

## شبیه‌سازی رشد شهری تبریز با استفاده از مدل CA-Markov و تصمیم‌گیری چندمعیاره

نورالدین میثاق\* - دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
نجمه نسانی سامانی - استادیار سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
آرا تومانیان - استادیار سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۱

### چکیده

امروزه شهرهای کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته، به‌طور هم‌زمان در حال تجربه تغییرات سریع و رشد در مساحت و جمعیت هستند. لازمه مدیریت رشد شهری پایدار و برنامه‌ریزی توسعه شهری، درک الگوهای صحیح رشد شهری است. در این تحقیق سعی شده تا روند گسترش مناطق شهری تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲ برآورد، و نقشه رشد شهری سال ۱۴۰۷ با استفاده از مدل ترکیبی مارکوف-سلول‌های خودکار (CA-Markov) شبیه‌سازی شود. نتایج نشان می‌دهد در این مدت مناطق شهری در سال ۱۳۷۲ از ۷۰ هزار و ۹۰ به ۱۱ هزار و ۶۹۷ هکتار در سال ۱۳۹۲ افزایش داشته است که ۶۴/۹۸ درصد رشد را نشان می‌دهد، همچنین با استفاده از مدل CA-Markov با دقت کلی ۹۱ درصد می‌توان گفت این افزایش در پانزده سال آینده، یعنی تا سال ۱۴۰۷ نیز ادامه خواهد داشت و با رشد ۲۵ درصدی در مقایسه با سال ۱۳۹۲ به ۱۴ هزار و ۶۹۰ هکتار خواهد رسید، با توجه به این مسئله نیاز به برنامه‌ریزی مناسب به‌منظور کاهش آسیب‌های ناشی از رشد شهری به دیگر ابعاد شهری احساس می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبریز، رشد شهری، سنجش‌ازدور، CA-Markov، AHP.

## مقدمه

در حال حاضر ۵۴/۶ درصد از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ میلادی، این مقدار به ۶۶/۷ درصد برسد. گفتنی است جمعیت شهرهای جهان رشد سریعی داشته و از ۷۴۶ میلیون نفر در سال ۱۹۵۰ به ۳ میلیارد و ۹۰۰ میلیون نفر در سال ۲۰۱۴ رسیده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، شهرنشینی همراه با رشد جمعیت، ۲/۵ میلیارد نفر به جمعیت شهرنشین‌های جهان بیفزاید که این افزایش قریب به ۹۰ درصدی بیشتر در آسیا و آفریقا خواهد بود (گزارش سازمان ملل، ۲۰۱۴). رشد شهرنشینی ایران در نیم‌قرن اخیر، به‌ویژه از دهه ۱۳۵۵، سرعت زیادی گرفته است. ۳۱/۴ درصد از کل جمعیت ایران در سال ۱۳۳۵ در شهرها زندگی می‌کردند که در سال ۱۳۵۵ به ۴۷ درصد، در سال ۱۳۶۵ به ۵۴/۳ درصد و در حال حاضر به ۷۲ درصد رسیده (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) و میانگین رشد جمعیت شهری کشور در طول این دوره بیش از چهار برابر میزان رشد جمعیت روستایی بوده است. توسعه کنترل‌نشده مناطق شهری، به مسائل گسترده محیطی و اجتماعی می‌انجامد و به نگرانی اصلی برای طراحان و سیاستمداران شهری در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه منجر می‌شود (فرنکل و اشکنازی، ۲۰۰۸: ۱۰۰؛ بروچکر، ۲۰۰۰: ۱۶۵).

توسعه مهارنشده و بی‌رویه شهری، موجب پراکنده‌شدن قطعات ساخته‌نشده بین قطعات ساخته‌شده (سولیان و لول، ۲۰۰۶: ۱۶۵)، اسراف در استفاده از منابع طبیعی و زمین (استرام و کوهن، ۲۰۰۶: ۴۸۹)، اتلاف انرژی و آلودگی ناشی از رفت‌وآمد زیاد اتومبیل‌ها (بروچل و موخرجی، ۲۰۰۳: ۱۵۳۶) تشدید جدایی‌گزینی اجتماعی، تخریب محیط زیست و ازدست‌رفتن تنوع زیستی (آلبرتی، ۲۰۰۵: ۱۷۸) مصرف نابه‌جا و غیرعادلانه هزینه‌های توسعه و عمران در نواحی مختلف می‌شود (ریچاردسون و بای، ۲۰۰۴: ۱۱۶). در این بین، تبدیل زمین‌های طبیعی به مناطق شهری تأثیرات شدیدی بر اکوسیستم، تنوع زیستی، سیستم‌های هیدرولوژیکی و آب‌وهوا دارد (چو و دیگران، ۲۰۰۷: ۹۲۶). از آنجا که گسترش شهری روندی اجتناب‌ناپذیر است، تلاش‌های برنامه‌ریزان شهری در راستای هدایت آن به نحوی است که منابع طبیعی و نیازها و حقوق مردم حفظ شود (میلاس، ۱۹۸۱، ۲۰۲). با توجه به تأثیر اساسی شکل شهر بر پایداری آن، لزوم شناخت، مطالعه و درک ابعاد مختلف آن و هدایتش در راستای توسعه پایدار ضروری است (ویلیام و بورتون، ۲۰۰۰: ۴)؛ بدین ترتیب، پژوهشگران، طراحان و تصمیم‌گیران در حوزه مدیریت محیط زیست، منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری به‌منظور اتخاذ تصمیم و ارائه طرح‌های کاربردی برای آینده، بیش‌ازپیش اطلاعات دقیقی در رابطه با تغییرات کاربری و رشد شهری دارند و درکی جامع از نیروهای مؤثر بر این تغییرات شهری، برنامه‌ریزی و کنترل زمین و تحولات آن برای تصمیم‌گیرهای صحیح در آینده، به‌منظور طراحی کاربری زمین مورد نیاز است (خاکپور و دیگران، ۱۳۸۶: ۲).

کمتر شهری در ایران وجود دارد که با مشکلات ناشی از توسعه و گسترش شهری مواجه نباشد. کلان‌شهر تبریز، بزرگ‌ترین شهر شمال غرب ایران و پنجمین شهر پرجمعیت ایران، نمونه‌ای از این شهرهاست که رشد و توسعه سریع آن طی دهه‌های اخیر، سازمان فضایی و نظام محله‌بندی سنتی آن را درهم‌شکسته و شهری که تا چند دهه پیش در فضایی محدود، ارگانیک و منسجم شکل گرفته بود و با برج و بارو در فضایی کالبدی سخت محصور بود، امروزه گسترش زیادی یافته و گرفتار ساختاری متخلخل و ناموزون شده است. در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از تصاویر ماهواره‌اندست، سنجنده TM5 و OLI ماهواره‌اندست و قابلیت‌های نرم‌افزارهای IDRISI 17.0 و ArcGIS 10.2 تغییرات مناطق رشد شهری تبریز در طول بیست سال، از ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲ با جزئیات بیشتری برآورد، و با استفاده از مدل ترکیبی مارکوف و سلول‌های خودکار، چگونگی تغییرات مناطق شهری تا سال ۱۴۰۷ پیش‌بینی و شبیه‌سازی شود.

## مبانی نظری

توسعه مناسب شهری زمانی محقق می‌شود که از سرزمین به تناسب قابلیت‌های آن استفاده شود، برای این منظور لازم است مهم‌ترین عوامل دخیل در توسعه شهری تعیین، و نواحی گسترش شهر با توجه به روند کنونی شبیه‌سازی شود. پایش جهات توسعه شهری و پیش‌بینی آن اطلاعات پایه‌ای و مورد نیاز برای طراحی و برنامه‌ریزی بلندمدت شهر است. متأسفانه نقشه‌برداری زمینی گران است و به زمان زیادی نیاز دارد، البته بیشتر شهرهای در حال توسعه این نقشه‌های زمینی را در زمان‌های مختلف ندارند؛ بدین منظور در بیشتر تحقیقات پایش رشد شهری از جی‌آی‌اس و فناوری سنجش‌ازدور استفاده می‌شود (سودهیرا و دیگران، ۲۰۰۴: ۳۱). امروزه تصاویر ماهواره‌ای سنجش‌ازدور به دلیل مزایای زیادی مانند هزینه و زمان بسیار کمتر، تکرار تصویربرداری، داشتن دید وسیع و قدرت تفکیک مکانی مناسب به طور گسترده در مباحث شهری استفاده می‌شود (دونی و دیگران، ۲۰۰۳: ۶۳). گفتنی است سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS و سیستم‌های مدیریت پایگاه داده با قابلیت‌های نمایش، ذخیره‌سازی و آنالیز داده‌های رقومی به پایش، مدل‌سازی و پیش‌بینی اسپرال و رشد پراکنده شهری کمک کرده‌اند (لانگلی، ۲۰۰۰: ۲۲).

مطالعات متعددی به منظور کمی کردن، اندازه‌گیری الگوها و تجزیه و تحلیل روند رشد شهری انجام شده است. استفاده از ماتریس انتقال (لی و یه، ۱۹۹۸: ۱۵۰۲؛ سونار، ۱۹۹۸: ۲۲۶؛ مدحاوان و دیگران، ۲۰۰۱: ۷۹۱)، متریک‌های فضایی و سرزمین (هرولد و دیگران، ۲۰۰۵: ۳۷۱)، آمارهای فضایی (تورنس و دیگران، ۲۰۰۰: ۲)، روش سلول‌های خودکار (وایت و دیگران، ۱۹۹۹: ۱۸۱) و روش آنتروپی (سون و دیگران، ۲۰۰۷: ۳۵۷؛ یه و خیرا، ۲۰۰۱: ۹۳۸) از جمله روش‌های متداول بررسی میزان تغییرات و رشد شهری بوده‌اند. مدل ترکیبی مارکوف با سلول‌های خودکار (CA-Markov) با تعیین احتمال تغییرات کاربری/ پوشش سرزمین در فرایند زنجیره مارکوف و شبیه‌سازی تغییرات مکانی آن از راه تعیین قوانین محلی با استفاده از فیلتر مکانی سلول‌های خودکار و نقشه‌های شایستگی کاربری‌ها به مدل‌سازی دینامیک تغییرات زمانی و مکانی کاربری/ پوشش سرزمین می‌پردازد (خوش‌گفتار، ۱۳۸۷: ۳۳). مدل CA-Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به کار می‌رود. در ابتدا با به کارگیری مدل زنجیره مارکوف، احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین زمان  $t_0$  و  $t_1$  محاسبه می‌شود (سانگ و دیگران، ۲۰۱۱: ۹۴۰). گفتنی است خروجی مدل مارکوف (ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌ها) از نظر ماهیت، غیر مکانی است؛ یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود ندارد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌ها در زمان  $t_{+1}$  فن سلول‌های خودکار به همراه این مدل به کار گرفته می‌شود. در حقیقت مدل CA-Markov مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر را به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند. در ادامه برخی مطالعاتی که محققان داخلی و خارجی به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Markov انجام داده‌اند، بیان می‌شود.

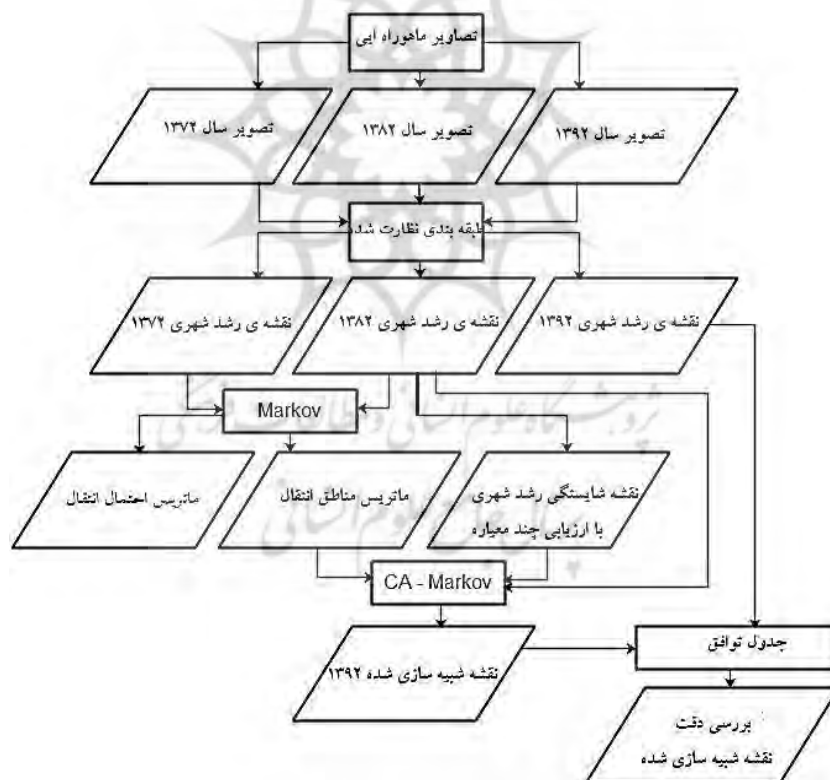
هنریگز و دیگران نقشه‌های شهری را در سه زمان مختلف با استفاده از تصاویر فتوگرامتری هوایی و مدل CA-Markov رشد شهری مناطق ساخته شده در لس‌آنجلس را با دقت کلی ۷۹ درصد شبیه‌سازی کردند (هنریگز و مرمر، ۲۰۰۶: ۹۴۵). در مطالعه دیگری کاموسوکو و دیگران این نقشه‌ها را با استفاده از مدل مزبور و داده‌های ماهواره‌ای لندست، در چهار زمان مختلف مربوط به کاربری‌های اراضی ایالت شرقی زیمباوه شبیه‌سازی کردند که دقت کلی برای نقشه‌های سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ به ترتیب ۶۹ و ۸۳ درصد به دست آمد (کاموسوکو و دیگران، ۲۰۱۳: ۱۲۱). از مطالعات خارجی دیگر نیز می‌توان به بررسی تغییرات فضایی و شبیه‌سازی رشد روستاهای ایالت بیجانگ چین (سانگ و دیگران، ۲۰۱۱: ۹۳۹)، رشد کریدور هکسی در چین با تصاویر ماهواره لندست و پیش‌بینی تغییرات سال ۲۰۱۱ با مدل CA-

Markov (یانگ و دیگران، ۲۰۰۴: ۹۲۱) اشاره کرد. خوش‌گفتار و طالعی، به‌منظور شبیه‌سازی رشد شهری تهران در سال ۲۰۲۵ از این مدل به همراه تصاویر ماهواره‌ی لندست در نرم‌افزار ادرسی استفاده کردند و توانستند رشد شهری تهران را با ۷۵ درصد شبیه‌سازی کنند (خوش‌گفتار و طالعی، ۱۳۸۹: ۱۹). ظاهری با تصاویر ماهواره‌ی لندست به بررسی تغییرات شهر تبریز (ظاهری، ۱۳۸۷: ۲۰)، و علی‌محمدی و دیگران با استفاده از مدل مارکوف و تصاویر لندست به مدل‌سازی تغییرات شهر تهران پرداختند (علی‌محمدی و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۱۸).

## روش پژوهش

در این پژوهش از ابزارهای موجود در نرم‌افزار IDRISI SELVA و توابع GIS برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری تبریز استفاده شده که شامل ۳ مرحله اصلی است (شکل ۱).

۱. محاسبه ماتریس احتمال انتقال با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف؛
۲. محاسبه نقشه شایستگی شهری با ارزیابی چندمعیاره و تحلیل سلسله‌مراتبی AHP؛
۳. شبیه‌سازی رشد شهری با مجموعه داده‌هایی مانند نقشه مناطق شهری سال ۱۳۷۲ به‌عنوان نقشه پایه، نقشه شایستگی رشد شهری سال ۱۳۸۲ و ماتریس احتمال انتقال ۱۳۷۲-۱۳۸۲ که با عملگر مکانی CA با یکدیگر تلفیق شده‌اند.



شکل ۱. روند اجرای پژوهش

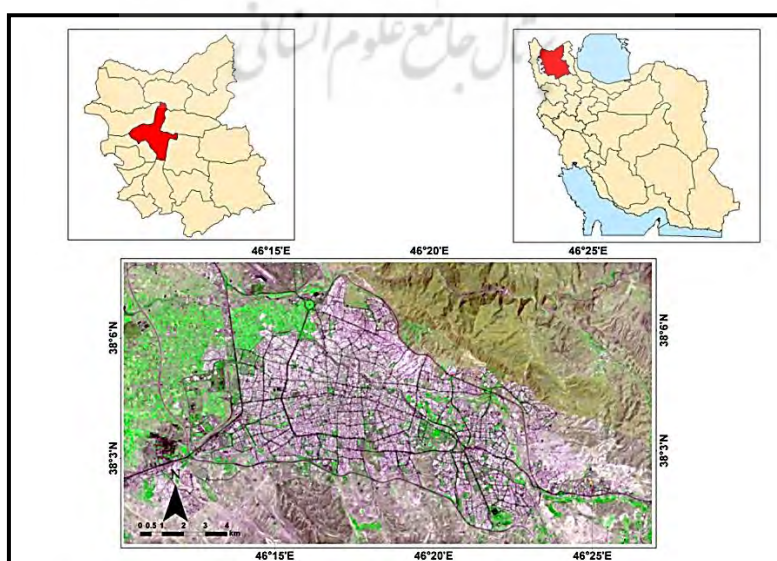
در این پژوهش، به‌منظور شناسایی و ایجاد نقشه‌های کاربری اراضی شهر تبریز، تصاویر سنجنده‌های ماهواره‌ی لندست در سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ از سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS<sup>۱</sup>) گرفته شدند (جدول ۱). گفتنی است تصاویر بدون ابر بوده است و در ماه‌های تیر و مرداد پوشش گیاهی منطقه مورد نظر به رشد حداکثری خود رسیده است. در ادامه، با استفاده از

نرم‌افزار ENVI، محدوده شهر تبریز از تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر جدا شد. از آنجا که تصاویر در سال‌های متفاوتی دریافت شده است، به تصحیحات رادیومتریکی و هندسی نیاز دارد، این تصحیحات با فن کاهش پیکسل تاریک از مقدار DN، و تصحیحات هندسی نیز با روش تصویر به تصویر (جنسن و لولا، ۱۹۸۷: ۳۴۵) با مبنا قراردادن تصویر سال ۱۳۹۲ سنجنده OLI لندست برای تصاویر سال‌های دیگر اعمال، و در سیستم مختصات UTM (WGS-84) ژئورفرنس شد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر دریافتی ماهواره‌ای

ماهواره	سنجنده	روز/ ماه	سال	تفکیک مکانی	ردیف/ گذر
LANDSAT_5	TM	۳/۱۴	۱۳۷۲	۳۰	۱۶۸/۳۴
LANDSAT_5	TM	۲/۲۶	۱۳۸۲	۳۰	۱۶۸/۳۴
LANDSAT_8	OLI_TIRS	۴/۱۹	۱۳۹۲	۳۰	۱۶۸/۳۴

در ادامه، با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده با نقاط تعلیمی و روش حداکثر احتمال (جنسن و لولا، ۱۹۸۷: ۲۴۷)، نقشه کاربری‌های اراضی شهر تبریز برای سه کاربری عمده مناطق شهری (کلاس اول)، اراضی کشاورزی به همراه باغ‌ها (کلاس دوم) و مناطق بایر (کلاس سوم) ایجاد شد، همچنین به منظور ایجاد نقشه شایستگی کاربری اراضی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ شهر تبریز سال ۱۳۹۰ که از سازمان نقشه‌برداری کشور گرفته شده بود استفاده شد. گفتنی است قلمرو جغرافیایی پژوهش، شهر تبریز یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز استان آذربایجان شرقی است که با داشتن ۱ میلیون و ۴۹۴ هزار و ۹۹۸ نفر، بیش از ۴۰ درصد از جمعیت استان را دارد و پنجمین شهر پرجمعیت کشور پس از تهران، اصفهان، مشهد و کرج، و دویست و بیست و ششمین شهر پرجمعیت جهان محسوب می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). تبریز بزرگ‌ترین شهر منطقه شمال غرب ایران و قطب اداری، ارتباطی، بازرگانی، سیاسی، صنعتی، فرهنگی و نظامی این منطقه است که بزرگ‌ترین صنایع سنگین عمده فعال در آن، طیف گسترده‌ای از صنعت سیمان، نساجی، ماشین‌سازی و پتروشیمی را شامل می‌شود (پورتال شهرداری تبریز، ۱۳۹۶). شهر تبریز در ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، و ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است و ارتفاع تقریبی آن از سطح دریا، ۱۳۵۰ متر است. شکل ۲ موقعیت این شهر را در منطقه شمال غرب ایران نمایش می‌دهد.



شکل ۲. موقعیت مکانی شهر تبریز به همراه تصویر سنجنده OLI سال ۱۳۹۲

## تشریح مدل CA-Markov

«آندری آندریچ مارکوف» روسی در سال ۱۹۰۷ زنجیره مارکوف را ارائه کرد که دنباله‌ای از فرایندهای تصادفی بود که در آن نتیجه هر فرایند در هر زمان، تنها به نتیجه فرایند در زمان مجاور آن بستگی دارد (نوریس و دیگران، ۱۹۹۸: ۲۵). گفتنی است هر زنجیره مارکوف با تعدادی از وضعیت‌ها و احتمالات تغییر بین وضعیت‌ها مشخص می‌شود، همچنین مدل‌های مبتنی بر آن اطلاعات پیچیده را در قالب ماتریس تغییر وضعیت گردآوری می‌کند (ونگ، ۲۰۰۲: ۲۷۹)؛ از این رو با کمک این زنجیره می‌توان سیستم‌های بسیار پیچیده و مرکب را که فرایندهای زیربنای در آن شناسایی نمی‌شوند مدل‌سازی کرد. خروجی روش زنجیره‌های مارکوف به شکل ماتریس احتمالی تغییر و یک تصویر خروجی از ماتریس احتمال تغییر برای سال افق است. در مطالعات تغییر کاربری اراضی، با استفاده از این روش می‌توان توزیع مساحتی کاربری زمین در انتهای یک دوره زمانی را با استفاده از توزیع کاربری در ابتدای دوره و ماتریس تغییر وضعیت پیش‌بینی کرد. ماتریس احتمال انتقال به‌دست‌آمده از تحلیل زنجیره مارکوف، ماتریسی  $m \times m$  است و مقدار زمینی را که در بازه زمانی مورد نظر به یک کلاس اختصاص یافته است تعیین می‌کند، همچنین اعداد قطری در این ماتریس نسبت سلول‌هایی را نشان می‌دهد که در طول زمان بدون تغییر می‌ماند (نوریس و دیگران، ۱۹۹۸: ۲۵). رابطه ذیل چگونگی به‌دست آوردن  $P_{ij}$  را نشان می‌دهد:

$$P_{ij}^n = \sum_k P_{ik} P_{kj} \quad (1)$$

در معادله فوق،  $P_{ij}$  احتمال رفتن از وضعیت  $i$  به وضعیت  $j$  را پس از  $n$  گام نشان می‌دهد. معمولاً  $P_{ij}$  را با توجه به وضعیت‌های یک سیستم با یک آرایش مربعی مرتب می‌کنند که نتیجه آن ماتریس مربع  $P_{ij}$  است که ماتریس تغییر وضعیت زنجیره مارکوف نامیده می‌شود:

$$\begin{matrix} P_{..} & P_{.1} & P_{.n} \\ P_{ij} & P_{1.} & P_{1n} \\ P_{n.} & P_{n1} & P_{nn} \end{matrix} \quad (2)$$

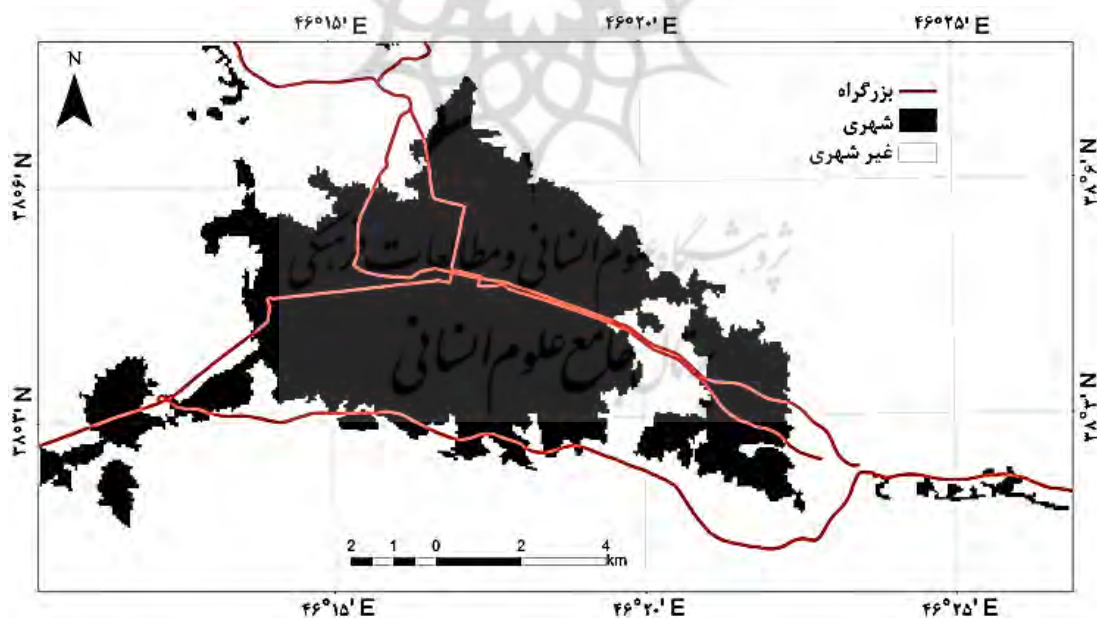
روش سلول‌های خودکار موسوم به CA<sup>۲</sup> مکانیزمی پردازشی با فضای سلولی است که این سلول‌ها ارتباطی متقابل دارند و هریک از آن‌ها دارای یک ارزش (وضعیت) هستند، این وضعیت‌ها در دوره زمانی بعدی، با تأثیر از وضعیت سلول‌های همسایه و برخی قوانین، ممکن است تغییر کند و با وضعیت جدیدی روبه‌رو شود. عناصر تشکیل‌دهنده CA عبارت است از: شبکه سلولی، وضعیت سلولی، همسایگی، زمان و قوانین انتقال (ارسنجانی و دیگران، ۲۰۰۳: ۲۷۲).

شایان ذکر است که قوانین انتقال موتور اصلی تغییرات در مدل CA، رفتار سلول‌ها را طی فرایند تکامل در مراحل زمانی مختلف، مشخص و وضعیت آینده سلول را تعیین می‌کند. این قوانین طرز عمل سیستم واقعی را منعکس، و سیستم‌ها را به عناصر ساده‌ای تجزیه می‌کند که پویایی سیستم در اثر همین عناصر است (سیراکولیس و دیگران، ۲۰۰۰: ۲۱۰). در این بین، قوانین انتقال به‌صورت یکنواخت و هم‌زمان در سراسر سلول‌ها اجرا می‌شود؛ برای مثال، در CA شهری، قوانین انتقال در رابطه با فرایند توسعه شهری تعریف، و نقشه‌های شایستگی سرزمین با استفاده از فاکتورهای تأثیرگذار و محدودیت مکانی رشد شهری (تناسب فیزیکی، دسترسی به حمل‌ونقل و ...) به‌منظور تعریف قوانین انتقال تولید می‌شوند. این نقشه‌ها شایستگی تبدیل هر سلول تصویر را از یک کاربری به کاربری‌های دیگر نشان می‌دهند. مقادیر پیکسل‌های نقشه‌های شایستگی به‌صورت گسسته در دامنه صفر تا ۲۵۵ قرار دارد؛ عدد صفر بیانگر نداشتن

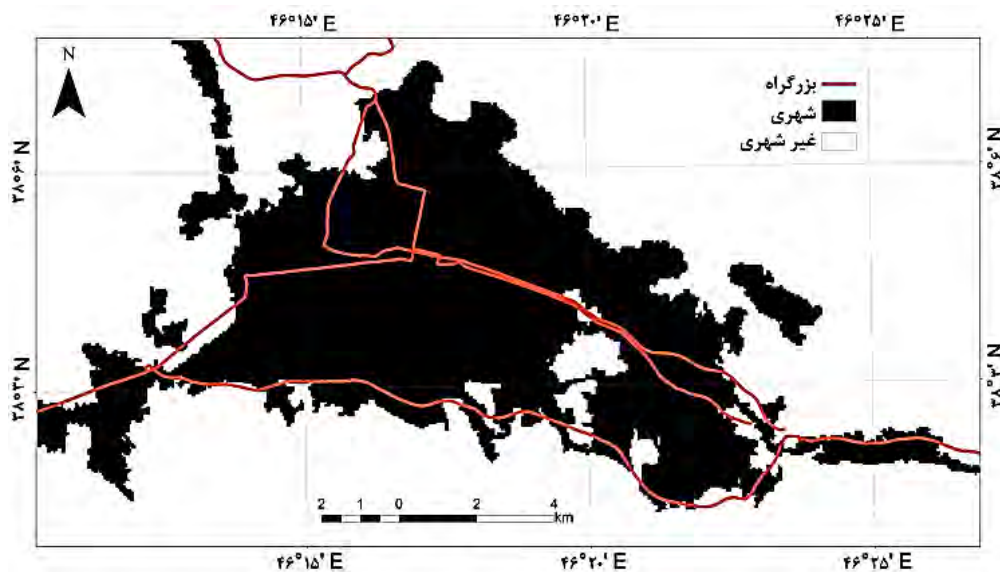
شایستگی و عدد ۲۵۵ نشان‌دهنده حداکثر شایستگی برای تبدیل کاربری از یک طبقه به طبقات دیگر است. در این مطالعه، به‌منظور ایجاد نقشه‌های شایستگی، از ارزیابی چندمعیاره استفاده، و فاکتورهای محدودیت مکانی به همراه فاکتورهای تأثیرگذار رشد شهری شناسایی شده است. محدودیت‌های مکانی شامل مناطق ساخته‌شده قبلی و منابع آبی (حریم پنجاه متری) و فاکتورهای رشد شهری در سه معیار اصلی، بیوفیزیکی (نقشه شیب، فاصله از مناطق آبی)، کاربری زمین (فاصله از مناطق شهری ساخته‌شده) و اجتماعی و اقتصادی (فاصله از مراکز درمانی، آموزشی، تجاری، جاده‌های اصلی و پارک‌های شهری) تقسیم‌بندی شده است. گفتنی است برای سایر کاربری‌ها، تنها فاکتور نوع کاربری سرزمین در تهیه نقشه‌های شایستگی به کار گرفته شده و اهمیت میان فاکتورها با اختصاص وزن نسبی به زوج فاکتورها از طریق پروسه تحلیل سلسله‌مراتبی AHP که ابزاری برای استخراج وزن است (ساعتی، ۱۹۹۷، ۶۸) تعیین شده است. امتیازدهی بین زوج فاکتورها را بیست نفر از کارشناسان برنامه‌ریزی شهری صورت دادند که درنهایت، تحلیل چندمعیاره با مشارکت محدودیت‌ها و فاکتورهای وزن‌دهی‌شده مذکور اجرا، و نقشه شایستگی رشد شهری تولید شد (شکل ۴). همچنین نقشه‌های شایستگی زمین‌های بایر و مزارع کشاورزی تنها براساس محدودیت‌های هر پوشش تهیه شد.

### بحث و یافته‌ها

به‌منظور شبیه‌سازی و بررسی تغییرات رشد شهری، تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ شهر تبریز از سایت زمین‌شناسی آمریکا دریافت، و مناطق ساخته‌شده شهری به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با نقاط تعلیمی و روش حداکثر احتمال استخراج شد (شکل‌های ۳، ۴ و ۷).



شکل ۳. نقشه‌های مناطق شهری تبریز سال ۱۳۷۲



شکل ۴. نقشه‌های مناطق شهری تبریز سال ۱۳۸۲

به‌منظور ارزیابی دقت نقشه‌های تولیدشده از تصاویر ماهواره‌ای، از ماتریس خطا به همراه تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های ۱:۲۰۰۰۰ شهر تبریز، که از سازمان نقشه‌برداری کشور دریافت شده بود استفاده شد. میزان دقت کلی و کاپا برای هر یک از نقشه‌های ایجادشده در جدول ۲ نشان داده شده است. باید توجه داشت که دقت کمتر سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۸۲ در مقایسه با سال ۱۳۹۲ به دلیل کیفیت کمتر سنجنده‌های TM در مقایسه با OLI ماهواره لندست است.

جدول ۲. میزان دقت کلی و کاپای نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده

سال	کاپا	دقت کلی
۱۳۷۲	۰/۷۹	۰/۸۲
۱۳۸۲	۰/۷۹	۰/۸۲
۱۳۹۲	۰/۸۹	۰/۹۲

با توجه به مقایسه رشد جمعیت و مساحت مناطق ساخته‌شده شهری در طول سال‌های مورد نظر می‌توان گفت مساحت مناطق ساخته‌شده شهری به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۸۲ برابر ۷۰۹۰ و ۹۰۶۳ هکتار، و جمعیت نیز به ترتیب ۱ میلیون و ۱۲۸ هزار و ۷۶۳، و ۱ میلیون و ۳۳۱ هزار و ۹۳۳ نفر بوده است که مناطق شهری ۲۷/۸۲ درصد و جمعیت ۱۸ درصد رشد را نشان می‌دهد. در نتیجه، رشد مناطق شهری ۱/۵ برابر بیشتر از رشد جمعیت از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲ بوده است. در نهایت، در سال ۱۳۹۲ مساحت مناطق ساخته‌شده به ۱۱ هزار و ۶۹۷ هکتار، و جمعیت به ۱ میلیون و ۵۱۴ هزار و ۷۰۰ رسید. از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ نیز میزان رشد مناطق شهری و جمعیت به ترتیب ۲۹/۰۶ و ۱۳/۷ درصد بوده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد نسبت رشد مناطق ساخته‌شده در تبریز از نسبت رشد جمعیت آن پیشی گرفته است. شکاف دو برابری بین رشد مناطق شهری و جمعیت در این دوره نیز نشان می‌دهد توسعه افقی بیشتر از فرم عمودی اتفاق افتاده است. در طول این دوره مناطق متعدد صنعتی، تجاری و مسکونی از جمله شهرک پرواز و اندیشه توسعه پیدا کردند. اگرچه توسعه افقی تبریز در همه جهات صورت گرفته، در راستای بزرگراه تهران به تبریز (ورودی غربی)، بزرگراه مراغه به تبریز (ورودی شرقی) و بزرگراه مرند به تبریز (ورودی شمالی) چشمگیرتر است.



جدول ۳. میزان تغییرات مناطق شهری و جمعیت

سال	مناطق شهری (هکتار)	تغییر مناطق شهری در مقایسه با سال قبل	درصد تغییر مناطق شهری	جمعیت (نفر)	تغییر جمعیت در مقایسه با سال قبل	درصد تغییر جمعیت
۱۳۷۲	۷۰۹۰			۱۱۲۸۷۶۳		
۱۳۸۲	۹۰۶۳	۱۹۷۳	۲۷/۸۲	۱۳۳۱۹۳۳	۲۰۳۱۷۰	۱۸
۱۳۹۲	۱۱۶۹۷	۲۶۳۴	۲۹/۰۶	۱۵۱۴۷۰۰	۱۳۲۷۶۷	۱۳/۷

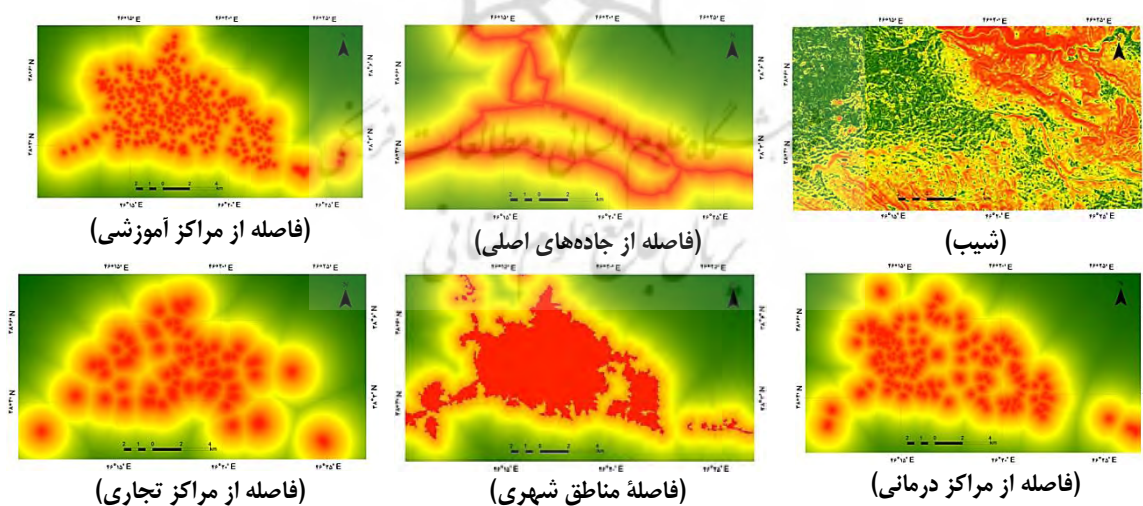
به منظور بررسی میزان دقت مدل مارکوف با سلول‌های خودکار سعی شد نقشه سال ۱۳۹۲ با مدل شبیه‌سازی، (شکل ۸) و با نقشه واقعی سال ۱۳۹۲ (شکل ۷) که از تصاویر ماهواره‌ای ایجاد شده است مقایسه شود. برای نقشه شبیه‌سازی شهری سال ۱۳۹۲، سه مجموعه داده با عملگر مکانی CA با یکدیگر تلفیق شده‌اند:

۱. نقشه مناطق شهری سال ۱۳۷۲ به عنوان نقشه پایه؛

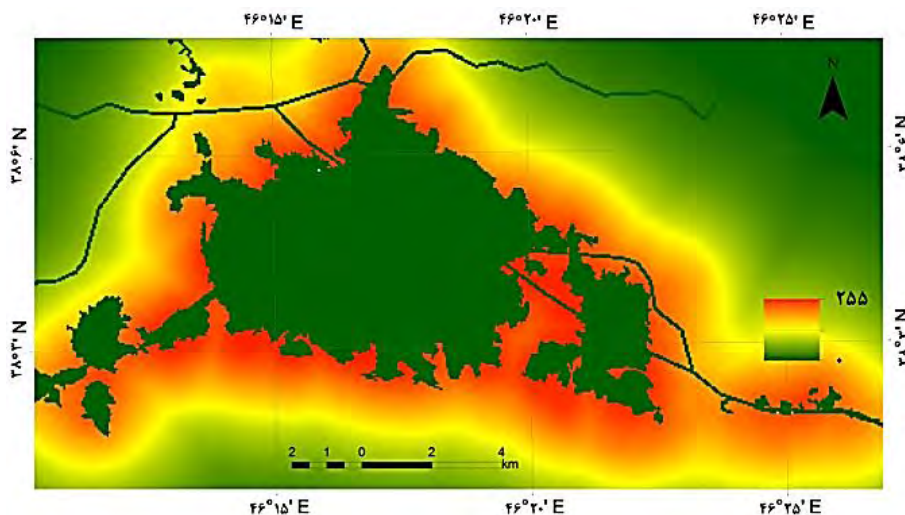
۲. ماتریس احتمال انتقال ۱۳۷۲-۱۳۸۲؛

۳. نقشه شایستگی رشد شهری سال ۱۳۸۲ (شکل ۶)

در این بین، ده بار تکرار برای مدل CA در نظر گرفته شد که در هر تکرار، نقشه شایستگی در داخل فیلتر ۵×۵ بار دیگر وزن دهی شد تا مکان مناطق شهری تعیین شود (پونتیوس و مالانسون، ۲۰۰۵: ۲۶۰). بدین ترتیب در پایان هر تکرار، نقشه شهری با همپوشانی تمامی نتایج به دست آمده از مراحل قبلی تولید می‌شود. در نهایت، نقشه شبیه‌سازی شده سال ۱۳۹۲ با استفاده از داده‌های مورد نظر به دست آمد (شکل ۵). گفتنی است به منظور ایجاد نقشه شایستگی مناطق رشد شهری از شش نقشه فاکتور شامل، شیب، فاصله از جاده‌های اصلی، مراکز آموزشی، درمانی و تجاری و مناطق شهری ساخته شده استفاده شد (شکل ۵) که با GIS و ترکیب خطی وزنی با یکدیگر همپوشانی شدند.



شکل ۵. نقشه‌های فاکتور کاربردی در مدل‌سازی توسعه شهری سال ۱۳۹۲

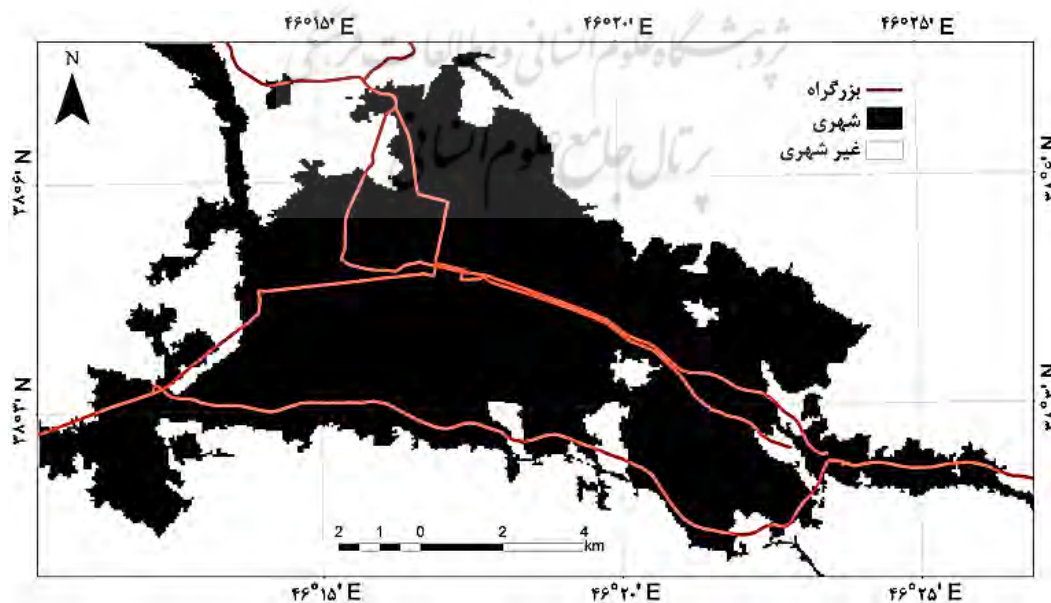


شکل ۶. نقشه شایستگی رشد شهری در سال ۱۳۸۲

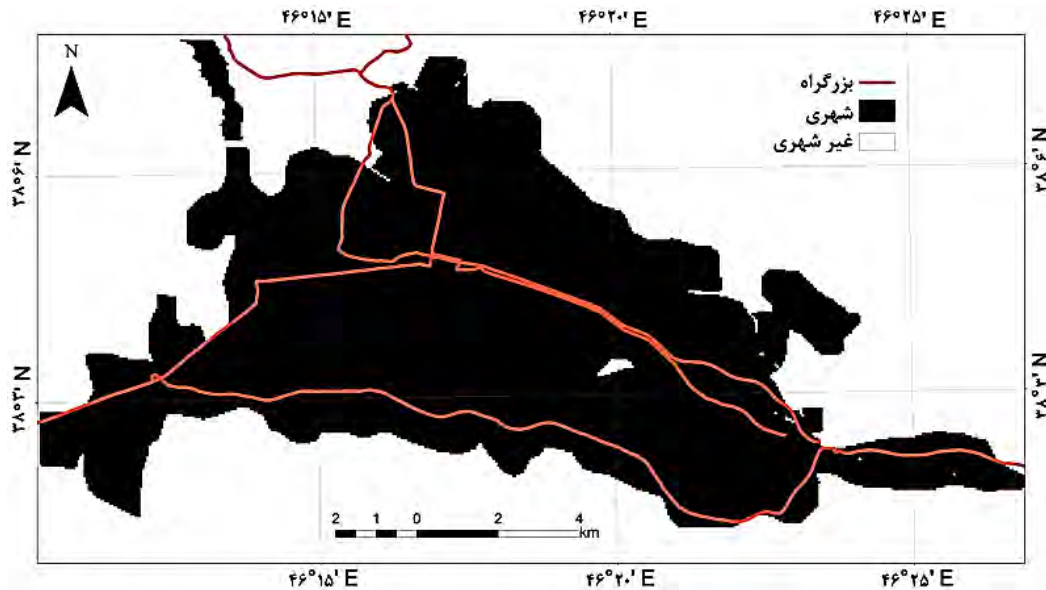
با توجه به ماتریس احتمال به‌دست‌آمده در فاصله زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۲ (جدول ۴) می‌توان گفت ۰/۹۶ درصد از مناطق شهری و ۰/۸۸ از مناطق غیرشهری بدون تغییر باقی خواهند ماند که از این میان، پایداری مناطق شهری به نسبت بالاتر است. همچنین ۰/۱۲ درصد از مناطق غیرشهری به مناطق شهری تبدیل شده است.

جدول ۴. ماتریس احتمال انتقال رشد شهری (۱۳۸۲ - ۱۳۹۲)

		۱۳۹۲
	مناطق شهری	مناطق غیرشهری
مناطق شهری	۰/۹۶	۰/۰۴
مناطق غیرشهری	۰/۱۲	۰/۸۸

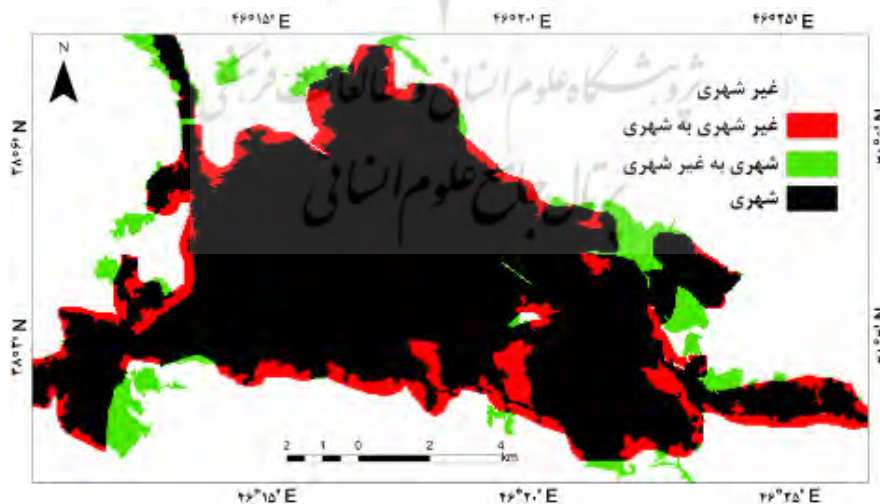


شکل ۷. نقشه واقعی توسعه شهری تبریز در سال ۱۳۹۲



شکل ۸. نقشه پیش‌بینی‌شده توسعه شهری تبریز در سال ۱۳۹۲

به‌منظور ارزیابی دقت و صحت نقشه پیش‌بینی‌شده با CA-Markov، از عمل تلفیق<sup>۱</sup> در نرم‌افزار ادریسی استفاده شد که میزان توافق بین دو تصویر طبقه‌بندی‌شده و پیش‌بینی‌شده مربوط به یک سال، به‌صورت جدولی و تصویری نشان داده و شاخص کاپا و دقت کلی بین آن‌ها محاسبه شده است. هرچه مقدار شاخص کاپا و دقت کلی به یک، یا برحسب درصد به صد نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده اعتبار زیاد مدل در شبه‌سازی است (جنسن و لولا، ۱۹۸۷: ۲۴۸). با توجه به ماتریس خطا بین نقشه واقعی و پیش‌بینی سال ۱۳۹۲، صحت کلی برای نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۱۳۹۲ برابر با  $0.9133$  و شاخص کاپا نیز برابر با  $0.8164$  به‌دست آمد. همچنین در شکل ۹، مناطقی از شهر که به‌درستی یا به‌اشتباه پیش‌بینی‌شده بود مشاهده شد.



شکل ۹. ارزیابی دقت مدل CA-Markov (مناطق سبز مناطق شهری است که در مدل پیش‌بینی‌نشده، مناطق قرمز نیز به‌اشتباه مناطق شهری پیش‌بینی شده است).

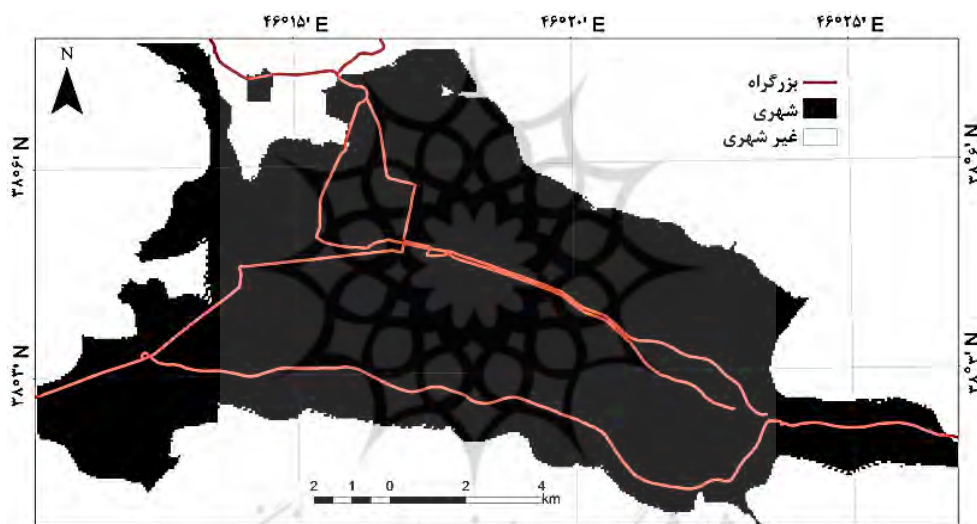
در جدول ۵، نتایج مقایسه بین نقشه شبه‌سازی‌شده با نقشه واقعی سال ۱۳۹۲ برحسب هکتار نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، کل مساحت مناطق شهری ۱۱ هزار و ۶۹۷ و مناطق غیرشهری ۲۰ هزار و ۵۶۲ هکتار بوده

است که در نقشه پیش‌بینی‌شده با مدل، مساحت مناطق شهری ۱۲ هزار و ۳۱۳، و مناطق غیرشهری ۱۹ هزار و ۳۳۰ هکتار به‌دست آمده است. در نتیجه، ۶۱۶ هکتار از مناطق شهری با برآورد کمتر و همین مقدار نیز در مناطق غیرشهری بیشتر برآورد شده است.

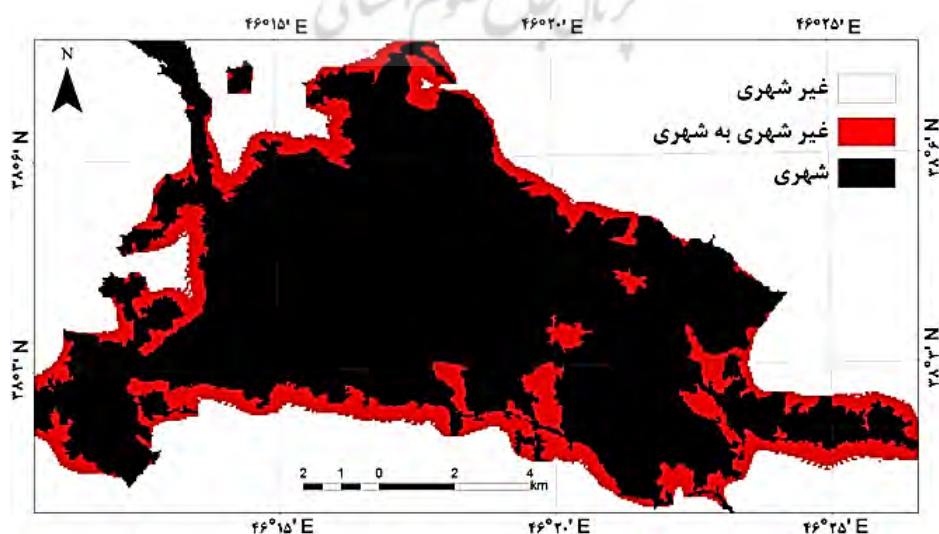
نقشه پیش‌بینی سال ۱۴۰۷ (شکل ۱۰) با استفاده از ماتریس احتمال انتقال ایجادشده از تغییرات سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ با فاصله زمانی پانزده سال، نقشه واقعی سال ۱۳۹۲ با مدل CA-Markov و نقشه شایستگی رشد شهری سال ۱۳۹۲ ایجاد شد.

جدول ۵. مقایسه تغییرات کاربری اراضی به هکتار در نقشه واقعی و پیش‌بینی‌شده سال ۱۳۹۲

نقشه واقعی	نقشه پیش‌بینی‌شده	میزان اختلاف (هکتار)	درصد تغییرات
مناطق شهری	۱۲۳۱۳	+۶۱۶	+۵/۲۷
مناطق غیرشهری	۱۹۹۴۶	-۶۱۶	-۳/۰۸



شکل ۱۰. نقشه پیش‌بینی‌شده توسعه شهری تبریز در سال ۱۴۰۷



شکل ۱۱. مناطق رشد یافته شهری در مقایسه با سال ۱۳۹۲ (مناطق با رنگ قرمز)

با توجه به شکل ۱۱ می‌توان گفت رشد مناطق شهری در حاشیه‌های شهری ادامه خواهد یافت و تمام زمین‌های خالی در مراکز شهری و اطراف جاده‌های اصلی را در بر خواهد گرفت، همچنین با توجه به ماتریس احتمال در فاصله زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۷ (جدول ۶) می‌توان گفت ۰/۹۴ درصد از مناطق شهری و ۰/۸۲ از مناطق غیرشهری بدون تغییر باقی خواهند ماند که از این میان، مناطق شهری پایداری بالاتری دارند، همچنین ۰/۱۸ درصد از مناطق غیرشهری به مناطق شهری تبدیل خواهند شد.

با توجه به جدول ۷ می‌توان گفت رشد شهری تبریز در سال ۱۴۰۷ نیز ادامه خواهد داشت و مناطق شهری از ۱۱ هزار و ۶۹۷ به ۱۴ هزار و ۶۹۰ هکتار خواهد رسید که نشان‌دهنده رشد ۲۵/۵۸ درصدی است، همچنین مناطق غیرشهری نیز از ۱۹ هزار و ۹۴۶ به ۱۶ هزار و ۹۵۳ هکتار کاهش یافته که با ۱۵/۰۱ درصد کاهش مواجه بوده است.

جدول ۶. ماتریس احتمال انتقال رشد شهری (۱۳۹۲ - ۱۴۰۷)

۱۴۰۷		۱۳۹۲
مناطق شهری	مناطق غیرشهری	
مناطق شهری	۰/۹۴	۰/۰۶
مناطق غیرشهری	۰/۱۸	۰/۸۲

جدول ۷. مقایسه تغییرات کاربری اراضی به هکتار در نقشه واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۴۰۷

نقشه واقعی ۱۳۹۲	نقشه پیش‌بینی شده ۱۴۰۷	میزان اختلاف (هکتار)	درصد تغییرات
مناطق شهری	۱۴۶۹۰	+۲۹۹۳	+۲۵/۵۸
مناطق غیرشهری	۱۶۹۵۳	-۲۹۹۳	-۱۵/۰۱

## نتیجه‌گیری

حقیقت این است که باید فشار انسانی و ساختمانی در بخش‌های مختلف شهر تا اندازه‌ای برابر، و اختلاف زیادی نداشته باشد. در غیر این صورت، به توسعه افقی شهری منجر شده و خسارت‌های زیادی را به ابعاد مختلف شهری در پی خواهد داشت. در این مقاله سعی شد تا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، همچنین با به‌کارگیری مدل ترکیبی CA-Markov، تغییرات مناطق شهری و غیرشهری تبریز در طول سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۷ بررسی شود که در آن دقت و صحت استفاده از مدل مزبور در مطالعات رشد شهری با شاخص کاپا ۰/۸۲ و دقت کلی ۰/۹۱ اثبات شد. نقشه پیش‌بینی شده رشد شهری تبریز با استفاده از مدل CA-Markov در سال ۱۴۰۷ نشان داد که در پانزده سال آینده نیز این شهر به رشد شتابان خود ادامه خواهد داد (۲۵/۵۸ درصد)، البته رشد در همه جهات به یک اندازه نیست و در راستای محورهای ارتباطی تهران- تبریز، تبریز به مراغه و مرند بیشترین پراکندگی و رشد شهری اتفاق می‌افتد. گفتنی است تغییرات به‌وجودآمده ناشی از توسعه شهرها بسیار زیان‌بار است، در نتیجه به مدیران و سیاست‌گذاران شهری تبریز پیشنهاد می‌شود نتایج تحقیق حاضر و سایر تحقیقات صورت‌گرفته را در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای شهری در نظر بگیرند تا در آینده کمترین زیان و خسارت را از توسعه افقی این شهر شاهد باشند.

## منابع

۱. خاکپور، برات‌علی و عقیل امیری، ۱۳۸۹، شهرهای جدید ایران: اهداف اولیه، واقعیت امروز، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، مشهد، دانشگاه فردوسی.

۲. خوش‌گفتار محمدمهدی و طالعی محمد، ۱۳۸۹، شبیه‌سازی رشد شهری تهران با استفاده از مدل CA-Markov، نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران، شماره ۳(۶)، دوره ۲، صص ۱۷-۳۳.
۳. ظاهری، محمد، ۱۳۸۷، سنجش گسترده‌گی شهری و تأثیر آن بر تغییر کاربری اراضی سواحل جنوبی دریای مازندران با GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان.
۴. پورتال شهرداری تبریز، ۱۳۹۶، WWW.TABRIZ.IR.
۵. علی‌محمدی عباس، موسیوند علی‌جعفر و سیاوش شایان، ۱۳۸۹، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف، نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره ۳، صص ۱۱۷-۱۲۹.
۶. مرکز آمار ایران، ۱۳۹۱، گزارش نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۰، معاونت برنامه‌ریزی ریاست جمهوری، تهران.
7. Khappur, B., and Amiri A., 1389, **New Iranian Cities, Primary Objectives, Today's Reality**, Second Conference on Urban Planning and Management, Mashhad, Ferdowsi University of Mashhad.
8. Khosh Gofar M., and Talie M., 2010, **Simulation of Tehran's Urban Growth Using the CA-Markov Model, Remote sensing and GIS of Iran**, Vol. 2 , No., 2, pp. 17-33.
9. Zaheri M., 2008, **Measurement of urban sprawl and its impact on land use change in the southern shores of Mazandaran Sea with GIS**, Master's thesis, Zanjan University.
10. The municipality portal of Tabriz, 2017, WWW.TABRIZ.IR
11. AliMohammadi A., Musivand A. J, and Shayan S., 2010, **Prediction of land use change and land cover using satellite imagery and Markov chain model**, Journal of Planning and Space Design, Vol. 14, No. 3, pp.117-129
12. Statistical Center of Iran., 2011, **Report of the Results of the Population and Housing Public Census 2011**, Vice Presidential Planning, Tehran
13. Alberti, M., 2005, **The effects of urban patterns on ecosystem function**, International regional science review, Vol. 28, No. 2, pp.168-192.
14. Arsanjani, J. J., and et al., 2013, **Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 21 , No. 21, pp. 265-275.
15. Brueckner, J. K., 2000, **International Regional Science**. International regional science review, Vol. 23, No. 2, pp. 160-171.
16. Burchell, R. W., and Mukherji, S., 2003, **Conventional development versus managed growth: the costs of sprawl**. American Journal of Public Health, Vol. 93, No. 9, pp. 1534-1540.
17. Frenkel, A., and Ashkenazi, M., 2008, **The integrated sprawl index: measuring the urban landscape in Israel**. The Annals of Regional Science, Vol. 42, No. 1, pp. 99-121.
18. Henríquez, C., Azócar, G., and Romero, H., 2006, **Monitoring and modeling the urban growth of two mid-sized Chilean cities**. Habitat International, Vol. 30, No. 4, pp. 945-964.
19. Herold, M., Couclelis, H., and Clarke, K. C., 2005, **The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change**. Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 29, No. 4, pp. 369-399.
20. Jensen, J. R., and Lulla, K., 1987, **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**.
21. Kamusoko, C., Gamba, J., and Murakami, H., 2013, **Monitoring urban spatial growth in harare metropolitan province, zimbabwe**. Advances in Remote Sensing, Vol. 24, No. 4, pp.126-139.
22. Li, X., and Yeh, A. G. O., 1998, **Principal component analysis of stacked multi-temporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta**, International Journal of Remote Sensing, Vol.19, No. 8, pp.1501-1518.

23. Longley, P., and Batty, M., 2003, **Advanced spatial analysis: the CASA book of GIS**. ESRI, Inc.
24. Madhavan, B. and et al., 2001, **Appraising the anatomy and spatial growth of the Bangkok Metropolitan area using a vegetation-impervious-soil model through remote sensing**. International Journal of Remote Sensing, Vol. 22, No. 5, pp. 789-806.
25. Mills, D. E., 1981, **Growth, speculation and sprawl in a monocentric city**, Journal of Urban Economics, Vol. 10, No. 2, pp. 201-226.
26. Norris, J. R., 1998, **Markov chains. Reprint of 1997 original**, Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics, 2.
27. Richardson, H. W., and Bae, C. H. C. (Eds), 2004, **Urban Sprawl in Western Europe and the United States**. London: Ashgate, Vol. 22, No. 2, pp.115-124.
28. Saaty, T. L., 1988, **What is the analytic hierarchy process?**, Springer Berlin Heidelberg, pp.109-121.
29. Sang, L., and et al., 2011, **Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model**, Mathematical and Computer Modelling, Vol. 54, No. 3, pp. 938-943.
30. Sirakoulis, G. C., Karafyllidis, I., and Thanailakis, A., 2000, **A cellular automaton model for the effects of population movement and vaccination on epidemic propagation**, Ecological Modelling, Vol. 133, No. 3, pp. 209-223.
31. Sturm, R., and Cohen, D. A., 2004, **Suburban sprawl and physical and mental health**, Public health, Vol.118, No.7, pp. 488-496.
32. Sudhira, H. S., Ramachandra, T. V., and Jagadish, K. S., 2004, **Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 5, No. 1, pp.29-39.
33. Sullivan, W. C., and Lovell, S. T., 2006, **Improving the visual quality of commercial development at the rural-urban fringe**, Landscape and Urban Planning, Vol. 77, No.1, pp.152-166.
34. Sun, H., Forsythe, W., and Waters, N., 2007, **Modeling urban land use change and urban sprawl: Calgary, Alberta, Canada**, Networks and spatial economics, Vol.7, No. 4, pp. 353-376.
35. Sunar, F., 1998, **An analysis of changes in a multi-date data set: a case study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey**, International Journal of Remote Sensing, Vol.19, No. 2, pp.225-235.
36. Torrens, P.; Alberti, M., 2000, **Measuring Urban Sprawl; Working Paper Series**, Centre for Advances Spatial Analysis, University College London: London, UK.
37. United Nations Environment Programme., 2014, **State of World Population Report 2014 (e)**, United Nations Publications.
38. Weng, Q., 2002, **Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling**, Journal of environmental management, Vol. 64, No. 3, pp. 273-284.
39. White, R., and et al., 2000, **Developing an urban land use simulator for European cities**, In Proceedings of the Fifth EC GIS Workshop: GIS of Tomorrow. European Commission Joint Research Centre, pp. 179-190.
40. Williams, K., Burton, E., and Jenks, M. 2000, **Achieving sustainable urban form: an introduction**. Achieving sustainable urban form, 1-5.
41. Xiyong, H., Bin, C., & Xinfang, Y., 2004, **Land use change in Hexi corridor based on CA-Markov methods**, Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, Vol. 5, No. 6, pp. 926-941.
42. Xu, C., and et al., 2007, **The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China**, Landscape ecology, Vol. 22, No. 6, pp.925-937.
43. Yeh, A. G. O., and Xia, L., 2001, **Measurement and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy**, Photogrammetric engineering and remote sensing, Vol.67, No.1, pp. 83-90.