

## تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل LCM با رویکرد مدل‌سازی توسعه شهری (نمونه موردی: کلان‌شهر تهران)

پیمان حیدریان\*: کارشناس ارشد GIS و سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران اهواز

کاظم رنگزن: دانشیار گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران اهواز

سعید ملکی: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز

ایوب تقی‌زاده: مربی گروه GIS و سنجش از دور، دانشگاه شهید چمران اهواز

### چکیده

در دهه اخیر رشد سریع شهرها در کشورهای در حال توسعه به یک مسئله جدی تبدیل شده است. بنابراین، بازبینی دائمی فرآیندهای دینامیک شهری با توجه به توسعه در گذشته و پیش‌بینی آن در آینده، اجتناب‌ناپذیر است. هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی توسعه کلان‌شهر تهران با استفاده از مدل LCM در دوره ۱۱ ساله ۱۳۸۵-۱۳۷۴ است. برای این منظور ابتدا، معیارهای مؤثر در این فرآیند از سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری، آنالیز و آماده‌سازی شدند و نقشه‌های کاربری زمین از تصاویر ماهواره لندست با ضریب کاپای ۰/۷۶۵ برای هر نقشه استخراج گردید. سپس با استفاده از داده‌های اتوکد سازمان نقشه‌برداری و نقشه‌های موجود (۱/۲۰۰۰) تا ضریب کاپای ۰/۸۸۵ بهبود داده شدند. در مرحله بعد صحت‌سنجی نقشه‌ها و آشکارسازی تغییرات صورت گرفت. نتایج آشکارسازی تغییرات با ضریب کاپای ۰/۹۱/۸۵ نشان می‌دهد که بیش‌ترین افزایش مساحت در مناطق ساخته‌شده (۴۶۰۳/۶۸ هکتار) و بیش‌ترین کاهش مساحت در زمین باز (۴۵۶۱/۴۷ هکتار) رخ داده است. بر مبنای این تغییرات، ۱۱ متغیر مستقل به عنوان ورودی مدل انتخاب شده و سپس، پتانسیل تبدیل کاربری و پیش‌بینی برای سال ۱۳۹۶، با استفاده از روش MLP و زنجیره مارکوف، مدل‌سازی شدند. مقایسه نتایج پیش‌بینی با جدیدترین داده‌های زمینی و مطالعات گذشته نشان می‌دهد که نتایج تحقیق حاضر به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر است. همچنین نقشه پیش‌بینی شده گویای این است که بیش‌ترین میزان توسعه در سال ۱۳۹۶ به ترتیب در بخش‌های غرب و شرق کلان‌شهر تهران رخ می‌دهند.

### واژگان کلیدی

مدل‌سازی، توسعه شهری، سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، کلان‌شهر تهران

## مقدمه و تعاریف

با توجه به رشد شهرنشینی در قرن حاضر می‌توان گفت جهان در سده بیست و یکم دچار شهرنشینی فزاینده‌ای شده است. بطوری‌که در سال ۱۹۰۰ تنها ۱۳ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند اما هم‌اکنون بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند (لیو، ۱۳۹۱، ۱۹). بیشترین میزان این رشد جمعیت در آینده در کشورهای در حال توسعه، بویژه کشورهای کمتر توسعه‌یافته اتفاق خواهد افتاد (توالد و کابرال<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱، ۲۱۴۹). این فشار افزایش جمعیت منجر به رشد غیرقابل کنترل (مایثانی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹، ۳۶۴)، پراکندگی، گسترش افقی مناطق شهری، تغییر سریع در کاربری زمین و افزایش تخریب زیست‌محیطی (دووان و یاماگوچی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹، ۳۹۰) می‌شود. این در حالی است که، رشد فضای اشغال‌شده 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 حالی‌که مناطق ساخته‌شده ۱۰۰۰۰۰ نفری و بیشتر، می‌تواند تا ۱۷۵ درصد افزایش پیدا کند (توالد و کابرال، ۲۰۱۱، ۲۱۴۹). این دگرگونی ضمن اینکه چهره و منظره جدیدی به کالبد شهرها می‌دهد، زمینه تغییرات در محتوا و ساختارهای اجتماعی-اقتصادی شهر را نیز فراهم می‌آورد و در نهایت منجر به شکل‌گیری فضاهای شهری به عنوان یک کل منسجم می‌شود (لیو، ۱۳۹۱، ۴). به منظور کاهش اثرات زیان‌بار رشد شهری بر محیط-زیست و حفظ عملکرد بهینه اکوسیستم، الگوهای زمانی و مکانی تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی و عوامل مؤثر بر این تغییرات (سرا<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۹۰)، بطور قابل‌ملاحظه‌ای در توسعه نسبی سیاست‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مهم هستند (دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹، ۳۹۰).

تغییرات کاربری زمین شهری سال‌های زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است: اما، ظهور تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های زمین‌مکانی، بعد جدیدی برای بازبینی و ارزیابی تغییرات پوشش کاربری زمین باز کرده است (توالد و کابرال، ۲۰۱۱، ۲۱۴۹). سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل و مدیریت داده‌ها استفاده می‌شود و سنجش از دور منبع داده سریع و دقیقی را به لحاظ مکانی فراهم می‌آورد (آرونوف، ۱۳۹۱، ۵۹۰). خاصیت چندزمانی و چندطیفی تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی تغییرات، به طور گسترده‌ای در بازبینی محیط-زیست، ارزیابی روند تغییرات پوشش زمین، بازبینی جنگل، و مطالعات شهری استفاده می‌شود و نقش مهمی در بسیاری از حوزه‌های کاربردی دارد (سباده<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۸۴). از آنجایی که امروزه بررسی روند تغییرات کاربری اراضی به کاربری شهری و شناسایی پارامترهایی که در این تغییرات مؤثر است نقش اساسی را در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت بازی می‌کنند در این صورت کشف قوانین و روابط مؤثر در تغییر سایر کاربری‌ها به کاربری‌های شهری و همچنین پیش‌بینی فرآیند توسعه شهرها در آینده با روش‌های دقیق و کارآمد بیش از پیش ضرورت دارد. مدل‌های فضایی، ابزارهایی مفید برای درک فرآیند توسعه شهری، ابزار کمی

1- Tewolde & Cabral

2- Maithani

3- Dewan & Yamaguchi

4- Serra

5- Subudhi

سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر محیط‌زیست و اکوسیستم هستند (لیو، ۱۳۹۱، ۴).

برای مدل‌سازی الگوهای مکانی تغییرات کاربری زمین دو رویکرد رایج وجود دارد: (۱) مدل‌های رگرسیون مبنا و (۲) مدل‌هایی که بر پایه انتقال مکانی هستند. اولین مدل، رابطه بین دامنه گسترده‌ای از متغیرهای مستقل، پیش-بینی 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 (بیجانوسکی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵، ۱۹۹). به منظور مدل‌سازی سیستم‌های شهری ما باید روش‌های جدید را به خدمت بگیریم که دینامیک، غیر خطی، غیر تجمعی، گسسته و پایین به بالا باشند (جانفنگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳، ۸). 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<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷، ۷۰۰). شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختار نقشه‌سازی غیرخطی و برای مدل‌سازی سیستم‌های متصل به یکدیگر مانند مغز متشکل از نرون‌ها توسعه داده شده‌اند. شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی مورد استفاده هستند (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۰۰). یک پرسپترون چند لایه معمولاً از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه نهفته و یک لایه خروجی تشکیل شده است (وحیدنیا و همکاران، ۱۳۸۹، ۹۸). 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، تجزیه و تحلیل دقت، حتی با گروه داده آموزشی اندک از منطقه امکان‌پذیر است، زیرا محاسبات پیکسل-مبنا هستند (پارک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱، ۱۰۵).

پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است، از جمله کامیاب و همکاران که در سال ۱۳۹۰ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و با بکارگیری سه گروه متغیر شامل متغیرهای بیوفیزیکی، اقتصادی-اجتماعی و کاربری زمین توسعه شهری گرگان را مدل‌سازی کرده‌اند. همچنین ماسی و همکاران در سال 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 مدل‌سازی کرده‌اند. هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی توسعه کلان‌شهر تهران با استفاده از مدل LCM (شبکه عصبی پرسپترون چند لایه) و ترکیبی از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور است. برای این منظور از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.2، ENVI 4.8، IDRISI 16.3 استفاده شده است.

### منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران در موقعیت جغرافیایی  $36^{\circ} 51'$  تا  $36^{\circ} 51'$  طول شرقی و  $34^{\circ} 35'$  تا  $35^{\circ} 49'$  عرض شمالی واقع شده است، شکل زیر موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. 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

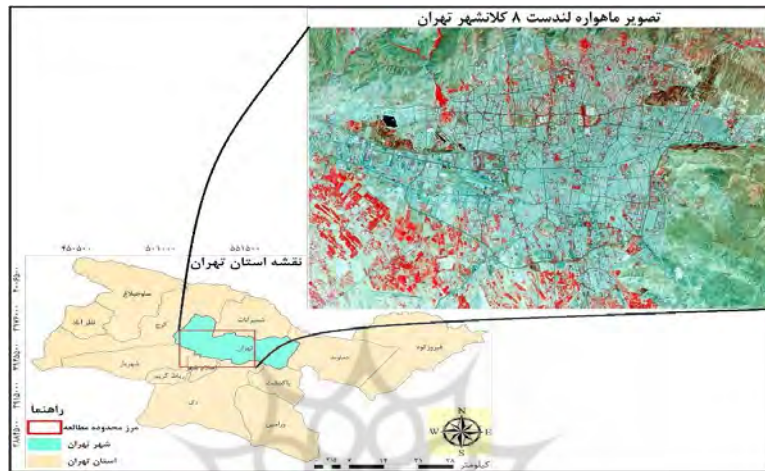
1- Pijanowski

2- Junfeng

3- Atkinson & Tatnall

4- Park

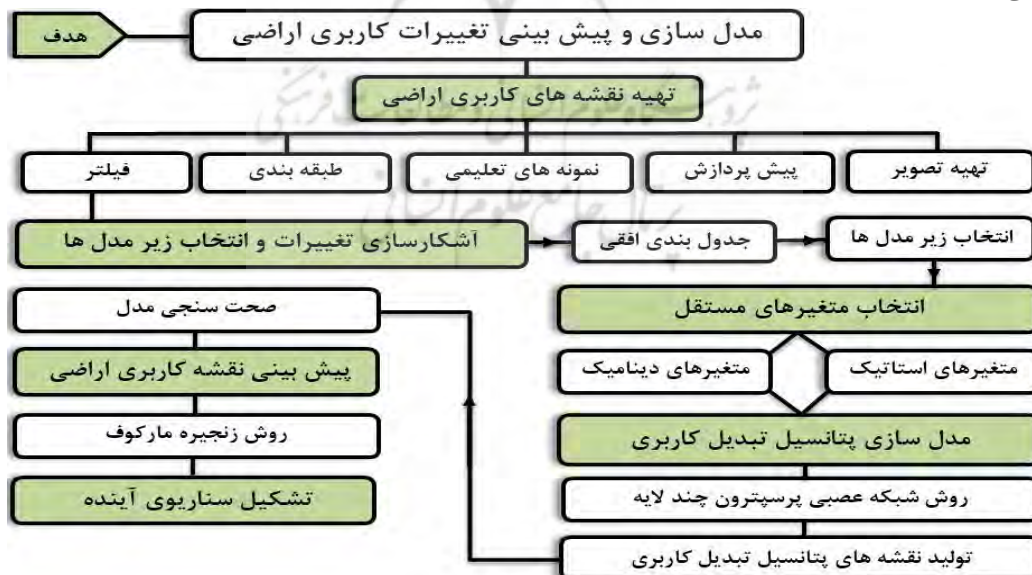
(مناطق ۲۲ گانه مصوب شورای شهر) که با حریم قریب ۲۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت و ۸ میلیون نفر (به همراه شهرهای اقماری آن قریب ۱۲ میلیون نفر) جمعیت دارد. براساس مرجع آماری سالنامه سال ۱۳۸۵، قریب ۱۱ درصد جمعیت کشور، ۲۴ درصد جمعیت با تحصیلات عالی کشور، ۲۶ درصد تولید ناخالص ملی، ۱۴ درصد بودجه عمرانی کشور، ۲۶/۵ درصد 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) محدوده مورد مطالعه

### روش کار

مراحل کلی انجام تحقیق همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، به ترتیب شامل؛ تهیه نقشه‌های کاربری زمین، آشکارسازی تغییرات و انتخاب زیرمدل‌ها، انتخاب متغیرهای مستقل، مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری و پیش‌بینی سناریوی آینده است.



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

### مدل‌ساز تغییر کاربری اراضی

مدل‌ساز تغییر کاربری زمین تجزیه و تحلیل کاملی از تغییرات زمین با ایجاد نقشه‌های 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-اقتصادی است که در تغییر کاربری اراضی تأثیرگذار هستند (عزیزی قلاتی، ۱۳۹۲، ۳۳). بطور کلی آنالیز تغییرات و پیش‌بینی در مدل LCM بصورت زیرمدل‌هایی سازماندهی شده‌اند. یک زیرمدل انتقال می‌تواند شامل یک انتقال یا بصورت یک گروه از انتقال پوشش زمین باشد. همه انتقال‌های زیرمدل (زیرمدل‌های انتقال) باید قبل از انجام پیش‌بینی تغییرات مدل‌سازی شوند (استمن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶، ۲۴۹).

### تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

به منظور مطالعه دینامیک کاربری اراضی لازم است نقشه‌هایی داشته باشیم که وضعیت کاربری اراضی در زمان‌های مختلف را انعکاس دهد. با توجه به هدف اصلی تکنولوژی سنجش از دور که شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی و قرار دادن آنها در گروه‌ها یا طبقات مشخص است، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به عنوان مهم‌ترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای به شمار آورد (زبیری و مجد، ۱۳۸۰، ۲۴۲). طبقه‌بندی تصویر یک فرآیند پیچیده است و 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<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷، ۸۲۵). هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است، تکمیل نسیت و برای کسب اطمینان از نسبت صحت نقشه استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد. دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۹، ۲۷).

### آشکارسازی تغییرات و انتخاب زیرمدل‌ها

آشکارسازی تغییرات فرآیندی است که وضعیت تغییرات پدیده‌ها را از روی تصاویر بدست آمده در زمان‌های مختلف مشخص می‌کند. روش‌های آشکارسازی تغییرات کاربری بطور اساسی در دو طبقه وسیع خلاصه می‌شوند، آنهایی که آشکارسازی تغییرات را انجام می‌دهند و سپس طبقات را مشخص می‌کنند (پیش طبقه‌بندی<sup>۳</sup>) و آن‌هایی که اول طبقات را مشخص می‌کنند و سپس آشکارسازی تغییرات را انجام می‌دهند مانند مقایسه پس از طبقه‌بندی (پس طبقه‌بندی<sup>۴</sup>). در رویکرد پیش طبقه‌بندی، روش‌هایی از قبیل تفاضل تصویر<sup>۵</sup> (شجاعیان، ۱۳۸۳، ۳۵)، نسبت بانندی<sup>۶</sup> (دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹، ۳۹۱)، آنالیز تغییر بردار<sup>۷</sup> (جانسون و کاسیسچک<sup>۸</sup>، ۱۹۹۸، ۴۱۲)، طبقه‌بندی چند زمانی مستقیم، تفاضل شاخص پوشش گیاهی<sup>۹</sup> (تاوان شند و جاستیک<sup>۱</sup>، ۱۹۹۵، ۲۱۸۸) و

1- Eastman

2- Lu & Weng

3- pre-classification

4- post-classification

5- Image Differencing

6- Band Ratio

7- Change Vector Analysis

8- Johnson & Kasischke

9- Vegetation Index Differencing

و آنالیز مؤلفه‌های اصلی<sup>۳</sup> (هارتر<sup>۳</sup> 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 موردنظر است. با این-حال، این روش‌ها در مکان‌یابی تغییر کارا هستند، اما نمی‌توانند ماهیت تغییر را شناسایی کنند (رید و لیو<sup>۴</sup>، ۱۹۹۸، ۹۶). در حالت عکس، مقایسات پس طبقه‌بندی، تغییرات زمانی را بطور مستقلاً بین داده‌های پوشش اراضی طبقه‌بندی شده بررسی می‌کنند (دووان و یاماگوچی، ۲۰۰۹، ۳۹۱). با وجود مشکلات مربوط به مقایسه-های پس طبقه‌بندی، این روش بطور گسترده‌ای برای شناسایی تغییرات کاربری زمین (لو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۳۶۸) بویژه در محیط‌های شهری استفاده می‌شود.

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 گا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۲، ۱۲).

#### انتخاب متغیرهای مستقل

متغیرها می‌توانند دینامیک یا استاتیک باشند. متغیرهای استاتیک جنبه‌های اساسی مناسب را برای انتقال در نظر گرفته شده بیان می‌کنند و با گذشت زمان تغییرناپذیر هستند. متغیرهای دینامیک وابسته به زمان متغیر هستند مانند نزدیکی به توسعه یا زیرساخت‌های موجود، و در طول زمان دوره پیش‌بینی محاسبه می‌شوند (عزیزی قلاتی، ۱۳۹۲، ۶۱). متغیرهای مستقل برای انجام مدل‌سازی، با ارزیابی از طریق ضریب همبستگی کرامر<sup>۷</sup> انتخاب می‌شوند. این ضریب همبستگی متغیرهای مستقل را در یک زمان با طبقه‌بندی موضوعی نقشه کاربری اراضی مقایسه می‌کند (استمن، ۲۰۰۶، ۲۵۱). ضریب همبستگی کرامر که نشان‌دهنده ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی است، مطابق با فرمول زیر محاسبه می‌شود (پیستوکی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۱، ۱۰).

$$X^2 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=1}^m \frac{(T_{ij} - T_{ij}^*)^2}{T_{ij}^*} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$T_{ij}^* = \frac{(T_j * T_i)^2}{T} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{T * M}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$X^2$ : 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 هستند.

10- Townshend & Justice

1- Principal Component Analysis

2- Hartter

3- Ridd & Liu

4- Lu

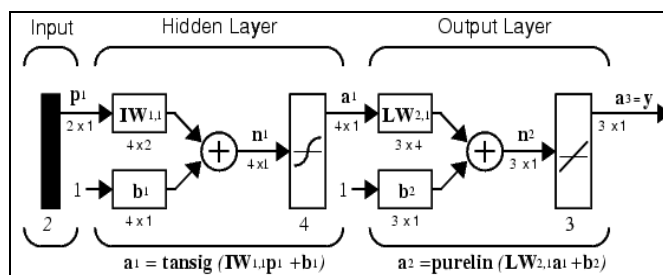
5- Pérez-Vega

6- crammer's V

7- Pistocchi

## مدل سازی پتانسیل تبدیل کاربری و صحت سنجی آن

شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، اولین بار توسط روزن بلات در سال ۱۹۸۵ طراحی شدند (قبائی سوق و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۱۳). در این نوع شبکه‌ها از یک لایه ورودی جهت اعمال ورودی‌های مسئله یک لایه پنهان و یک لایه خروجی که نهایتاً پاسخ‌های مسئله را ارائه می‌نمایند، استفاده می‌شود نمونه‌ای از یک شبکه پرسپترون چند لایه در شکل زیر نمایش داده شده است (شریفی و صالحی، ۱۳۸۴، ۳).



شکل (۳) ساختار پرسپترون چندلایه با نرون‌های پنهان و نرون‌های خروجی

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 (بیشاپ<sup>۱</sup>، ۱۹۹۵، ۱۴۷). در این مطالعه برای بررسی و ارزیابی صحت مدل-سازي پتانسیل تبدیل کاربری با روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه از خطای آموزش و خطای تست استفاده می‌شود.

## پیش‌بینی سناریوهای آینده

خروجی‌های مرحله مدل‌سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی‌های مرحله پیش‌بینی تغییرات بکار می‌روند. مقدار تغییر هر تبدیل کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف پیش‌بینی می‌شود و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از ۲ مدل سخت و نرم در مدل LCM تهیه خواهد شد (عزیزی قلاتی، ۱۳۹۲، ۶۶). تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین را از یک دوره به دوره دیگر بیان کرده و با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین را از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌دهد که به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت (ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۰، ۳۴۹).

## یافته‌ها

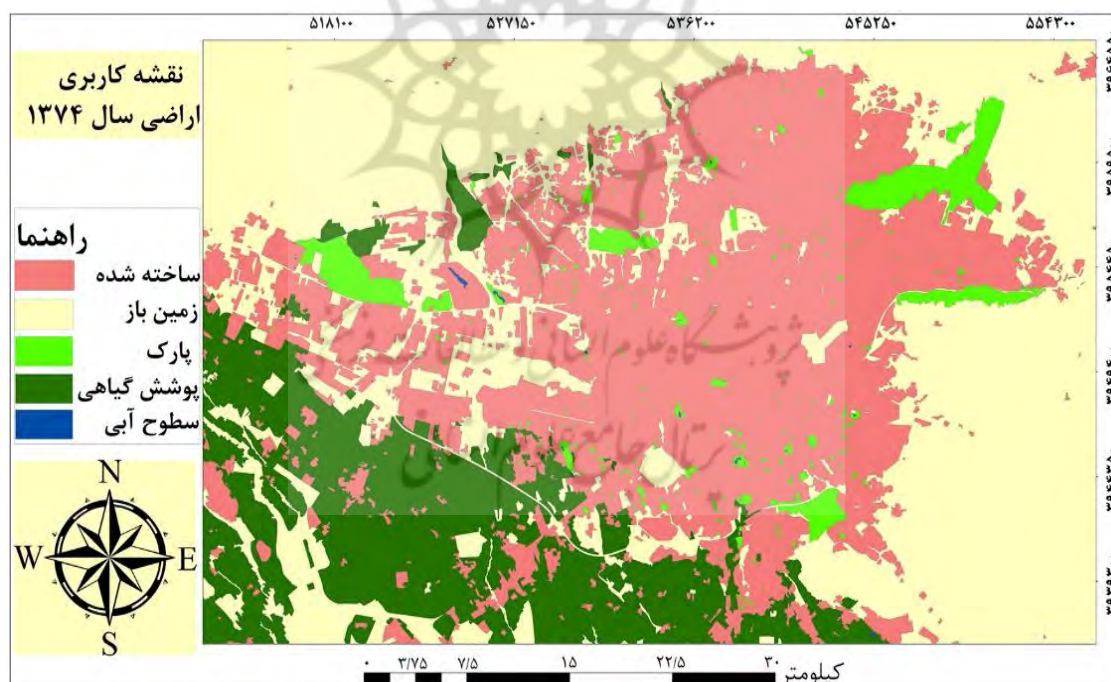
یکی از مسائل چالش برانگیز در مطالعه الگوهای ناهمگون رشد شهری، مسئله داده است (لو و وی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹، ۵۲). چون جمع‌آوری داده در سطح ناحیه‌ای و محلی در ایران خیلی محدود است و داده‌های کمکی (داده‌های رقومی)

1- Bishop

2- Luo & Wei

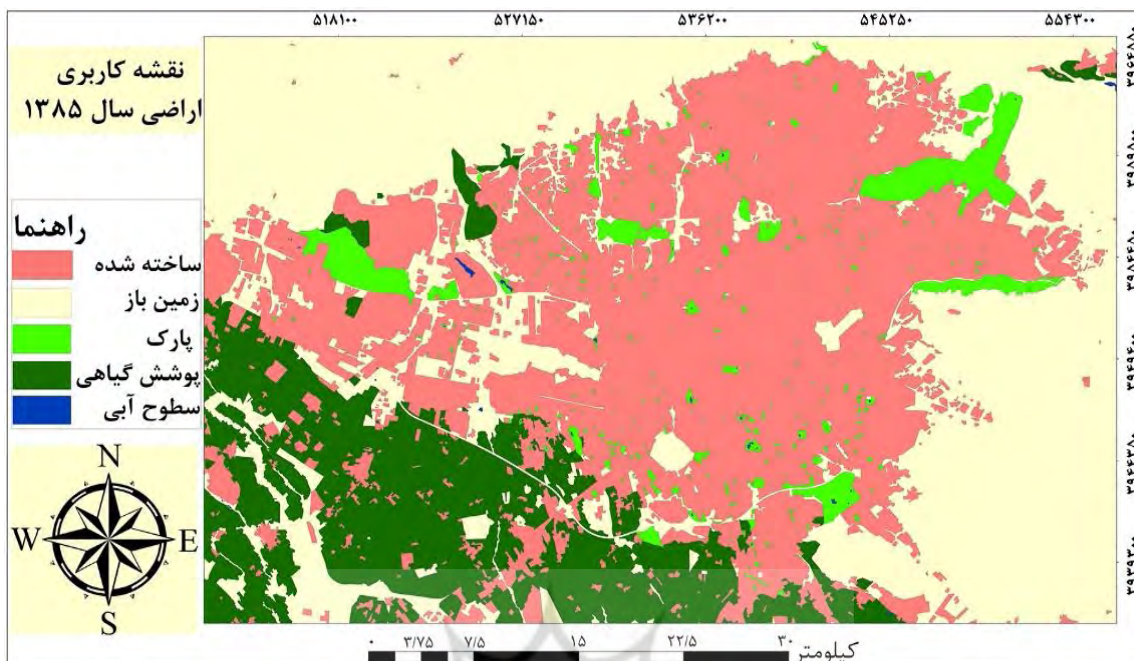


در این زمینه برای سال‌های گذشته بسیار ناچیز است، بنابراین برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه یک دوره ۱۱ ساله (۱۳۷۴-۱۳۸۵) لحاظ شد. داده‌های کاربری اراضی در این تحقیق طی دو مرحله از تصاویر ماهواره لندست ۵ سنجنده (TM ۱۳۷۴/۰۵/۲۵) و لندست 7 سنجنده  $ETM^+$  (۱۳۸۵/۰۶/۳۰) بدست آورده 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 نرم افزار ENVI 5 و IDRISI 16.3 طبقه‌بندی گردیدند. نرم افزار 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 ساخته‌شده، زمین باز، کشاورزی، و سطوح آبی) با استفاده از نقاط کنترل زمینی صحت-سنجی شدند و ضریب کاپای ۰/۷۶۵ برای هر نقشه بدست آمد. در مرحله بعد، با استفاده از داده‌های اتوکد سازمان نقشه‌برداری (مقیاس ۲۰۰۰) سال ۱۳۷۴ و نقشه‌های کاربری رقومی (مقیاس ۲۰۰۰) سال ۱۳۸۵ موجود، نقشه‌های حاصل از مرحله اول بهبود داده‌شد و در پنج کاربری شامل: مناطق ساخته‌شده، زمین باز، 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 بدست آمد. اشکال زیر نقشه‌های کاربری نهایی سال ۱۳۷۴ و ۱۳۸۵ را نشان می‌دهد.



شکل (۴) نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۴





شکل (۵) نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۵

همانطور که در بالا ذکر شد راه‌های مختلفی برای آشکارسازی تغییرات وجود دارد. در این تحقیق به منظور آشکارسازی تغییرات با بکارگیری روش مقایسه پس از طبقه‌بندی، از روش جدول‌بندی افقی استفاده شد و در نهایت ضریب کاپای ۹۱٪ و ضریب کرامر<sup>۱</sup> ۸۸٪ بدست آمد. ارزیابی تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۵ نشان داد که افزایش مساحت در مناطق ساخته‌شده (۴۶۰۳/۶۸ هکتار)، پارک‌ها (۶۵۰/۷ هکتار) و سطوح آبی (۲۲/۳۲ هکتار) و همچنین کاهش مساحت در زمین باز (۴۵۶۱/۴۷ هکتار) و کشاورزی (۷۱۵/۲۳ هکتار) رخ داده‌است. همان‌طور که در جدول زیر آمده، بیشترین افزایش مساحت در مناطق ساخته شده صورت گرفته است. مناطق ساخته‌شده طی دوره ۱۱ ساله معادل ۴۰۵/۱۸ هکتار به کاربری‌های دیگر تبدیل شده است، که بیشترین میزان آن با ۴۴/۵۵٪ به پارک‌ها و کمترین میزان آن با ۰/۵۷٪ به سطوح آبی بوده و همچنین معادل ۵۰۰۸/۸۶ هکتار از کاربری‌های دیگر به آن تبدیل شده که بیشترین مقدار آن با ۸۰/۴۱٪ از زمین باز و ۱۸/۹۴٪ از پوشش گیاهی و کمترین مقدار آن با ۰/۱۹٪ از سطوح آبی بوده است. این نتایج حاکی از آن است که کلان‌شهر تهران، بواسطه پایتخت بودن، صنعتی شدن، تمرکز بازار کار و در نتیجه افزایش مهاجرپذیری به گونه‌ای شتاب‌آلود توسعه یافته و در ساختار و بافت داخلی آن تحولات اساسی صورت گرفته است، و همچنین باعث تغییرات شگرفی در مرزهای بلافصل خود در پوشش گیاهی-که بیشتر شامل مناطق کشاورزی است- و زمین باز شده است. گذشته از این‌ها، در دوره مذکور پوشش گیاهی معادل ۷۱۵/۲۳ هکتار کاهش مساحت داشته که بیشترین میزان آن توسط مناطق ساخته شده تصرف شده است.

1- Cramer's V

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

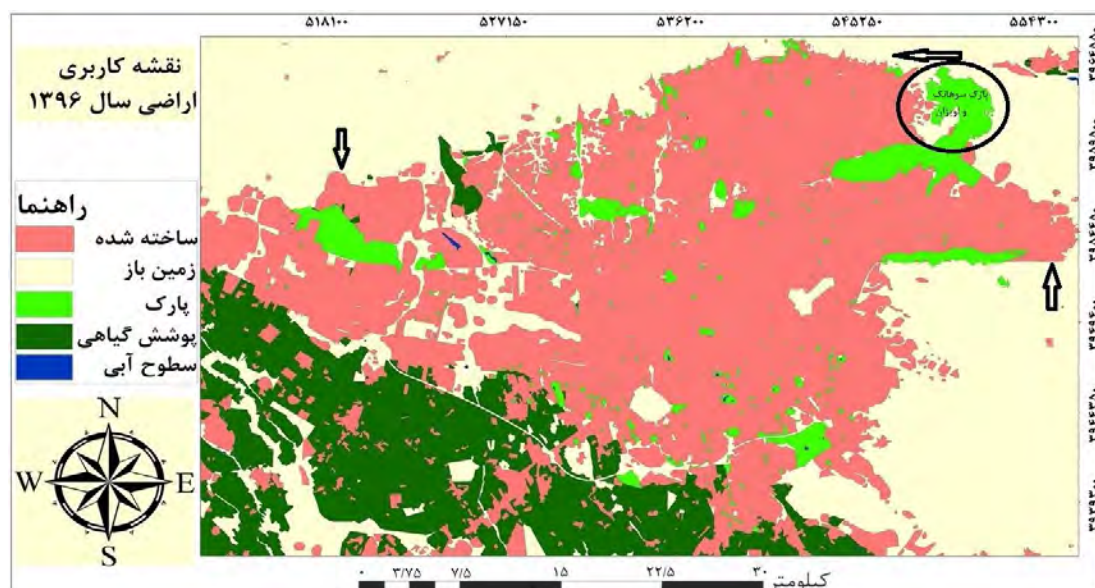
مجموع	پارک	سطوح آبی	زمین باز	مناطق ساخته شده	پوشش گیاهی	
۲۰۲۷۷/۹۹	۰	۲/۶۱	۷۳۳/۹۵	۹۹/۰۹	۱۹۴۴۲/۳۴	پوشش گیاهی
۵۲۰۴۶/۳۷	۳۱/۴۱	۰/۹۹	۴۰۲۷/۶۸	۴۷۰۳۷/۵۱	۹۴۸/۷۸	مناطق ساخته شده
۵۳۱۱۸	۲۴/۴۸	۰	۵۲۴۳۱/۶۶	۱۲۳/۲۱	۵۳۸/۶۵	زمین باز
۷۲/۹۹	۵/۸۵	۴۶/۲۶	۱۸/۰۹	۲/۳۴	۰/۴۵	سطوح آبی
۵۳۴۷/۳۵	۴۶۳۴/۹۱	۰/۸۱	۴۶۸/۰۹	۱۸۰/۵۴	۶۳	پارک
۱۳۰۸۶۲/۷	۴۶۹۶/۶۵	۵۰/۶۷	۵۷۶۷۹/۴۷	۴۷۴۴۲/۶۹	۲۰۹۹۳/۲۲	مجموع
	۱۳/۸۵	۴۴/۰۴	-۷/۹	۹/۷	-۳/۴	درصد و جهت تغییر نسبت به سال پایه

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؛ پوشش گیاهی به ساخته شده، زمین باز به ساخته شده، زمین باز به پوشش گیاهی، پوشش گیاهی به پارک، زمین باز به پارک.

در مرحله بعد به منظور مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری اراضی، ۱۲ متغیر مستقل شامل تراکم جمعیت، فاصله از نقاط روستایی، فاصله از سطوح آبی، فاصله از شهرهای اطراف، فاصله از مناطق کشاورزی، فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از مناطق زمین بایر، فاصله از پارکها، فاصله از مناطق ساخته شده، فاصله از شبکه حمل و نقل، DEM و شیب به عنوان ورودی به مدل وارد شدند و متغیرهای فاصله از شهرهای اطراف و فاصله از شبکه زهکشی بدلیل ضریب پایین از مدل حذف گردیدند. درنهایت 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. 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. نتایج این پیش‌بینی در جدول و شکل زیر آمده است.

جدول (۲) مساحت کاربری‌ها در سال ۱۳۹۶

پارک	سطوح آبی	زمین باز	مناطق ساخته شده	پوشش گیاهی	مساحت در سال ۱۳۹۶
۵۷۸۷/۸۲	۷۱/۷۷	۴۹۵۰۷/۸۱	۵۵۸۸۷/۹	۱۹۶۰۷/۴	



شکل (۶) نقشه کاربری پیش بینی شده سال ۱۳۹۶

### بحث و نتیجه گیری

اخیراً، جهان در حال توسعه رشد شهری را در مقیاس بی سابقه‌ای تجربه کرده است، که اثر قابل توجهی رو تشدید کاربری زمین دارد. بنابراین، مدل‌سازی و پیش‌بینی الگوهای رشد شهری برای برنامه‌ریزان شهری و طرفداران حفظ منابع طبیعی جهت تنظیم راهبرد توسعه پایدار امری بسیار حیاتی است، که هدف اصلی در آن‌ها شناسایی عوامل و روند تغییرات شهری در آینده براساس تغییرات گذشته است (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۱۰). در مطالعه حاضر، مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه 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. با توجه به تنوع و تعداد بالای عوامل تأثیرگذار در این فرآیند و نتایج تحقیق 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. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان می‌دهد که بیشترین افزایش مساحت در مناطق ساخته شده رخ داده و باعث نابودی و به قهقرا رفتن زمین‌های کشاورزی در مرزهای بلافصل شهری شده است. این امر به پایتخت بودن، صنعتی بودن و در نتیجه افزایش روز افزون مهاجرت به کلان‌شهر تهران و همچنین سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های نادرست در راستای جهت‌دهی به توسعه فضایی پایتخت است، که در آن بیشتر به توسعه افقی در کنار توسعه عمودی بها داده شده است.

بررسی‌های میدانی و دورکاوی با استفاده از ابزارهای موجود، نشان داد که پیش‌بینی صورت گرفته با استفاده از این مدل مذکور، نسبت به مطالعات گذشته و مدل‌های دیگر به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر است و روند توسعه موجود را دنبال می‌کند. از جمله این مطالعات می‌توان به تحقیق جوکار ارسنجانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در

زمینه مدل‌سازی توسعه کلان‌شهر تهران اشاره کرد (جوکار ارسنجانی و همکاران، ۲۰۱۲، ۲۷۳)، که در آن پیش-بینی رشد برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ با استفاده از رگرسیون لجستیک و سلولار اتوماتا انجام شده است. همانطور که در شکل فوق نمایان است، از جمله برتری‌های تحقیق حاضر نسبت به این مطالعات، این است که در پیش‌بینی انجام شده برای سال ۱۳۹۶، رشدی که در واقعیت در قسمت‌های غربی و شرقی مناطق ساخته‌شده و همچنین پارک‌های شمال‌شرقی (پارک لویزان و سوهانک) کلان‌شهر تهران صورت گرفته است، کاملاً مشهود است. این نتایج نشان‌دهنده 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 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 استفاده کرد که به دلیل وجود محدودیت‌هایی استفاده نشده‌اند، و می‌توانند در فرآیند توسعه و رشد شهری کلان‌شهر تهران بسیار تأثیرگذار باشند.



## منابع

- ۱- آرونوف، استن (۱۳۹۱)، *سنجش از دور برای مدیران GIS*، ترجمه: علی اصغر درویش صفت، مهتاب پیرباوقار، منیژه رجب پور رحمتی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- رضایی مقدم، محمدحسین و همکاران (۱۳۸۹)، *طبقه بندی پوشش اراضی / کاربری اراضی بر اساس تکنیک شی گرا و تصاویر ماهواره ای*، مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی، پژوهش های آبخیزداری.
- ۳- زبیری، محمد و علیرضا مجد (۱۳۸۰)، *آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی*، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- ۴- شجاعیان، علی (۱۳۸۳)، *کاربرد تکنیک های سنجش از دور و GIS در بررسی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی دزفول و حومه بین سال های ۲۰۰۲-۱۹۹۱*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۵- شریفی، محمد باقر و همکاران (۱۳۸۴)، *کاربرد شبکه های عصبی در پیش بینی جریان رودخانه در حوزه معرف کارده*.
- ۶- عزیزی قلاتی، سارا (۱۳۹۲)، *مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی در منطقه کوهمره سرخی استان فارس*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۷- قبائی سوق، محمد و همکاران (۱۳۸۹)، *ارزیابی تأثیر پیش پردازش پارامترهای ورودی به شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) با استفاده از روش های رگرسیون گام به گام و گاما تست به منظور تخمین سریع تر تبخیر و تعرق روزانه، نشریه آب و خاک*.
- ۸- کامیاب، حمیدرضا و همکاران (۱۳۹۰)، *کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدلسازی توسعه شهری (مطالعه موردی: شهر گرگان)*، پژوهش های جغرافیای انسانی.
- ۹- لیو، یان (۱۳۹۱)، *مدلسازی توسعه شهری با استفاده از سامانه های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سلول های خودکار*، ترجمه محمد کاظم جباری، سیمین احمدی، انتشارات آذر کلک.
- ۱۰- سلمان ماهینی، عبدالرسول و حمیدرضا کامیاب (۱۳۹۰)، *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم افزار ادریسی*، انتشارات مهر مهدیس.
- ۱۱- معصومی، سلمان (۱۳۹۰)، *توسعه محله ای در راستای پایداری کلان شهر تهران*، چاپ اول، انتشارات جامعه و فرهنگ.
- ۱۲- وحیدنیا، محمد حسین و همکاران (۱۳۸۹)، *ارزیابی شبکه پرسپترون چندلایه با مدل های موجود درون یابی*، مجله مهندسی فن آوری اطلاعات مکانی.

13- Atkinson, P.A., and A.R.L. Tatnall, 1997. *neural networks in remote sensing*, *International Journal remote sensing* 4: 699-709.

14- Bishop, C.M. 1995. *neural Networks for Pattern Recognition*, Clarendon Press, Oxford.

15- Dewan, A.M., and Y. Yamaguchi, 2009. *Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization*, *Applied Geography* 29: 390-401.



- 16- Eastman, J.R. 2006. *IDRISI Andes Guide Or GIS And Image Processing*, Clark Labs, Clark University.
- 17- Hartter, J., Lucas, Ch., Gaughan, A.E., and L.L. Aranda, 2008. *detecting tropical dry forest succession in a shifting cultivation mosaic of the Yucatan Peninsula, Mexico*, *Applied Geography* 28: 134–149.
- 18- Johnson, R.D., and E.S. Kasischke, 1998. *Change vector analysis: a technique for the multi-spectral monitoring of land cover and condition*, *Int. j. remote sensing* 3: 411-426.
- 19- Jokar Arsanjani, J., Helbich, M., Kainz, W., and A. Darvishi Boloorani, 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.
- 20- Junfeng, J. 2003. *Transition Rule Elicitation for Urban Cellular Automata models Case Study: Wuhan-China*, MSc. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). The Netherlands.
- 21- Lu, D., and Q. Weng, 2007. *A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance*, *International Journal of Remote Sensing*, 5: 823-870.
- 22- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., and E. Moran, 2004. *Change detection techniques*, *INT. J. Remote Sensing*, 12: 2365–2407.
- 23- Luo, J., and Y.H.D. Wei, 2009. *Modeling spatial variations of urban growth patterns in Chinese cities: The case of Nanjing*, *Landscape and Urban Planning* 91: 51–64.
- 24- Maithani, S. 2009. *A Neural Network based Urban Growth Model of an Indian City*, *J. Indian Soc. Remote Sensing* 37: 363–376.
- 25- Park, S., Jeon, S., Kim, Sh., and Ch. Choi, 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.
- 26- Pérez-Vega, A., Mas, J.F., and A. Ligmann-Zielinska, 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.
- 27- Pijanowski, B., Pithadia, S., Shellito, B.y., and K. Alexandridis, 2005. *calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States*, *International Journal of Geographical Information Science* 2: 197–215.
- 28- Pistocchi, A., Luzzi, L., and P. Napolitano, 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.
- 29- Ridd, M.K., and J. Liu, 1998. *A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in an Urban Environment*, *Remote Sens. Environ* 63: 95–100.
- 30- Serra, P., Pons, X., and D. Saur, 2008. *Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors*, *Applied Geography* 28: 189–209.
- 31- Subudhi, B.N., Bovolo, F., Ghosh, A., and L. Bruzzone, 2014. *Spatio-contextual fuzzy clustering with Markov random field model for change detection in remotely sensed images*, *Optics & Laser Technology* 57: 284–292.
- 32- Tewolde, M.G., and P. Cabral, 2011. *Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara, Eritrea*, *Remote Sensing* 3: 2148-2165.
- 33- Townshend, J.R.G., and C.O. Justice, 1995. *spatial variability of images and the monitoring of changes in the Normalized Difference Vegetation Index*, *Int. j. remote sensing* 12: 2187-2195.