

مدل سازی رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس و مبتنی بر روش خودکارهای سلولی (مطالعه موردی: شهر تهران)

امیرحسین کاظم^۱

فرهادحسینعلی^۲

علی اصغر آل‌شیخ^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۳/۱۴

چکیده

مدل‌سازی رشد شهری و تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی جزء جدایی‌ناپذیری از برنامه‌ریزی برای توسعه پایدارند. تحقیق حاضر نیز در نظر دارد رشد و توسعه شهری را برای کلان شهر تهران از بعد زمانی و توزیع مکانی، مدل‌سازی نماید. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ با رویکرد شیء پایه مورد طبقه‌بندی قرار گرفت. در گام بعدی با بهره‌گیری از مدل رگرسیون لجستیک میزان تأثیر متغیرهای مستقل در رابطه با گسترش شهری شامل چهارده متغیر در قالب دو گروه متغیرهای محیطی-طبیعی و اجتماعی-اقتصادی در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۲، به صورت ضریب در معادله رگرسیون محاسبه شده و نقشه پتانسیل گسترش شهری تولید گردید. ارزیابی عملکرد رگرسیون لجستیک با استفاده از دو شاخص Pseudo R2 و ROC با مقادیر به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۸۹ نشانگر برازش خوب رگرسیون و قابلیت تشریحی مناسب آن بود. در ادامه مساحت تغییرات برای سال مورد انتظار با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف به صورت کمی پیش‌بینی شد. در نهایت با استفاده از خروجی‌های دو مدل رگرسیون لجستیک و تحلیل زنجیره مارکوف، با بهره‌گیری از مدل خودکارهای سلولی، رشد شهری برای سال ۲۰۱۳ مدل‌سازی گشت که مقایسه آن با تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد مدل مورد استفاده با دقت نسبی برآورد مساحت ۰/۹۳ و ضریب کاپای ۰/۸۷ یک مدل موفق بوده است. بر این اساس از همین مدل برای برآورد رشد شهری در سال ۲۰۲۵ استفاده گردید و برای این کار از تصاویر سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی رشد شهری، خودکارهای سلولی، طبقه‌بندی شیء پایه، تهران.

۱- کارشناس ارشد RS&GIS دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران amirhosseinkazem@gmail.com

۲- استادیار دانشگاه شهید رجایی frdhal@srttu.edu

۳- استاد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی alesheikh@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

قرار گرفته است. یکی از دلایل استفاده از خودکاره‌های سلولی، همخوانی قابلیت‌های این مدل با اهداف این پژوهش است که سایر مدل‌ها از این قابلیت‌ها برخوردار نیستند. مدل‌های عامل مبنا با آنکه هم پیچیده و دشوار هستند و هم با داده‌های سنجش از دور همسازی ندارند در نتایج بدست آمده نیز دقت معنادار بالاتری نشان نمی‌دهند. در مورد مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی این نقص وجود دارد که امکان تفسیر دانش خروجی وجود ندارد و نمی‌توان دانش مستتر کشف شده در آن را مشاهده کرد و میزان تأثیر هر یک از پارامترها فقط از طریق آنالیز حساسیت ممکن است. تمرکز اصلی خودکاره‌های سلولی در شبیه سازی الگوهای مکانی است، با این حال این مدل در کمی سازی میزان تغییرات و تفسیر متغیرهای طبیعی - محیطی و اجتماعی - اقتصادی مؤثر در رابطه با تغییرات، ناتوان است. هر کدام از مدل‌ها نقاط قوت و ضعف مخصوص به خود را دارد، بنابراین به نظر می‌رسد که بهره‌گیری از یک مدل ترکیبی که بتواند نقاط ضعف مربوط به هر کدام از این مدل‌ها را مرتفع کند، کارآمدتر باشد. به همین منظور در این تحقیق از توان تحلیل زنجیره مارکوف به منظور پیش‌بینی کمی میزان تغییرات برای سال‌های آتی و از مدل رگرسیون لجستیک برای تجزیه و تحلیل محرک‌های تغییرات جهت ایجاد قوانین گذار بهینه در مدل ترکیبی CA-Markov استفاده شد. این کار موجب بهبود عملکرد خودکاره‌های سلولی و برطرف شدن ضعف‌های آن خواهد شد.

در این مقاله ابتدا به معرفی ویژگی‌های شهر تهران که منطقه مورد مطالعه است پرداخته می‌شود و داده‌ها و مبانی نظری مورد استفاده معرفی می‌گردد. در بخش یافته‌های تحقیق ابتدا از تصویر سال ۱۹۸۸ و ۲۰۰۲ برای پیش‌بینی رشد شهری در سال ۲۰۰۳ استفاده و جهت ارزیابی دقت و صحت روش مورد استفاده با تصویر طبقه‌بندی شده همان سال مقایسه می‌شود. در مرحله بعد با تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ رشد شهر در سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی می‌گردد. در بخش ارزیابی و بحث روش‌های معمول

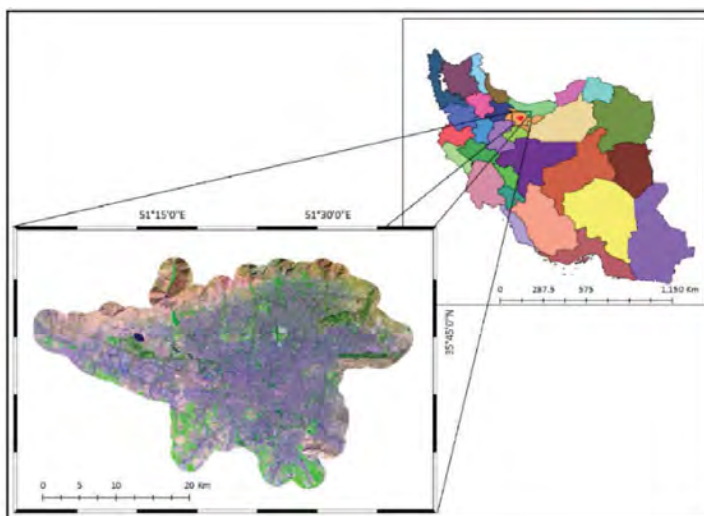
در دهه‌های اخیر رشد و توسعه شهرها به ویژه در کشورهای در حال توسعه سرعت گرفته است. بطوری که رشد شهرها در این کشورها معمولاً با تغییرات ناخوشایندی چون تخریب و آلودگی زیست محیطی، کاهش تنوع زیستی و حاشیه نشینی شهری همراه بوده است. بدین ترتیب پژوهشگران، طراحان، کارشناسان و تصمیم‌گیران در حوزه مدیریت محیط زیست و منابع طبیعی و همچنین برنامه‌ریزی شهری به منظور اتخاذ تصمیم و ارائه طرح‌های کاربردی برای آینده بیش از پیش اطلاعات دقیق در رابطه با تغییرات کاربری و رشد شهری نیاز دارند.

به طور کلی مدل‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی کاربری اراضی را می‌توان به سه گروه کلی تقسیم کرد، که عبارتند از: مدل‌های تجربی و آمار پایه، همانند مدل‌های زنجیره مارکوف، مدل‌های بر پایه رگرسیون و شبکه‌های عصبی و غیره، مدل‌های دینامیکی، همچون خودکاره‌های سلولی، و در آخر، مدل‌های عامل مبنا (Guan et al., 2011; 3761-3772) که در این بین روش‌های خودکاره‌های سلولی، مدل‌های عامل مبنا و شبکه‌های عصبی به دلیل توانایی مدل‌سازی بالای تغییرات شهری بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (Batty, 2007).

در دهه اخیر به صورت گسترده‌ای از مدل خودکاره‌های سلولی جهت پیش‌بینی وقایع مکانی گوناگون نظیر تغییرات پوشش اراضی (Ménard, 2007) و توسعه شهری (Almeida, 2002) (Dietzel, 2006) استفاده شده است. حجم زیاد و رو به افزایش تحقیقات نشان می‌دهد که CA^۱ یک ابزار مناسب برای مدل‌سازی دینامیک مکانی است (Dietzel, 2006).

از مزیت‌های روش خودکاره‌های سلولی می‌توان به قابلیت شبیه‌سازی بعد مکانی، همسازی با سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دور سنجی، دینامیک زمانی، سادگی و قابل فهم بودن و قابلیت مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده اشاره کرد که در مقاله رضا زاده و همکاران (۱۳۸۸) نیز مورد تأکید

نگاره ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه



کوهپایه و دشت در دامنه‌های جنوبی البرز صورت گرفته است. بخش‌های جنوبی شهر در دشت وسیع و همواری رشد کرده است. ارتفاعات شمالی و شرقی، توسعه شهر را در این سمت با محدودیت مواجه نموده و شرایط جغرافیایی خاص بیابانی جنوب و بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی نیز توسعه را در این منطقه محدود کرده است. به همین دلیل بخش غربی شهر به واسطه برخورداری از شرایط نسبتاً مساعد جغرافیایی، مناسب‌ترین محدوده برای توسعه تلقی می‌شود. کلان‌شهر تهران به دلیل تمرکز صنایع، خدمات و به تبع آن رشد جمعیت و مرکزیت سیاسی دارای توسعه کم سابقه‌ای نسبت به سایر شهرهای ایران می‌باشد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به طور کلی به دو دسته عمده قابل تقسیم می‌باشند که عبارتند از: داده‌های مورد استفاده برای استخراج کاربری‌های اراضی در منطقه مورد مطالعه که این داده‌ها شامل تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند و داده‌هایی که برای تشریح گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی از آنها استفاده شده که از این داده‌ها با نام نیروهای محرکه تغییرات یاد می‌شود. جزئیات داده‌های به کار گرفته شده در این مقاله در جدول (۱) نمایش داده شده است:

و متداول مدل‌سازی رشد شهر مورد نقد واقع می‌شود و در نهایت نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه کلان‌شهر تهران است این شهر عنوان پایتخت ایران را به همراه دارد و با وسعت ۷۳۰ کیلومتر مربع بین ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی واقع است. این شهر از شمال به رشته کوه البرز، از شرق به لواسانات، از غرب به کرج و از جنوب به ورامین محدود است. شهر تهران از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه و ۱۱۹ ناحیه و ۳۶۲ محله تقسیم می‌شود. (نگاره ۱) نشانگر موقعیت محدوده مورد مطالعه می‌باشد. ارتفاعات شهر تهران از سه بخش کوهستانی، کوهپایه و دشت تشکیل می‌شود. مناطق کوهستانی، ارتفاعات بالای ۱۸۰۰ متر را دربرمی‌گیرد. در تهران از سمت جنوب به شمال، ارتفاع زمین افزایش می‌یابد به طوری که ارتفاع در قسمت‌های پست حدود ۹۰۰ متر و قسمت‌های مرتفع تا ۱۸۰۰ متر می‌باشد. به دلیل پرهزینه بودن ساخت و ساز و محدودیت‌های قانونی، توسعه فیزیکی در این ناحیه بسیار محدود است. از این رو توسعه تهران عمدتاً در منطقه

رگرسیون لجستیک بهره گیری شده است. ۳ و ۴) روش های بکار رفته در برآورد میزان تغییرات و توزیع مکانی آنها، که برای این کار از روش های تحلیل زنجیره مارکوف و خودکارهای سلولی بهره گرفته شده است. نگاره (۲) شمای کلی روند مدل سازی استفاده شده در این تحقیق را نشان می دهد.

۲-۳-۱- طبقه بندی شیء پایه

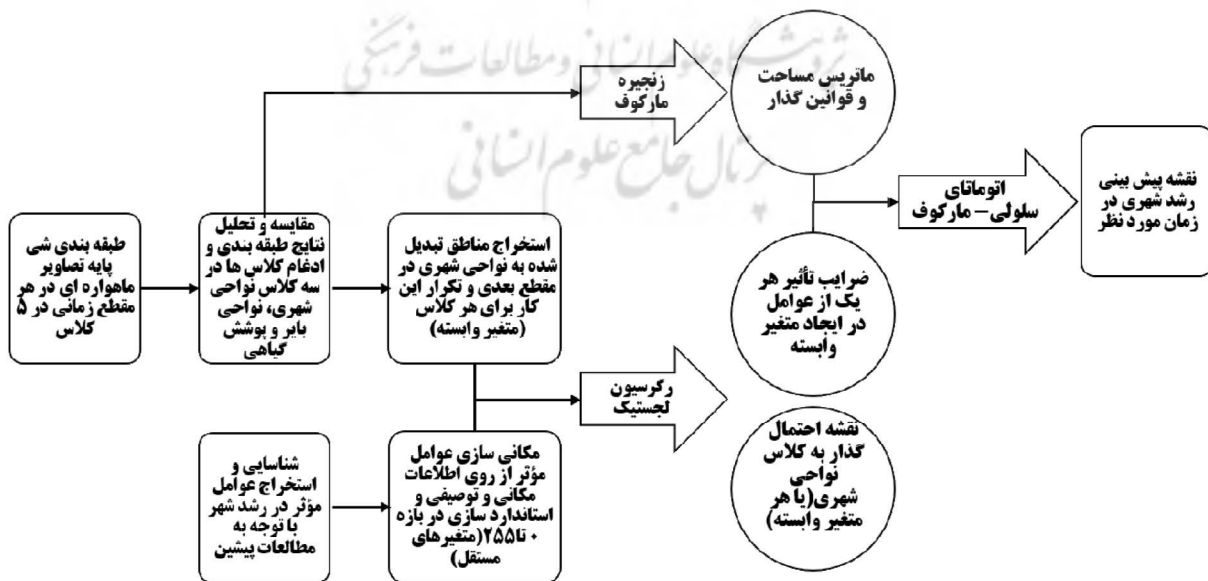
سگمنت به معنی گروهی از پیکسل های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهمترین معیار مشترک آنها است. در طبقه بندی، تحلیل و پردازش تصویر به کار گیری رویکرد شیء پایه اشاره به پردازش تصویر در فضای شیء به جای فضای پیکسل دارد، که این اشیاء جزء بنیادی در پردازش تصویر شیء پایه می باشد. در این نوع طبقه بندی، سگمنت بندی تکنیکی می باشد که به وسیله آن تصویر به اشیاء تبدیل می شود. در کل طبقه بندی شیء پایه یک فرایند سه مرحله ای است. به طوری که در ابتدا سگمنت بندی تصویر با فاکتور مقیاس مورد نظر انجام می گیرد و در مرحله دوم مجموعه

جدول ۱- داده های مورد استفاده

مشخصات	زمان تهیه داده	داده مورد استفاده
توان تفکیک ۳۰ متر	۲۰۱۳، ۲۰۰۲، ۱۹۸۸	تصاویر سری ماهواره لندست
توان تفکیک ۳۰ متر	-	مدل رقومی ارتفاعی SRTM
برداری	۱۳۸۵	کاربری های اراضی
برداری	۱۳۸۵	تراکم جمعیتی به تفکیک بلوک های شهری
برداری	-	رودخانه های اصلی
برداری	۱۳۸۵	شبکه راه ها

۲-۳-۲- روش ها

به طور کلی روش های به کار گرفته شده در این تحقیق به سه دسته کلی قابل تقسیم بندی می باشند، که عبارتند از: ۱) روش های مورد استفاده برای طبقه بندی تصاویر ماهواره ای، که برای این کار از طبقه بندی شیء پایه استفاده شده است، ۲) روش های مورد استفاده برای بررسی عوامل مؤثر در رشد شهری و تغییرات کاربری و همچنین نقشه احتمال گسترش شهری برای دوره های آتی، در این قسمت از مدل



نگاره ۲ - روند مدل سازی مورد نظر برای رشد شهر

متفاوت در ابتدا در بیش از یک کلاس طبقه‌بندی می‌شوند و سپس بر اساس درجه عضویت نسبت به هر کلاس، طبقه‌بندی براساس الگوریتم نزدیکترین همسایه انجام می‌گیرد (eCognition® Developer 8.9 User Guide, 2013: 108-116).

۲-۳-۲- رگرسیون لجستیک

این نوع تحلیل رگرسیونی برای محاسبه رابطه بین یک یا چند متغیر مستقل پیوسته با متغیر وابسته باینری، به کار می‌رود. فرض بنیادی این رگرسیون بر این اساس است که احتمال وابسته‌ای که مقدار یک را به خود می‌گیرد (واکنش مثبت) منحنی لجستیک را دنبال می‌کند و مقدار آن را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) برآورد نمود:

$$p(y = 1|X) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه P احتمال متغیر وابسته‌ای که مقدارش یک است، X متغیرهای مستقل را تشکیل می‌دهد بطوری که $X = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_k)$ ، $x_0 = 1$ و B پارامترهای برآورد شده می‌باشند، به گونه‌ای که برای خطی کردن مدل فوق معمولاً تبدیل زیر اعمال می‌گردد:

$$P' = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

از این تبدیل با عنوان تبدیل Logit یا لجستیک یاد می‌گردد. نکته‌ای که بعد از تبدیل P' وجود دارد این است که به طور نظری تمامی مقادیر را می‌توان بین مثبت و منفی بی‌نهایت فرض کرد. ما می‌توانیم مدل رگرسیون خطی استاندارد را به صورت زیر نیز به دست آوریم:

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + \text{Error term} \quad \text{رابطه (۳)}$$

تبدیل Logit داده دو جزئی، تضمین کننده پیوسته بودن متغیر وابسته رگرسیونی و همچنین بدون مرز بودن متغیر وابسته جدید (تبدیل Logit احتمالی) می‌باشد. بعلاوه، این تبدیل ضامن پیوسته بودن احتمال پیش بینی شده در بازه ۰ تا ۱ می‌باشد.

نواحی آموزشی از نتایج مرحله قبل برای کلاس‌های مورد نظر انتخاب گشته و در آخر طبقه بندی نهایی، برپایه نواحی آموزشی انتخاب شده، صورت می‌پذیرد.

تکنیک سگمنت‌بندی در این تحقیق، سگمنت‌بندی چندتفکیکی^۱ است. این نوع سگمنت‌بندی بر پایه روش‌های ترکیب نواحی بر اساس معیار همگنی استوار می‌باشد. این الگوریتم یک رویه بهینه است که با یک فاکتور مقیاس (مقادیر بالای فاکتور مقیاس باعث ایجاد اشیاء بزرگتر شده و مقادیر کوچک آن اشیاء کوچکتری را می‌سازد)، بطور محلی میانگین ناهمگنی را کمینه و متعاقب آن همگنی را به حداکثر می‌رساند.

فرایند سگمنت‌بندی با یک شیء تصویری که در ابتدا از یک پیکسل شروع شده و به صورت متوالی در چند حلقه با ترکیب پیکسل‌های همسایه تا زمانی که به آستانه همگنی تعیین شده نرسد، رشد پیدا می‌کند. این معیار همگنی بر اساس ترکیبی از همگنی طیفی و مکانی قابل تعریف می‌باشد (eCognition® Developer 8.9 User Guide, 2013: 30-38).

اندازه سگمنت‌ها بر اساس پارامتر مقیاس تعیین می‌شود به صورتی که مقادیر بالای این پارامتر اشیاء بزرگ تر و مقادیر کم آن اشیاء کوچکتر را می‌سازند. معیارهای همگنی در این سگمنت‌بندی به دو نوع، همگنی رنگ و همگنی مکانی تقسیم می‌شوند. همگنی رنگ برپایه انحراف معیار رنگ‌های طیفی، و همگنی مکانی بر اساس پارامترهای شکل و فشردگی می‌باشد. پارامتر شکل تعیین کننده درجه تأثیر شکل در مقایسه با رنگ است و به همین صورت پارامتر فشردگی وزن نسبی در برابر نرمی برای سگمنت بندی است. در این تحقیق از روش نزدیک‌ترین همسایگی با رویکرد فازی برای طبقه‌بندی اشیاء ایجاد شده بوسیله سگمنت‌بندی چند تفکیکی استفاده شد. طبقه‌بندی کننده نزدیک ترین همسایگی مقدار تابع عضویت بین صفر تا یک را برپایه فاصله از نزدیک‌ترین همسایه در فضای ویژگی اشیاء تصویر را باز می‌گرداند. اشیاء با درجه عضویت

ماتریس احتمال گذار

در یک توالی وضعیت‌های زمانی گسسته، احتمال گذار از وضعیت i در زمان T_m به وضعیت j در زمان T_{m+1} در یک گام منفرد، P_{ij} می‌باشد. فقط وابسته به وضعیت‌های زمانی T_m و T_{m+1} می‌باشد. به صورت ماتریس احتمال گذار زیر مرتب می‌شود:

$$p = \begin{bmatrix} p_{00} & \dots & p_{0m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n0} & \dots & p_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۴)}$$

ماتریس مساحت گذار

ماتریس مساحت‌های گذار (A_{ij}) بیانگر کل مساحت‌های مورد انتظار برای تغییر در زمان بعدی می‌باشد (به تعداد پیکسل)، این ماتریس بصورت زیر مرتب‌سازی می‌گردد. (Zhang et al, 2010: 924-930)

$$A = A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{00} & \dots & A_{0m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n0} & \dots & A_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه بالا A ، ماتریس مساحت گذار بوده و A_{ij} مجموع مساحت‌های حاصل شده از وضعیت i ام به وضعیت j ام در طی سال‌های شروع تا هدف است.

پیش‌بینی مارکوف

براساس ماتریس اولیه $S(0)$ و احتمال گذار n امین مرحله، توزیع کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه در زمان آینده را می‌توان با استفاده از یک شبیه‌سازی رایانه‌ای محاسبه کرد. به طوری که شبیه‌سازی مارکوف در وضعیت $S(n)$ را می‌توان از رابطه (۶) به دست آورد (Zhang et al, 2010: 924-930):

$$S(n) = S(n-1)P^{(1)} = S(0)P^{(n)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

۲-۳-۴- خودکاره‌های سلولی

خودکاره‌های سلولی (CA) یک سیستم دینامیک گسسته می‌باشد که در آن فضا به سلول‌های مکانی منظم یا نامنظمی تقسیم شده‌اند و زمان در آن‌ها بصورت گام‌های گسسته طی می‌شود. هر سلول در این سیستم یکی از حالت‌های متناهی را به خود می‌گیرد. وضعیت هر سلول بر پایه قوانین محلی به

معمولاً برای آزمون برازش و معناداری آماری رگرسیون لجستیک از دو آماره $Pseudo R_{square}$ و ROC استفاده می‌شود به طوری که اگر مقدار $Pseudo R_{square}$ یک نشانگر برازش کامل و اگر صفر باشد نشانگر هیچ نوع رابطه‌ای نیست. اگر مقدار $Pseudo R_{square}$ بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد، نشانگر یک برازش نسبتاً خوب در نظر گرفته می‌شود. دامنه مقادیر ROC هم بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند به گونه‌ای که عدد ۱ نشانگر برازش کامل و عدد ۰/۵ نشان دهنده برازش تصادفی است (Clark and Hosking, 1986:528).

۲-۳-۳- تحلیل زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف سری‌هایی از مقادیر تصادفی است که احتمالات یک بازه زمانی در آن وابسته به مقدار عددی آن در زمان گذشته است. تحلیل زنجیره مارکوف یک ابزار مفید برای مدل‌سازی تغییرات پوشش زمین است، و مخصوصاً زمانی که تشریح تغییرات در چشم‌انداز مشکل باشد، به کار می‌رود. (Benito and Cabral and Zamyatin, 2009: 191-198)

به طور نظری یک نوع پوشش یا کاربری زمین می‌تواند در هر زمانی به هر نوع کاربری یا پوشش زمین دیگر تبدیل گردد. تحلیل زنجیره مارکوف از ماتریس‌هایی که نشانگر تمامی تغییرات چند جهتی کاربری یا پوشش زمین بین تمامی کلاس‌های پوشش زمین است، استفاده می‌کند. این فرآیند را می‌توان به عنوان مجموعه وضعیت‌های $S = \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_k\}$ تشریح کرد، که در ایجاد وضعیت‌ها نشانگر انواع کلاس‌های پوشش می‌باشند. هر فرآیندی از یکی از این وضعیت‌ها شروع شده و متعاقباً به سمت وضعیت بعدی حرکت می‌کند، در اینجا هر حرکتی گام نامیده می‌شود. اگر زنجیره مورد نظر اکنون در وضعیت s_i باشد، سپس در گام بعدی با احتمال P_{ij} ، به سمت وضعیت s_j حرکت می‌نماید. در اینجا احتمال P_{ij} را احتمال گذار می‌نامند. در زنجیره مارکوف یک توزیع احتمال اولیه به صورت $S(0)$ تعریف می‌شود و این توزیع احتمال تعیین کننده وضعیت شروع است (Zhang et al, 2010: 924-930).

مدل سازی سیستم می باشد و بدین دلیل عنصر بنیادی در موفقیت آمیز بودن مدل سازی می باشد (White, 1998: 235-246).
۵) زمان: این عنصر بعد زمانی سلول های خودکار را بازگو می کند.

۳- یافته های تحقیق

۳-۱- استخراج نقشه کاربری اراضی

در این مرحله پس از تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری، بر اساس طبقه بندی شیء پایه تصاویر با استفاده از روش سگمنت بندی چندتفکیکی (Multi-resolution) و با وزن های مساوی برای تمام باندها و پارامترهایی که در جدول (۲) نشان داده شده است اقدام به سگمنت بندی تصاویر شد. پس از ایجاد اشیاء با فاکتور مقیاس مناسب، در گام بعدی اقدام به انتخاب نواحی تعلیمی از روی اشیاء ایجاد شده در پنج کلاس کاربری، نواحی ساخته شده، شبکه راه ها، پوشش گیاهی، پهنه های آبی و مناطق بایر، گشت. سپس با طبقه بندی نزدیک ترین همسایه با رویکرد فازی، کلاس های کاربری برای سال های ۱۹۸۸، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ استخراج شدند (نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر در نگاره ۴ نشان داده شده است). دقت کلی طبقه بندی شی گرا در محدوده ۹۰ تا ۹۴ درصد و ضریب کاپادر محدوده ۰/۸۴ تا ۰/۸۷ قرار دارند که در این بین تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۳ بالاترین دقت و تصویر طبقه بندی شده برای ۱۹۸۸ دارای پایین ترین دقت می باشد.

جدول ۲ - پارامترهای سگمنت بندی تصاویر مورد استفاده

به روش چند تفکیکی

پارامترهای سگمنت بندی	تصویر سال ۱۹۸۸	تصویر سال ۲۰۰۲	تصویر سال ۲۰۱۳
پارامتر مقیاس	۱۵	۱۷	۴۵
پارامتر شکل	۰/۲	۰/۲	۰/۵
پارامتر فشردگی	۰/۳	۰/۱	۰/۵

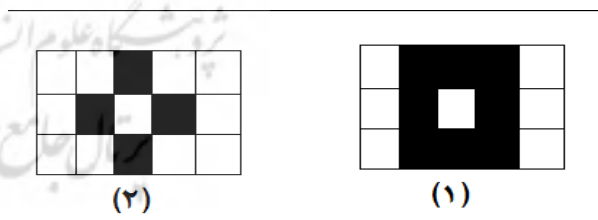
۳-۲- تحلیل تغییرات

در این مرحله تغییرات کاربری صورت گرفته در دو دوره ۲۰۰۲ - ۱۹۸۸ و ۲۰۱۳ - ۲۰۰۲ بررسی و تحلیل شد. مطالعات

صورت هم زمان به هنگام می گردد، یعنی وضعیت هر سلولی در هر زمان وابسته به وضعیت خود سلول و وضعیت های همسایگانش در زمان پیشین است (Wolfram, 1984: 35).

در این سیستم وضعیت کلی سیستم به وسیله اثرات ترکیبی قوانین گذار محلی مشخص می شود. به طور کلی خودکاره های سلولی از پنج جزء بنیادین تشکیل یافته است که عبارت اند از: ۱) سلول ها: این عنصر جزء بنیادی واحد مکانی در فضای سلولی می باشد. شبکه های دو بعدی رایج ترین شکل سلول های خودکار می باشند که در مدل سازی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری مورد استفاده قرار می گیرد (DiGregorio et al, 1986: 365-392).

۲) وضعیت: این عنصر ویژگی های سیستم را تعریف می کند. هر سلول فقط یک وضعیت از بین مجموعه وضعیت ها را، در هر لحظه می توان به خود بگیرد (Liu, 2009: 28-29). در مدل سازی تغییرات کاربری و توسعه شهری وضعیت های سلول ها می تواند نشانگر انواع کاربری های همچون جنگل، مرتع و غیره باشد. ۳) همسایگان: این عنصر مجموعه ای از سلول هایی را در بر می گیرند که با سلول مورد نظر تعامل دارند. در فضای دو بعدی دو نوع همسایگی بنیادی وجود دارد که عبارت اند از: همسایگی وان نومان^۱ و همسایگی مور^۲ (Liu, 2009: 28-29).^۳ (نگاره ۳).



نگاره ۳ - (۱) همسایگی مور و (۲) همسایگی وان نومان

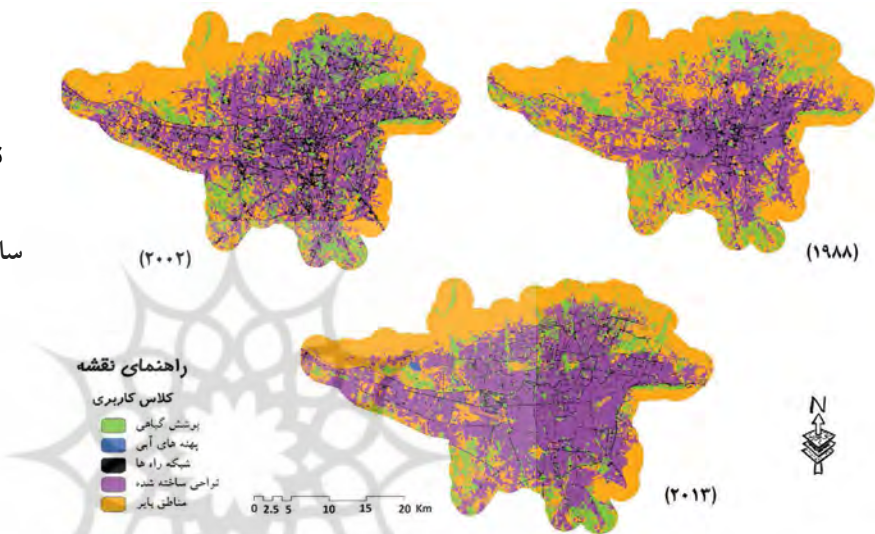
۴) قوانین گذار: این عنصر تعیین کننده چگونگی تغییر وضعیت یک سلول، در واکنش به وضعیت کنونی خود و وضعیت همسایگانش می باشد. این عنصر جزء کلیدی سلول های خودکار می باشد، بدین خاطر که این قوانین نشان دهنده فرآیند

1 - The state
2 - Von Neumann
3 - Moore
4 - The transition rule

جدول ۳ - کمیت تغییرات پوشش زمین در بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳

	۱۹۸۸		۲۰۰۲		۲۰۱۳	
	مساحت به هکتار	درصد	مساحت به هکتار	درصد	مساحت به هکتار	درصد
نواحی شهری	۳۴۱۹۹/۷۳	۳۵/۶۴	۵۰۴۶۴/۴۴	۵۲/۵۸	۵۶۶۳۳/۶۷	۵۹
پوشش گیاهی	۱۷۲۵۶/۰۶	۱۷/۹۸	۱۲۱۱۵/۰۸	۱۲/۶۳	۹۴۵۶/۳	۹/۱۴
سطوح آبی	۳۳/۶۶	۰/۰۳	۳۰/۷۸	۰/۰۳	۱۵۸/۳۱	۰/۱۶
نواحی بایر	۴۴۴۷۶/۵۶	۴۶/۳۵	۳۳۳۵۴/۹۹	۳۴/۷۶	۲۹۷۱۷/۷۳	۳۱

نگاره ۴ - نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصویر لندست سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ به وسیله رویکرد شیء گرا



فرض کرد سطوح آبی خود به خود و با ضابطه توسعه پیدا نمی‌کند و اگر دچار تغییراتی شود ناشی از دستکاری‌های انسانی بوده و فاقد روندی است که بتوان آن را مدل سازی نمود. برای نمونه می‌توان از احداث دریاچه مصنوعی چیتگر نام برد. سایر تغییرات سطوح آبی در تهران نیز یا مانند تغییرات فصلی ناچیز است یا غیر قابل پیش بینی. با توجه به این موارد قبل از شروع مرحله مدل سازی این کلاس از عوارض در کلاس نواحی بایر ادغام شد. به این ترتیب تصاویر طبقه بندی شده در مراحل قبلی پس از ادغام در سه کلاس نواحی شهری، نواحی بایر و پوشش گیاهی و هر یک از آنها در لایه‌ای جداگانه برای انجام مدل سازی در نرم افزار IDRISI آماده سازی شد.

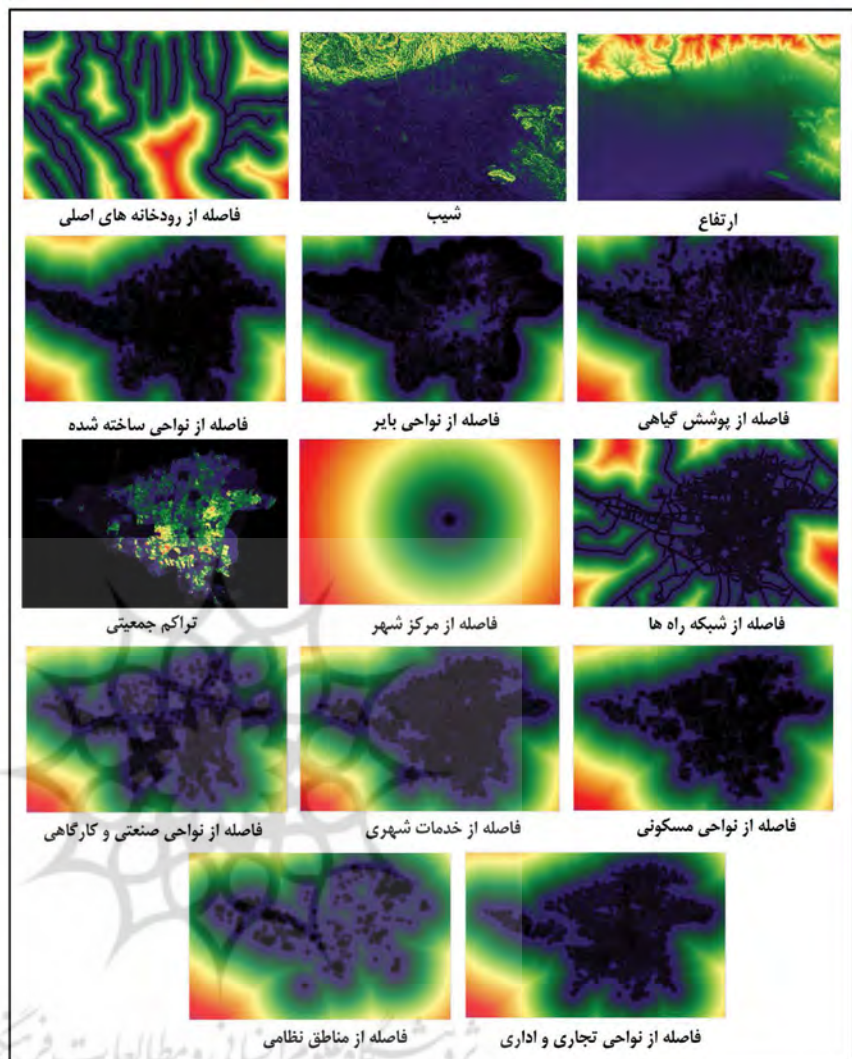
نشان می‌دهد که در هر دو دوره، کاربری شهری دارای بیشترین تغییرات مساحت نسبت به سایر کاربری‌ها می‌باشد، بطوری که مساحت این کلاس از ۳۵/۶۴٪ مساحت کل منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۸۸ به ۵۲/۵۸٪ رسیده، و در دوره بعدی افزایش ۶/۴۲٪ داشته است، یعنی در کل افزایشی در حدود ۲۲ هزار هکتار را در طی این دو دوره تجربه کرده است. توزیع مکانی رشد شهری در دوره اول طوری است که، بیشترین میزان رشد شهری به ترتیب در ناحیه شمال غرب، غرب و شمال شرق و در دوره دوم این رشد به ترتیب در ناحیه غرب و شمال شرق منطقه مورد مطالعه رخ داده است. همچنین از نظر آهنگ رشد شهری، دوره اول دارای شتاب زیادی بوده، در حالی که در دوره دوم این شتاب در حدود سه برابر کاهش یافته است (جدول ۳ نشانگر کمیت تغییرات پوشش زمین در بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ است).

۳-۳-۱- بررسی عوامل و نیروهای محرکه رشد شهری

همانطور که در پیشینه تحقیق اشاره شد تحقیقات بسیاری در مورد مدل سازی رشد شهر با استفاده از خودکارهای سلولی انجام گرفته است که هر یک از آنها به نحوی سعی در کشف

۳-۳-۲ مدل سازی رشد شهری

به منظور آنکه مدل سازی به شکل بهتری انجام پذیرد می‌توان



نگاره ۵ - مجموعه متغیرهای محیطی - طبیعی و اجتماعی - اقتصادی

حالیکه از نظر ارتفاع، شیب و نزدیکی به راه‌ها در شرایط خوبی قرار ندارد. اما مؤلفه‌های دیگر اثر جبرانی بسیار زیادی ایفا کرده‌اند. بنابراین در پژوهش حاضر، از تمامی متغیرهایی که به نظر می‌رسید در رشد شهر تهران مؤثر هستند استفاده شد و به منظور بررسی میزان و نحوه اثر متغیرها از مدل رگرسیون لجستیک که یک مدل آماری است استفاده شد.

به این ترتیب متغیری که تأثیر چندانی در رشد شهر طی برهه زمانی قبل ندارد وزن کمتری هم در مدل‌سازی حال و پیش‌بینی آینده به خود اختصاص می‌دهد و بالعکس متغیری که تأثیر بیشتری دارد وزن بیشتری هم خواهد گرفت. متغیرهای تأثیرگذار در رابطه با رشد شهری بر اساس مطالعات پیشین (Poelmans and Van Rompaey, 2009: 17-27; Dubovyk et al, 2011: 235-246) و در قالب

ارتباط بین رشد شهر و متغیرها و مؤلفه‌های مؤثر در آن داشته‌اند اما به گمان نگارنده با توجه به ماهیت پویایی شهر و وابستگی بسیار زیاد آن به رفتارهای انسانی بررسی آن با بررسی پدیده‌های طبیعی مانند بیابان‌زایی، فرسایش یا خشکسالی بسیار متفاوت است. ضمن آنکه علل رشد هر شهر می‌تواند با سایر شهرها تفاوت‌های قابل‌تأملی داشته باشد و نمی‌توان برای رشد همه شهرها مدل واحدی ارائه کرد. همچنین قوانین و مقررات ساخت و ساز در شهرها نیز با یکدیگر بسیار متفاوت است و تأثیرات قابل توجهی در میزان و چگونگی رشد شهر خواهد گذاشت. به عنوان مثال در ارتفاعات شمالی تهران که در واقع در دامنه جنوبی رشته کوه البرز قرار دارد مشاهده می‌شود که در برهه‌های زمانی بررسی شده رشد شهر به طور نسبی بالاتر بوده است در

جدول ۴ - متغیرهای مؤثر در رابطه با گسترش شهری در دوره‌های ۲۰۰۲ - ۱۹۸۸ و ۲۰۱۳ - ۲۰۰۲ و ضریب تأثیر آنها

دوره ۲۰۱۳ - ۲۰۰۲		دوره ۱۹۸۸ - ۲۰۰۲	
ضریب متغیر	متغیرها	ضریب متغیر	متغیرها
-۱/۸۹۳۱	عرض از مبدا	-۰/۳۳۱	عرض از مبدا
-۰/۰۶۳۹	فاصله از نواحی بایر	-۰/۳۵۸۹	فاصله از نواحی بایر
-۰/۰۵۸	فاصله از پوشش گیاهی	-۰/۰۴۱۲	فاصله از نواحی شهری
-۰/۰۵۶۹	فاصله از نواحی مسکونی	-۰/۰۳۸	فاصله از شبکه راه ها
-۰/۰۴۳۲	فاصله از نواحی شهری	-۰/۰۲۴۶	شیب
-۰/۰۲۶	شیب	-۰/۰۱۹	فاصله از نواحی مسکونی
-۰/۰۱۵۵	تراکم جمعیتی	۰/۰۱۷۶	فاصله از نواحی صنعتی و کارگاهی
۰/۰۱۱	فاصله از نواحی صنعتی و کارگاهی	-۰/۰۱۶۸	فاصله از نواحی تجاری و اداری
۰/۰۰۸۷	فاصله از نواحی تجاری و اداری	۰/۰۱۰۴	ارتفاع
۰/۰۰۸	فاصله از شبکه راه ها	-۰/۰۰۸۴	تراکم جمعیتی
-۰/۰۰۷۲	فاصله از مناطق نظامی	-۰/۰۰۸۴	فاصله از پوشش گیاهی
۰/۰۰۶	فاصله از مرکز شهر	-۰/۰۰۵۹	فاصله از خدمات شهری
۰/۰۰۳	ارتفاع	۰/۰۰۴۲	فاصله از مناطق نظامی
-۰/۰۰۰۵۸۲۷	فاصله از رودخانه	-۰/۰۰۱۱	فاصله از رودخانه
۰/۰۰۰۱۲۶۴	فاصله از خدمات شهری	-۰/۰۰۰۳۶۴	فاصله از مرکز شهر

رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین در این دوره رشد شهری به سمت ارتفاعات و مناطقی با تراکم جمعیتی پایین گرایش پیدا می‌کند، به عبارت ساده‌تر، رشد شهری بیشتر به مناطق شمالی، یعنی جاهایی که ارتفاع بیشتر شده و تراکم جمعیتی آن نسبت به مرکز و جنوب شهر کمتر است سوق می‌یابد.

در ۲۰۱۳ - ۲۰۰۲ نیز همانند دوره ۱۹۸۸ - ۲۰۰۲، فاصله از نواحی بایر دارای بیشترین ضریب تأثیر در توسعه کلاس شهری بوده و متعاقب آن فاصله از پوشش گیاهی، فاصله از نواحی مسکونی و فاصله از نواحی شهری قرار دارند. افزایش میزان فاکتورهای شیب و تراکم جمعیتی نیز باعث کاهش رشد شهری می‌شوند (جزئیات مربوط به تأثیر متغیرهای مؤثر در رشد شهری با گسترش آن در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۲ و همچنین دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ را می‌توان در جدول (۴) مشاهده کرد). همچنین ارزیابی عملکرد رگرسیون با استفاده از دو شاخص Pseudo R2 و ROC برای هر دوره با مقادیر ۰/۳۲ و ۰/۸۹ برای دوره اول و ۰/۲۲ و ۰/۸۴ برای دوره دوم نشانگر برازش خوب رگرسیون و قابلیت تشریحی مناسب آن است.

مجموعه متغیرهای محیطی - طبیعی و اجتماعی - اقتصادی می‌باشند. (این مجموعه متغیرها در نگاره ۵ نشان داده شده‌اند)، برای استفاده از هر متغیری که فاصله در آن حائز اهمیت است از تابعی استفاده شده که در هر نقطه مقدار عددی کمترین فاصله را برمی‌گرداند و طبقه‌بندی انجام نگرفته است. تنها به منظور ورود به مدل و تفسیر بهتر نتایج، در بازه صفر تا ۲۵۵ استانداردسازی شده‌اند.

در مرحله بعدی ده درصد از پیکسل‌ها به صورت روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌بندی شده^۱ به عنوان نمونه معرفی گشته، و در نهایت با بهره‌گیری از رگرسیون لجستیک، تأثیر هر کدام از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته (که در اینجا تغییرات ایجاد شده در شهر می‌باشد) بین دو دوره بررسی گردید.

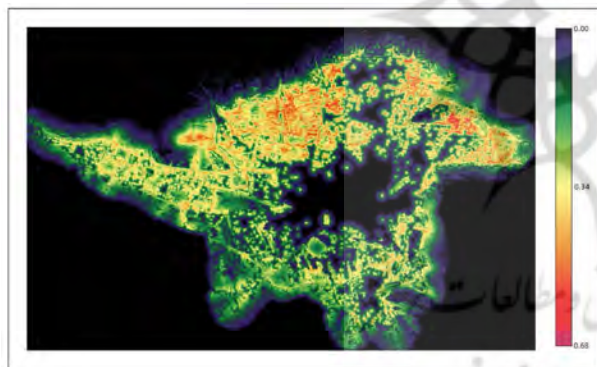
نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک حاکی از این واقعیت است که در دوره ۱۹۸۸ - ۲۰۰۲، فاصله از نواحی بایر دارای بیشترین تأثیر در رشد شهری بوده و سه متغیر فاصله از نواحی شهری، فاصله از شبکه راه‌ها و عامل شیب، به ترتیب در

1- Stratified random sampling

جدول ۶ - ماتریس مساحت گذار محاسبه شده برای سال ۲۰۱۳ (به هکتار)

	پوشش گیاهی	اراضی شهری	اراضی بایر
پوشش گیاهی	۵۲۲۹/۸۱	۲۳۵۲/۶۹	۲۱۰۳/۳۹
اراضی شهری	۰	۵۰۴۶۴/۴۴	۰
اراضی بایر	۱۵۷۱/۴	۷۴۴۹/۴۸	۲۴۳۶۴/۸۹

۳-۲-۲- نقشه احتمال گسترش شهری برای دوره آتی
نگاره (۶) نشان دهنده اراضی محتمل برای گسترش آتی کاربری شهری که بوسیله مدل رگرسیون لجستیک بر اساس روابط متغیرهای مؤثر در رابطه با گسترش شهری در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۲ ایجاد شده است. بیشترین احتمال گسترش شهری در محدوده شمال و شمال غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد و حاشیه‌های جنوبی احتمال کمتری برای رشد شهری دارند.



نگاره ۶ - اراضی محتمل برای گسترش آتی کاربری شهری

۳-۲-۳- شبیه‌سازی رشد شهری برای سال ۲۰۱۳ با استفاده از خودکاره‌های سلولی

خودکاره‌های سلولی به صورت یک فرآیند تخصیص زمین رقابتی می‌باشد که در آن وضعیت پیکسل‌های کلاس‌های کاربری اراضی تحت تأثیر وضعیت سابق آن وضعیت همسایگان آن برپایه قوانین گذار یا قوانین تعریف شده برای رشد شهری، تغییر می‌کند. در اینجا وضعیت سابق پیکسل‌های کلاس‌های کاربری، تصویر طبقه‌بندی شده برای سال ۲۰۰۲ است و قوانین گذار،

۳-۲-۳- شبیه‌سازی رشد شهری برای سال ۲۰۱۳
در این بخش برای ارزیابی بهینگی و اعتبارسنجی مدل مورد ارائه با استفاده از ورودی‌های نقشه احتمالی برای توسعه دوره آتی کاربری شهری، به وسیله رگرسیون لجستیک و همچنین محاسبه ماتریس گذار توسط تحلیل زنجیره مارکوف با بهره‌گیری از خودکاره‌های سلولی رشد شهری برای سال ۲۰۱۳ شبیه‌سازی می‌شود. شرح تفصیلی این فرایند به صورت زیر می‌باشد.

۳-۲-۳-۱- محاسبه ماتریس گذار با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف برای سال ۲۰۱۳

فرآیند مارکوف کمیت مساحتی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری را در زمان آینده به وسیله کمیت تغییرات صورت گرفته در زمان گذشته، با محاسبه ماتریس احتمال گذار کاربری‌های اراضی به یکدیگر پیش‌بینی می‌کند.

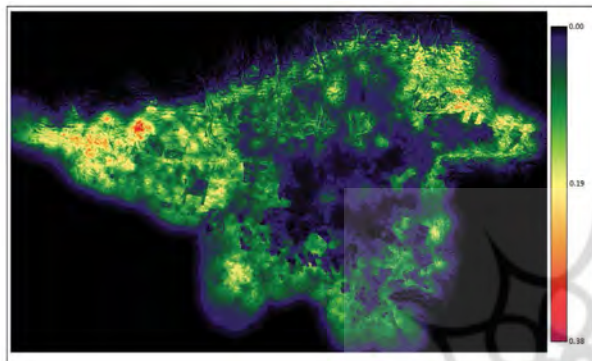
در واقع ماتریس احتمال گذار بیان‌کننده احتمالی است که هر پیکسل در کلاس خود می‌تواند به دیگر کلاس‌ها در طی دوره زمانی معین تبدیل گردد. در اینجا تغییرات صورت گرفته در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۲ مبنایی برای محاسبه ماتریس احتمال گذار برای سال ۲۰۱۳ بوده است.

بدین ترتیب با داشتن کمیت تغییرات پوشش زمین در دوره ۲۰۰۲-۱۹۸۸، ماتریس احتمال و ماتریس مساحت گذار محاسبه شده برای سال ۲۰۱۳ در جداول (۵ و ۶) نمایش داده شده است. اعداد موجود در قطر اصلی ماتریس احتمال گذار بیان‌کننده احتمال تغییر نکردن کلاس‌های کاربری و سایر اعداد بیان‌کننده احتمال گذار کلاس‌های کاربری به یکدیگر می‌باشد.

جدول ۵ - ماتریس احتمال گذار محاسبه شده برای سال ۲۰۱۳

	پوشش گیاهی	اراضی شهری	اراضی بایر
پوشش گیاهی	۰/۶۳۲۲	۰/۱۹۴۲	۰/۱۷۳۶
اراضی شهری	۰	۱۰۰۰۰	۰
اراضی بایر	۰/۴۷۱	۰/۲۲۳۱	۰/۷۲۹۸

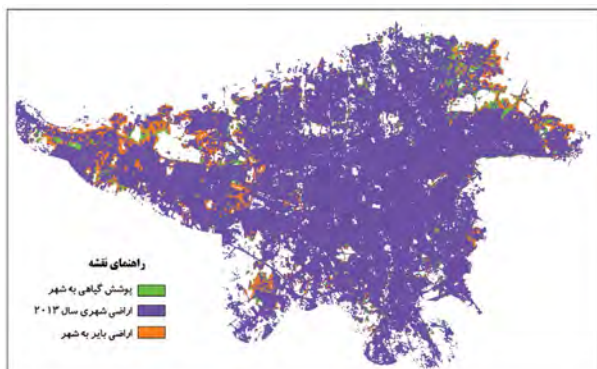
وجود آمده با استفاده از رگرسیون لجستیک که بر اساس روابط متغیرهای مؤثر در رابطه با گسترش شهری در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ ایجاد شده است (نگاره ۹) و ماتریس مساحت گذار (جدول ۷) برای تخصیص مساحت مورد نیاز تغییرات و همچنین وضعیت سابق کلاس‌های کاربری که در اینجا نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ می‌باشد، رشد شهری برای سال ۲۰۲۵ پیش بینی شد. نتیجه نهایی در نگاره (۱۰) نمایش داده شده است.



نگاره ۹ - اراضی محتمل برای گسترش کاربری شهری بعد از سال ۲۰۱۳

جدول ۷ - ماتریس مساحت گذار محاسبه شده برای سال ۲۰۲۵ (به هکتار)

	پوشش گیاهی	اراضی شهری	اراضی بایر
پوشش گیاهی	۵۱۲۰/۷۳	۱۹۱۳/۴	۱۷/۲۴۲۲
اراضی شهری	۰	۵۶۶۳۳/۶۷	۰
اراضی بایر	۲۲۷۹/۶۱	۳۸۷۵/۶۷	۲۳۷۲۰/۷۶

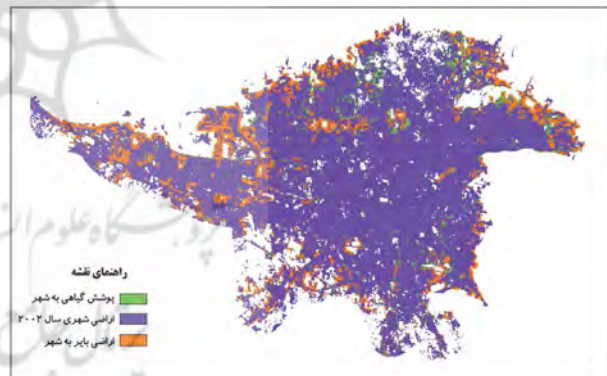


نگاره ۱۰ - پیش بینی رشد شهری برای سال ۲۰۲۵

نقشه احتمال گسترش شهری برای دوره آتی که به وسیله رگرسیون لجستیک ایجاد شده است، می‌باشد و تخصیص آن مبتنی است بر یک فیلتر مجاورت پنج در پنج، که در نگاره (۷) نشان داده شده است. همچنین مقدار مساحت مورد تخصیص به وسیله خودکاره‌های سلولی، بر اساس ماتریس مساحت گذار محاسبه شده به وسیله تحلیل زنجیره مارکوف می‌باشد. نتیجه نهایی شبیه سازی رشد شهری برای سال ۲۰۱۳ در نگاره (۸) نشان داده شده است.

0	0	1	0	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1
0	1	1	1	0
0	0	1	0	0

نگاره ۷ - فیلتر مجاورت ۵×۵ مورد استفاده برای تخصیص زمین با استفاده از خودکاره‌های سلولی



نگاره ۸ - شبیه‌سازی رشد شهری برای سال ۲۰۱۳

مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی رشد شهری با توسعه واقعی صورت گرفته ضریب کاپای ۰/۸۷ را نشان می‌دهد که از دقت رضایت بخش مدل بکار گرفته شده حکایت دارد.

۳-۳-۳ - پیش‌بینی رشد شهری برای سال ۲۰۲۵ با استفاده از خودکاره‌های سلولی

در نهایت با استفاده از مدل ترکیبی خودکاره‌های سلولی و زنجیره مارکوف با بهره‌گیری از نقشه احتمال گسترش شهری به

در بخش ۳-۳-۱ نیز مفصل توضیح داده شد مدل رگرسیون لجستیک نسبت به آن دارای برتری است.

۵- نتیجه گیری

نتایج بررسی متغیرهای مؤثر در دوره اول، نشان می‌دهد متغیرهای فاصله از نواحی بایر، فاصله از نواحی شهری، فاصله از شبکه راه‌ها و عامل شیب نسبت به سایر متغیرها تأثیرگذاری بیشتری دارد. همچنین ارزیابی عملکرد رگرسیون با استفاده از دو شاخص Pseudo R2 و ROC با مقادیر به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۸۹ نشانگر برازش خوب رگرسیون و قابلیت تشریحی مناسب آن است. در دوره دوم نیز مدل سازی انجام شده برای سال ۲۰۱۳ با دقت برآورد مساحت ۹۳/۵۷ درصد و کاپای ۰/۸۷ بر موفقیات این مدل سازی تأکید دارد. در نهایت توسعه شهری برای سال ۲۰۲۵ پیش‌بینی شد.

به صورتی که همانند ادوار قبل ابتدا میزان تأثیر هر کدام از متغیرهای مؤثر در رشد شهری در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ میلادی به وسیله رگرسیون لجستیک بررسی شد. در این بررسی به ترتیب فاصله از نواحی بایر، فاصله از پوشش گیاهی، فاصله از نواحی مسکونی و فاصله از نواحی شهری، دارای برجسته ترین نقش در توسعه شهری بودند. پیش‌بینی صورت پذیرفته به وسیله ترکیب مدل‌های رگرسیون لجستیک، تحلیل زنجیره مارکوف و خودکاره‌های سلولی برای سال ۲۰۲۵ میلادی نشان دهنده این موضوع است که رشد شهری برای سال ۲۰۲۵ با شتابی همانند دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳، غالباً از جهات غربی و شمال شرقی شهر، در صورت ثابت ماندن ماهیت و میزان تأثیرات عوامل مؤثر در رشد شهری، صورت خواهد گرفت.

۶- پیشنهادات

- بررسی چگونگی و میزان تأثیر سیاست‌گذاری‌ها در رابطه با پوشش زمین و کاربری اراضی و دخیل نمودن متغیرهای طبیعی بیشتر همچون میکرو اقلیم، آلودگی هوا و... در مدل سازی میزان تأثیر عوامل مؤثر بر تغییرات پوشش زمین و همچنین مدل سازی پتانسیل گذار
- به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بهتر، همچون تصاویر ماهواره SPOT برای طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش زمین.

۴- ارزیابی و بحث

تغییرات کاربری صورت گرفته در دو دوره ۲۰۰۲ - ۱۹۸۸ و ۲۰۱۳ - ۲۰۰۲ نشان داد که در هر دو دوره، کاربری شهری دارای بالاترین تغییرات مساحتی نسبت به سایر کاربری‌ها است، به طوری که در دوره اول این تغییرات عمدتاً در شمال غرب، غرب و شمال شرق منطقه مورد مطالعه رخ داده و در دوره بعدی بیشترین میزان رشد شهری به ترتیب در ناحیه غرب و شمال شرق اتفاق افتاده است. از نظر آهنگ رشد شهری دوره اول دارای شتاب زیادی بوده، در حالی که در دوره دوم این شتاب در حدود سه برابر کاهش یافته است.

در گام بعدی با استفاده از ترکیب مدل‌های رگرسیون لجستیک، تحلیل زنجیره مارکوف و خودکاره‌های سلولی به مدل سازی و پیش بینی رشد شهری اقدام شد. مهم‌ترین اهدافی که از ترکیب این سه مدل با یکدیگر وجود دارد عبارت است از: (۱) بهره‌گیری از رگرسیون لجستیک برای بررسی متغیرهای مؤثر و کمی سازی روابط آنها با رشد شهری و همچنین ایجاد نقشه احتمال و تعیین مکان‌های مستعد برای توسعه شهری، (۲) استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف برای کمی سازی مساحت تغییرات برای مدل سازی آتی، (۳) استفاده از مدل خودکاره‌های سلولی به صورت ابزاری برای تخصیص مکانی توسعه شهری، که این امر بر اساس نقشه احتمالی ایجاد شده و مقدار مساحت پیش بینی شده انجام می‌شود. مزایای استفاده از این مدل امکان استفاده از متغیرهای محیطی - طبیعی و اجتماعی - اقتصادی و یا هر فاکتور مکانی مؤثر در رشد شهری بود که در دیگر مدل‌های بر پایه خودکاره‌های سلولی همچون SLUETH که یک مدل آماده و غیر قابل تغییر است، قابل استفاده نبود.

در بسیاری از پژوهش‌های مشابه صورت گرفته، به منظور تعیین وزن متغیرهای مؤثر از روش تحلیل سلسله مراتبی و سپس استفاده از روش ارزیابی چند معیاره استفاده می‌شود که نتایج آن بستگی زیادی به نظر کارشناسان دارد و نیاز است قبل از این مرحله متغیرهای کم اهمیت و دارای همبستگی، شناسایی و حذف گردد. در مجموع هر چند این روش برای دستیابی به قوانین گذار دشواری کمتری در پیش دارد اما همانگونه که

eCognition® Developer 8.9 User Guide, 2013, pp: 30-38, 108-116.

9- Guan, Dongjie, Hifeng.li, Takuro, inohae, weici, su, tadashi, nagaie, kazunori, hukao, (2011), Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, ecological modelling 222, pp: 3761-3772.

10- Liu, Yan (2009) Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata, CRC Press, Taylor & Francis Group, pp 28-29.

11- Menard, A. and D. Marceau (2005). "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata". Environment and Planning B: Planning and Design 32(5): 693-714.

12- Poelmans, L., Van Rompaey, A., (2009). Complexity and performance of urban expansion models. Computers, Environment and Urban Systems 34 (1), 17-27.

13- White, R., and G. Engelen. (1997). Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. Environment and Planning B-Planning & Design 24:235-246.

14- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. Nature. 311: 419-24. P 35

15- Zhang, Rongqun, Tang, Chengjie, Ma, Suhua, Yuan, Hui, Gao, Lingling, Fan, Wenyu (2010) Using Markov chains to analyze changes in wetland trends in arid Yinchuan Plain, China, Mathematical and Computer Modelling 54 (2011) 924-930

منابع و مأخذ

۱- رضازاده، میراحمدی؛ راضیه، مهرداد؛ مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه سازی رشد شهری، نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش، سال چهارم، شماره ۱، جلد ۱، پاییز ۱۳۸۸.

2- Almeida, C. M. Monteiro, A. M. V., Ca'mara, G., Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C. & Pennachin C. L. (2002) Modeling urban land use dynamics through Bayesian probabilistic methods in a cellular automaton environment, Proceedings of the 29th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Buenos Aires, Argentina, 8-12 April.

3- Batty, M., 2007, Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals, Journal of Regional Science, Volume 47, Issue 3, pages 624-627.

4- Benito, P.R., Cuevas, J.A., delaParra, R.B., Prieto, F., delBarrio, J.M.G., Zavala, M.A., (2010). Land use change in a Mediterranean metropolitan region and its periphery: assessment of conservation policies through CORINE Land Cover data and Markov models. Forest Systems 19, 315-328.

5- Cabral, P., Zamyatin, A., (2009). Markov processes in modeling land use and land cover changes in Sintra-Cascais, Portugal. Dyna-Colombia 76, 191-198.

Clark, W.A., and P.L. Hosking, (1986). Statistical Methods for Geographers (Chapter 13). John Wiley & Sons, New York. 528

6- Dietzel, C. and K.C. Clarke (2004). "Spatial differences in multi-resolution urban automata modeling". Transactions in GIS 8(4): 479-492.

7- DiGregorio, S., Festa, D., Gattuso, D., Rongo, R., Spataro, W., Spezzano, G. and Vitetta, A (1996). Cellular automata for freeway traffic simulation. In Artificial worlds and urban studies, Eds. E. Besussi and A. Cecchini, DAEST, Venice. 365-392.

8- Dubovyk, O., Sliuzas, R., Flacke, J., (2011). Spatio-temporal modelling of informal settlements development in Sancaktepe district, Istanbul, Turkey. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66 (2), 235-246.