸۷	۲۰۴۵۱/۹۶	۳۸۲۷۱/۶	مساحت در سال ۱۳۸۵

۳- پیش‌پردازش متغیرهای مستقل ورودی به مدل و انتخاب آن‌ها
بعد از آشکار سازی تغییرات و انتخاب زیر مدل‌ها، به منظور اجتناب از روش سعی و خطا برای انتخاب ترکیب مناسب متغیرهای مستقل ورودی از روش رگرسیون حداقل مربعات (OLS) استفاده شد. نتایج پیاده‌سازی OLS نشان داد که با توجه به مقدار R^2 که ۰/۵۴۵ بدست آمد، بدرستی انجام شده است و همه متغیرهای مستقل ورودی در نظر گرفته شده معنی‌دار هستند زیرا مقدار احتمال آنها کمتر از ۰/۰۵ و مقدار آماره t بیشتر از $1/96 \pm$ شده است. اما با توجه به مقادیر عامل تورم واریانس (VIF) متغیرهای فاصله از شبکه زهکشی و فاصله از تک ساختمان‌ها برای این

هدف مناسب نیستند. زیرا زمانی که مقدار VIF بالاتر از ۷/۵ باشد به این معنی است که یک یا چند متغیر شرح یکسانی از متغیر وابسته دارند و باید حذف شوند چون باعث افزونگی داده و بالطبع ایجاد چندهم‌خطی می‌شود (فراهانی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۵۹). بنابراین از میان ۱۳ متغیر در نظر گرفته شده ۱۱ متغیر با توجه به نتایج OLS برای ورود به مدل انتخاب شدند و از این میان متغیر شیب و فاصله از مناطق مسکونی بیشترین تأثیرگذاری و متغیر فاصله از مناطق کشاورزی و فاصله از سطوح آبی کمترین تأثیرگذاری را داشتند (جدول ۳). این نتایج با ضرایب کرامر مدل LCM همخوانی داشتند و دو متغیر حذف شده در روش OLS کمترین مقدار را داشتند.

جدول (۳) نتایج اجرای روش OLS و متغیرهای مستقل انتخاب شده

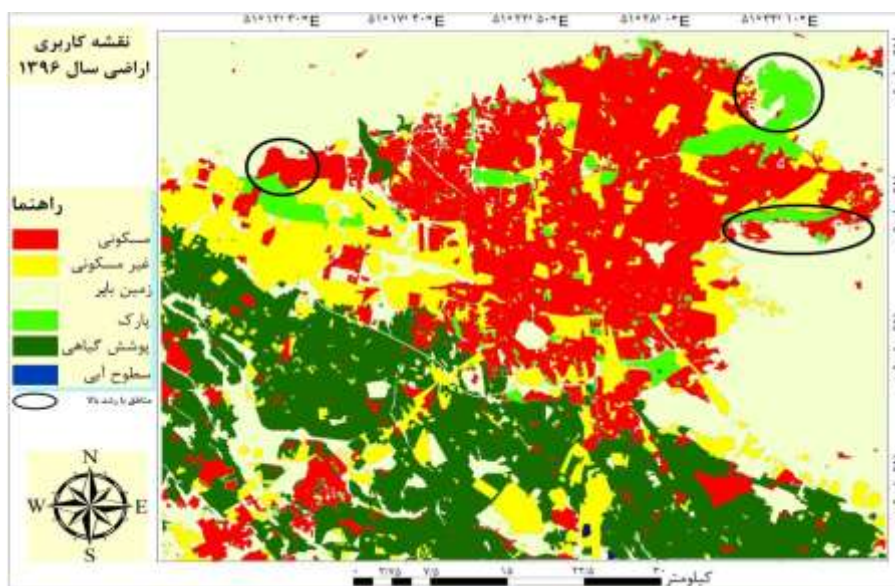
متغیر	ضریب	خطای معیار	آماره t	احتمال	عامل تورم واریانس (VIF)
عرض از مبدا	۰/۰۷۶۲۰۵	۰/۰۰۱۷۲۱	۴۴/۲۸۷	۰/۰۰۰۰۰۰*	-----
تراکم جمعیت	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۰	۶۹۳/۷۷۶	۰/۰۰۰۰۰۰*	۱/۵۳۷
فاصله از نقاط روستایی	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۰۰	۳۵۸/۵۱۱	۰/۰۰۰۰۰۰*	۲/۷۲۰
فاصله از سطوح آبی	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۰	۵۶/۷۸۰	۰/۰۰۰۰۰۰*	۶/۷۵۹
فاصله از مناطق کشاورزی	-۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۰	-۶۴/۲۸۱	۰/۰۰۰۰۰۰*	۲/۶۰۵
فاصله از شبکه زهکشی	۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۰۰	۱۳۸/۰۹۶	۰/۰۰۰۰۰۰*	۸/۵۵۶
فاصله از مناطق غیر مسکونی	۰/۰۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۰۰	۱۴۵/۰۹۴	۰/۰۰۰۰۰۰*	۳/۰۰۴
فاصله از مناطق زمین بایر	۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۰۰	۱۴۱/۹۹۲	۰/۰۰۰۰۰۰*	۱/۳۱۹
فاصله از پارکهای عمومی	-۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۰	-۱۰۴/۹۸۶	۰/۰۰۰۰۰۰*	۵/۳۸۹
فاصله از مناطق مسکونی	-۰/۰۰۰۰۹۷	۰/۰۰۰۰۰۰	-۳۰۸/۸۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰*	۲/۴۵۱
فاصله از شبکه حمل و نقل	-۰/۰۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۲۰/۷۸۵	۰/۰۰۰۰۰۰*	۲/۳۷۴
DEM	-۰/۰۰۰۰۳۰	۰/۰۰۰۰۰۲	-۱۷/۸۹۲	۰/۰۰۰۰۰۰*	۶/۵۵۴
شیب	-۰/۰۰۰۲۳۱۴	۰/۰۰۰۰۲۳	-۱۰۰/۲۹۹	۰/۰۰۰۰۰۰*	۲/۵۴۴
فاصله از تک ساختمان‌ها	-۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۰۰	-۸۵/۰۸۵	۰/۰۰۰۰۰۰*	۱۸/۱۳۹

۴- مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری و صحت‌سنجی آن

با توجه به زیرمدل‌ها و متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده، نقشه‌های پتانسیل تبدیل کاربری برای هر یک از زیرمدل‌ها از طریق شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، برای دوره زمانی ۱۱ ساله تولید شد. با توجه به خطای آموزش و خطای تست مدل انجام شده، دقت مدل ۷۶/۱۷٪ بدست آمد.

۵- پیش‌بینی سناریو آینده برای چشم‌انداز ۱۳۹۶ بعد از تولید نقشه‌های پتانسیل تبدیل کاربری زمین، با استفاده از روش زنجیره مارکف و پیش‌بینی نرم، تغییرات کاربری زمین برای ۱۱ سال بعد یعنی سال ۱۳۹۶ پیش‌بینی شد (شکل ۶). روش جدول‌بندی افقی به منظور آشکارسازی تغییرات طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۶ با ضریب کاپای ۹۴/۱۸٪ و ضریب همبستگی کرامر ۹۶/۰۸٪ انجام شد. نتایج نشان داد که مناطق زمین بایر (معادل ۵۴۴۴/۰۱ هکتار) و کشاورزی

(معادل ۱۷۰۴/۷۸ هکتار) کاهش پیدا خواهند کرد و مناطق غیرمسکونی (معادل ۳۴۲۱/۴۴ هکتار)، مسکونی (معادل ۳۰۸۱/۸۷ هکتار) و پارک‌ها (معادل ۶۴۵/۴۸ هکتار) افزایش پیدا خواهند کرد. مناطق غیرمسکونی در این دوره معادل ۱۵۹/۳۹ هکتار به پارک تبدیل خواهد شد، و همچنین معادل ۳۵۸۰/۸۳ هکتار از کاربری‌های دیگر به آن تبدیل خواهد شد که بیشترین مقدار آن با ۷۴/۱۷٪ از زمین بایر و کمترین مقدار آن با ۲۵/۸۳٪ از کشاورزی است. مناطق مسکونی طی دوره مذکور معادل ۳۰۸۱/۸۷ هکتار از کاربری‌های دیگر به آن تبدیل خواهد شد که بیشترین مقدار آن با ۷۴/۶۸٪ از زمین بایر و کمترین مقدار آن با ۲۵/۳۲٪ از کشاورزی است (جدول ۴). همچنین نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۶ نشان داد که بیشترین توسعه در بخش شرقی، شمال غربی و غرب کلان‌شهر تهران رخ خواهد داد.



شکل (۶) نقشه کاربری پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۶

جدول (۴) جدول‌بندی افقی بین نقشه‌های کاربری ۱۳۸۵ (عمودی) و ۱۳۹۶ (افقی)

مجموع	سطوح آبی	پارک	کشاورزی	زمین بایر	غیرمسکونی	مسکونی	
۴۱۳۵۳/۴۷	۰	۰	۷۸۰/۱۲	۲۳۰۱/۷۵	۰	۳۸۲۷۱/۶	مسکونی
۲۳۸۱۳/۴	۰	۰	۹۲۴/۶۶	۲۶۵۶/۱۷	۲۰۲۹۲/۵۷	۰	غیرمسکونی
۵۶۳۶۲/۸۶	۰	۰	۰	۵۶۳۶۲/۸۶	۰	۰	زمین بایر
۳۶۴۹۰/۸۶	۰	۰	۳۶۴۹۰/۸۶	۰	۰	۰	کشاورزی
۶۰۳۹/۴۵	۰	۵۳۹۳/۹۷	۰	۴۸۶/۰۹	۱۵۹/۳۹	۰	پارک
۱۶۱/۳۷	۱۶۱/۳۷	۰	۰	۰	۰	۰	سطوح آبی
۱۶۴۲۸۱/۴۱	۱۶۱/۳۷	۵۳۹۳/۹۷	۳۸۱۹۵/۶۴	۶۱۸۰۶/۸۷	۲۰۴۵۱/۹۶	۳۸۲۷۱/۶	مجموع

بحث و نتیجه‌گیری

به منظور بازبینی موضوع توسعه شهری با دیدگاه کنترلی بر روند تغییرات در طی زمان، باید موضوع را از زوایای متفاوت بررسی کرد. از طرف دیگر، پیدایش تفکر آمایش شهری به همراه فناوری‌های روز مانند GIS، RS و مدل‌سازی آماری برای دستیابی به برنامه‌ریزی‌های مناسب‌تر، اندیشه و فکر اندیشمندان را در سال‌های اخیر به خود مشغول داشته‌اند. یکی از نتایج ترکیب قابلیت‌های مختلف فناوری‌های موجود را می‌توان در رویکردهای موجود در مدل‌سازی توسعه شهری یافت، که هدف اصلی در آنها شناسایی عوامل و روند تغییرات شهری در آینده بر اساس تغییرات گذشته است (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۰). با توجه به تنوع و تعداد بالای عوامل تأثیرگذار در فرآیند مدل‌سازی توسعه شهری و نتایج پژوهش می‌توان اینگونه بیان کرد، که فناوری‌های GIS و RS تولید و تجزیه و تحلیل حجم عظیمی از داده‌های مکانی و غیرمکانی را امکان‌پذیر و تسریع می‌بخشند و یک خروجی با درجه بالایی از صحت و دقت را در کوتاه‌ترین زمان ممکن امکان‌پذیر می‌سازند. در مطالعه

حاضر، فناوری‌های RS و GIS به همراه مدل ترکیبی پیشنهادی رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) و شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) به صورت یک رویکرد جامع برای شناسایی و بهبود درک ما از نیروهای اجتماعی-اقتصادی، فیزیکی و کاربری زمین که بر توسعه شهری تأثیر می‌گذارند، و نیز برای یافتن تأثیرات نابرابر این عوامل و محتمل‌ترین مکان‌ها برای توسعه شهری آینده کلان‌شهر تهران مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۵ و همچنین پیش‌بینی انجام شده برای چشم‌انداز سال ۱۳۹۶ نشان می‌دهد که بیشترین رشد و توسعه شهری به صورت پراکنده در بخش‌های شرق، شمال‌شرقی، شمال‌غرب و بخصوص غرب صورت گرفته است. این توسعه پراکنده در کلان‌شهر تهران از محدودیت‌های توسعه پیوسته مانند وجود ارتفاعات کوهستانی در شمال شهر، ایجاد کمربند سبز در اطراف شهر، توسعه صنعتی در محور شرق و غرب، شرایط آب و هوایی و توپوگرافی نامساعد، وجود اراضی زراعی، بالا بودن

موجود در زمینه مدل‌سازی توسعه شهری است. برتری این مطالعه نسبت به مطالعات گذشته در این است، که از فرآیند پیش‌پردازش متغیرهای مستقل ورودی به مدل با استفاده از روش OLS استفاده شد و در نتیجه از بین داده‌های موجود بهترین ترکیب انتخاب گردید. در مطالعات گذشته پیش‌پردازش روی متغیرهای ورودی به مدل صورت نگرفته و اگر هم انجام شده، بیشتر از روش سعی و خطا استفاده شده است. از آن جمله می‌توان به پژوهش کامیاب و همکاران در سال ۱۳۹۰ در زمینه پیش‌بینی توسعه شهری گرگان اشاره کرد. همچنین با بررسی‌های میدانی و دور کاوی با استفاده از ابزارهای موجود، نتایج نشان داد که پیش‌بینی صورت گرفته نسبت به مطالعات گذشته به واقعیت‌های زمینی نزدیکتر است و روند توسعه موجود در کلان‌شهر تهران را دنبال می‌کند (شکل ۷، ۸).

سطح آب‌های زیرزمینی ناشی از فاضلاب‌های رها شده در بالا دست در جنوب و جنوب‌شرق ناشی می‌شود (مجرد و حسینی‌فر، ۱۳۹۱: ۲۶)، و باعث شده که تداوم توسعه بصورت توسعه‌های ناپیوسته در نواحی پیرامونی تهران انجام گیرد. این نتایج همچنین حاکی از آن است که کاربری‌های زمین بایر و کشاورزی در نتیجه توسعه بی‌رویه شهری دچار کاهش محسوسی شده‌اند، و با ادامه این روند و برنامه‌ریزی نادرست جهت‌دهی توسعه، می‌توان در آینده نه چندان دور، نابودی اراضی کشاورزی در محدوده بلافضل شهری و شرایط بن‌بست توسعه‌ای را برای کلان‌شهر تهران متصور شد.

مدل ترکیبی پیشنهادی (OLS-MLP) برای اولین بار در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است، نتایج این مطالعه با توجه به شکل ۶ و اعتبارسنجی آن با تصاویر بروز گوگل ارث در شکل ۷ و ۸ گویای صحت مدل ترکیبی پیشنهادی و بهبود رویکردهای



شکل (۷) الف و ب: رشد کنونی در شرق تهران در جنوب پارک سرخه حصار (تصاویر گوگل ارث)



شکل (۸) رشد کنونی در کاربری پارک در شمال شرق تهران (تصاویر گوگل ارث)

راه‌گشا بوده و مورد استفاده قرار گیرد. البته برای ارتقاء و افزایش هر چه بیشتر ضریب اطمینان مدل، در مطالعات آتی می‌توان از معیارهای تأثیرگذار بیشتری مانند مالکیت، قیمت زمین و مراکز تجاری استفاده کرد که به دلیل وجود محدودیت‌هایی استفاده نشده‌اند، و می‌توانند در فرآیند توسعه و رشد شهری کلان‌شهر تهران بسیار تأثیرگذار باشند.

پیشنهادها

۱- از آنجا که الگوی توسعه فیزیکی هر شهر تأثیر اساسی بر پایداری یا ناپایداری توسعه آن دارد، پیشنهاد می‌شود که متخصصان و مدیران امر برنامه‌ریزی شهری، با توجه به الگوی پراکنده توسعه کلان‌شهر تهران و محدودیت‌های آن، به منظور نیل به توسعه پایدار شهری، بیشتر روی توسعه عمودی متمرکز شده و از توسعه افقی به شدت جلوگیری به عمل آید.

۲- پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به منظور بالا رفتن دقت تجزیه و تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های توسعه از تصاویر با قدرت تفکیک بالاتر مانند تصاویر ماهواره اسپات، آیکونوس و کویک برد استفاده گردد و در

از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش جوکار ارسنجان‌ی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در زمینه مدل‌سازی توسعه کلان‌شهر تهران اشاره کرد (جوکار ارسنجان‌ی و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۷۳)، که در آن پیش‌بینی رشد برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ با استفاده از رگرسیون لجستیک و سلولار اتوماتا انجام شده است. از جمله نقاط ضعفی که می‌توان به آن اشاره کرد، این است که در پیش‌بینی‌های انجام شده برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ هیچ‌گونه رشدی در قسمت شرقی کلان‌شهر تهران، در شمال و شمال شرقی پارک لویزان و جنوب پارک سرخه حصار مشاهده نمی‌شود. در حالی که، نتایج حاصل از این پژوهش و همچنین بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که در بخش شمال-شرقی کلان‌شهر تهران پارک‌ها توسعه پیدا کرده و پارک سوهانک شکل گرفته است. علاوه بر این در بخش جنوبی پارک سرخه حصار شاهد رشد مناطق مسکونی (شهر جدید زیتون) هستیم که با یافته‌های این پژوهش کاملاً مطابقت دارد. این نتایج نشان دهنده اعتبار و صحت مدل بوده که با واقعیت کاملاً سازگار و منطبق است و می‌تواند به عنوان مدلی اجرایی در برنامه‌ریزی‌های چشم‌انداز آینده کلان‌شهر تهران بسیار

تأثیر پیش‌پردازش پارامترهای ورودی به شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) با استفاده از روش‌های رگرسیون گام به گام و گاما تست به منظور تخمین سریع‌تر تبخیر و تعرق روزانه، نشریه آب و خاک، شماره ۳، صفحات (۶۱۰-۶۲۴).

کامیاب، حمیدرضا؛ ماهینی، عبدالرسول سلمان؛ حسینی، سید محسن؛ غلامعلی فرد، مهدی (۱۳۹۰)، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی توسعه شهری (مطالعه موردی: شهر گرگان)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۶، صفحات (۹۹-۱۱۳).

مجرد، فیروز؛ حسینی‌فر، سمیه (۱۳۹۱)، مکان‌یابی نواحی مستعد برای توسعه فیزیکی کلان‌شهر تهران بر مبنای عناصر اقلیمی و عوامل جغرافیایی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۳، صفحات (۲۳-۴۲).

مختاری، مهدی (۱۳۸۵)، تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و GIS (نمونه موردی شهر اهواز)، رنگزن کاظم، شهید چمران اهواز، گروه سنجنش از دور و GIS. معصومی، سلمان (۱۳۹۰)، توسعه محله‌ای در راستای پایداری کلان‌شهر تهران، جامعه و فرهنگ، چاپ اول، تهران، صفحه ۱۶۳.

ملکی، سعید؛ احمدی، توران (۱۳۸۹)، توسعه فضایی-کالبدی شهر ایلام، انتشارات دانشگاه ایلام، چاپ اول، صفحه ۴۵۶.

Atkinson, PA. and Tatnall, ARL. (1997), Neural networks in remote sensing. International Journal Remote Sensing, 4: 699-709.

کنار عوامل در نظر گرفته شده در این مطالعه عوامل مالکیت، قیمت زمین و مراکز تجاری نیز در مدل‌سازی توسعه لحاظ شوند.

منابع

خوش‌گفتار، محمدمهدی؛ طالعی، محمد (۱۳۸۹)، شبیه‌سازی رشد شهری در تهران، با استفاده از مدل CA-Markov، نشریه سنجنش از دور و GIS ایران، سال دوم، شماره دوم، صفحات (۳۳-۱۸).

ربیعی، حمیدرضا؛ ضیائی، پرویز؛ علی محمدی، عباس (۱۳۸۳)، کشف و بازیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان به کمک سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ۴، صفحات (۵۴-۴۱).

شجاعیان، علی (۱۳۸۳)، کاربرد تکنیک‌های سنجنش از دور و GIS در بررسی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی دزفول و حومه بین سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۱، رنگزن کاظم، شهید چمران اهواز، گروه سنجنش از دور و GIS.

غلامعلی فرد، مهدی؛ جوراییان شوشتری، شریف؛ حسینی کهنوج، سید حمزه؛ میرزایی، محسن (۱۳۹۱)، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS، مجله محیط شناسی، شماره ۴، صفحات (۱۰۹-۱۲۴).

قبائی سوق، محمد؛ مساعدی، ابوالفضل؛ حسام، موسی؛ هزارجریبی، ابوطالب، (۱۳۸۹)، ارزیابی

- and Socio-Economic Attributes. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 5: 611-622.
- Longley, PA. Goodchild, MF. Maguire, DJ. and Rhind, DW. (2005), *Geographic Information Systems and Science*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Li, X. and Yeh, AGO. (1998), Principal Component Analysis of Stacked Multi-Temporal Images For The Monitoring of Rapid Urban Expansion in The Pearl River Delta. *International Journal Remote Sensing*, 8: 1501-1518.
- Lu, D. Mausel, P. Brondizio, E. and Moran, E. (2004), Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 2365-2407.
- Lu, D. and Weng, Q. (2007), A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance. *International Journal of Remote Sensing*, 5: 823-870.
- Luo, J. and Wei, YHD. (2009), Modeling Spatial Variations of Urban Growth Patterns in Chinese Cities: The Case of Nanjing. *Landscape and Urban Planning*, 91: 51-64.
- Mas, JF. and Flores, JJ. (2008), The Application of Artificial Neural Networks to The Analysis of Remotely Sensed Data (review article). *International Journal of Remote Sensing*, 3: 617-663.
- Maithani, S. (2009), A Neural Network based Urban Growth Model of an Indian City. *J. Indian Soc. Remote Sensing*, 37: 363-376.
- Maithani, S. (2010), Application of Cellular Automata and GIS Techniques in Urban Growth Modelling: A New Perspective, Institute of Town Planners. *Indian Journal*, 7: 36 - 49.
- Masser, I. (2001), Managing our Urban Future: The Role of Remote Sensing and Geographic Information Systems. *Habitat International*, 25: 503-512.
- Tewelde, MG. and Cabral, P. (2011), Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara. *Eritrea, Remote Sensing*, 3: 2148-2165.
- Pijanowski, B. Pithadia, S. Shellito, By. and Alexandridis, K. (2005), Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Alphan, H. (2003), Land Use Change and Urbanization of Adana, Turkey. *Land Degradation & Development*, 14: 575-586.
- Bishop, CM. (1995), *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon Press, Oxford.
- Coppin, P. Jonckheere, I. Nackaerts, K. and Muys, B. (2004), Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review *International Journal Remote Sensing*, 9: 1565-1596.
- Dewan, AM. and Yamaguchi, Y. (2009), Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 29: 390-401.
- Eastman, JR. (2006), *IDRISI andes guide or GIS and image processing*. Clark Labs, Clark University.
- Farahani, HA. Rahiminezhad, A. Same, L. and immanezhad, K. (2010), A Comparison of Partial Least Squares (PLS) and Ordinary Least Squares (OLS) regressions in predicting of couples mental health based on their communicational patterns. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 5: 1459-1463.
- Huang, W. Wang, Sh. Yu, L. Bao, Y. and Wang, L. (2006), A New Computational Method of Input Selection for Stock Market Forecasting with Neural Networks. *ICCS, Part IV, LNCS 3994*: 308-315.
- Harterter, J. Lucas, Ch. Gaughan, AE. and Aranda, LL. (2008), Detecting tropical dry forest succession in a shifting cultivation mosaic of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Applied Geography*, 28: 134-149.
- Johnson, RD. and Kasischke, ES. (1998), Change vector analysis: a technique for the multi-spectral monitoring of land cover and condition. *International Journal Remote Sensing*, 3: 411-426.
- Jokar Arsanjani, J. Helbich, M. Kainz, W. and Darvishi Bolorani, A. (2012), Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, 21: 265-275.
- Jensen, JR. and Cowen, DC. (1999), *Remote Sensing of Urban/ Suburban Infrastructure*

- Singh, A. (1989), Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. *International Journal Remote Sensing*, 6: 989–1003.
- Stone, M. and Brooks, RJ. (1990), Continuum Regression: Cross-Validated Sequentially Constructed Prediction Embracing Ordinary Least Squares, Partial Least Squares and Principal Components Regression. *Journal of the Royal Statistical Society*, 2: 237-269.
- Townshend, JRG. and Justice, CO. (1995), Spatial Variability of Images and The Monitoring of Changes in The Normalized Difference Vegetation Index. *International Journal Remote Sensing*, 12: 2187-2195.
- United Nations. (2008), Report of the meeting – urbanization: a global perspective. Proceedings of the expert group meeting on population distribution, urbanization, internal migration and development. 21–23 January, New York.
- Wang, Y. Li, Sh. (2011), Simulating Multiple Class Urban Land-Use/Cover Changes by RBFN-Based CA Model. *Computers & Geosciences*, 37: 111–121.
- Yuan, F. Sawaya, KE. Loeffelholz, BC. and Bauer, ME. (2005), Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multi-temporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98: 317–328.
- Zhang, GP. (2003), Neural networks in business forecasting. Idea Group Inc.
- Zhang, G. Patuwo, E. and Hu, MY. (1998), Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14: 35–62.
- Midwest of the United States. *International Journal of Geographical Information Science*, 2: 197–215.
- Park, S. Jeon, S. Kim, Sh. and Choi, Ch. (2011), Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea. *Landscape and Urban Planning*, 99: 104–114.
- Pontius, R. and Malanson, J. (2005), Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19: 243–265.
- Pérez-Vega, A. Mas, JF. and Ligmann-Zielinska, A. (2012), Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modeling & Software* 29: 11-23.
- Pistocchi, A. Luzi, L. and Napolitano, P. (2001), The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system like methods. *Environmental Geology*, 1-24.
- Rozenstein, O. and Karnieli, A. (2011), Comparison of Methods for Land Use Classification Incorporating Remote Sensing and GIS Inputs. *Applied Geography*, 31: 533-544.
- Ridd, MK. and Liu, J. (1998), A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment. *Remote Sens. Environ*, 63: 95–100.
- Satir, O. and Berberoglu, S. (2012), Land Use/Cover Classification Techniques Using Optical Remotely Sensed Data in Landscape Planning. *Landscape Planning*, 21-54.