

کاربرد سناریوی پایه مدل اسلوس در شبیه‌سازی توسعه شهری

(مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز)

حسن محمودزاده* - دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

علی واحدی آقچه - کارشناسی ارشد مطالعات شهری و روستایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
مهدی هریسچیان - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۳ تأیید مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۰

چکیده

طی دو دهه اخیر در ایران، رشد بی‌رویه کلان‌شهرها سبب نابودی مناطق زیستی و طبیعی زیادی شده است؛ بنابراین باید ارزیابی توسعه شهری با استفاده از مدل‌های مناسب صورت بگیرد تا از نابودی محیط زیست، منابع زمینی و اکوسیستمی جلوگیری شود؛ از این رو پژوهش توسعه‌ای - کاربردی و توصیفی-تحلیلی حاضر با هدف مدل‌سازی رشد شهری کلان‌شهر تبریز و پیش‌بینی تغییرات آتی آن با استفاده از مدل اسلوس انجام شده است. در این مقاله، از مدل سلول‌های خودکار *Sleuth* در محیط GIS برای مدل‌سازی رشد شهری کلان‌شهر تبریز استفاده شده است. متغیرهای مورد استفاده شامل شیب، سیستم حمل و نقل، کاربری اراضی، مستثنیات و سایه‌روشن است که داده‌های مربوط به آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست به‌دست آمده است. مدل رشد شهری *Sleuth* برای داده‌های تاریخی تولیدشده از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۱۶ در سه مرحله کالیبره شد و ضرایب رشد تولیدشده به کمک مدل، با استفاده از برنامه اجرایی OSM برای انتخاب در مراحل بعد شکل گرفت. پنج ضریب رشد شهری شامل بخش، انتشار، زایش، مقاومت شیب و جاذبه جاده، در سال ۲۰۱۶ به ترتیب ارزش‌های ۲۶، ۴۰، ۳۸، ۷۶ و ۸۹ را داشتند. براساس ضرایب به‌دست‌آمده، با توجه به داده‌های تاریخی، رشد شهری بیشتر از ضریب جاذبه جاده تأثیر گرفته است. در مقایسه با دیگر شهرها که مقاومت شیب تأثیر چندان زیادی در توسعه شهری ندارد، در شهر تبریز توپوگرافی عامل بسیار مهمی در محدود کردن توسعه شهری است. الگوهای رشد شهری آینده تا سال ۲۰۴۰ با طراحی سه سناریوی تاریخی، زیست محیطی معتدل و زیست محیطی سخت برای کلان‌شهر تبریز پیش‌بینی شد. نتایج نشان می‌دهد براساس سناریوی اول تا سال ۲۰۴۰ میلادی ۳۲۴۱ هکتار به زمین‌های شهری افزوده خواهد شد و بخش زیادی از باغ‌ها و زمین‌های مرغوب از بین خواهد رفت. براساس نتایج سناریوی دوم ممکن است ۱۶۷۰ هکتار از زمین‌های بارز دست‌نخورده باقی بماند، اما در سناریوی سوم نه تنها از زمین‌های بارز زیاد محافظت خواهد شد، بلکه مطابق با رویکرد شهر فشرده، مدیران شهری در ارائه خدمات شهری به شهروندان موفق‌تر خواهند بود. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد سناریوی زیست محیطی معتدل برای توسعه فیزیکی کلان‌شهر تبریز بسیار مفید است. در نهایت اینکه مدل اسلوس روش خوبی برای توضیح الگوی فضایی توسعه کلان‌شهر تبریز است.

واژه‌های کلیدی: تبریز، توسعه فیزیکی، مدل‌سازی، مدیریت شهری، *Sleuth*.

مقدمه

شهرها امروزه محل سکونت بیش از نیمی از جمعیت جهان هستند و انتظار می‌رود در ۳۰ سال آینده بیش از ۲ میلیارد نفر به جمعیت مناطق شهری افزوده شود (زالی و همکاران، ۱۳۹۳ به نقل از Cohen, 2006: 63). در این میان، رشد جمعیت سبب رشد و توسعه فیزیکی لجام‌گسیخته شهرها شده است. توسعه فیزیکی شهر را می‌توان مفهومی فضایی به معنای تغییرات در کاربری زمین و سطوح تراکم برای رفع نیازهای ساکنان شهر در زمینه مسکن، حمل‌ونقل، اوقات فراغت، تغذیه و... تعریف کرد. تغییر کاربری اراضی شهری یکی از مهم‌ترین فرایندهای تغییر کاربری زمین است که بر پویایی سطح زمین و خدمات زیست‌محیطی زمین و کیفیت محیط تأثیر می‌گذارد (Grimm et al., 2008; Seto et al., 2012; Ahern, 2013; Wu, 2014). این تغییرات نیز بر ظرفیت اکوسیستم به‌منظور ارائه خدمات مهم برای پشتیبانی از رفاه بشر تأثیرگذار است (Li et al., 2018: 486).

در کشورهای درحال توسعه، طی دهه‌های اخیر رشد جمعیت شهری و به‌تبع آن رشد و توسعه شهرها، روند سریعی داشته است. در این میان، توسعه کاربری اراضی شهری به پدیده‌ای مشکل‌ساز در کشورهای درحال توسعه انجامیده (Hosseinali et al., 2013: 105) و تغییرات ناخوشایندی مانند تخریب و آلودگی زیست‌محیطی، کاهش تنوع زیستی و حاشیه‌نشینی شهری را برای این کشورها به‌همراه آورده است. همچنین گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد شهرنشینی سریع که مشخصه کشورهای درحال توسعه است و به بهره‌برداری نامناسب از منابعی مانند زمین و انرژی (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; UNDESA/PD, 2012; Cobbinah et al., 2015) و تولید انواع آلودگی منجر شده است (Cui et al., 2015; Yao et al., 2015). توسعه شهری بدون مدیریت مناسب سبب گسترش نامطلوب شهری خواهد شد که علاوه بر مسائل مربوط به مدیریت و منابع زیست‌محیطی، محیط‌زیست و منابع زمین را از بین می‌برد و سبب تنزل و تضعیف خدمات اکوسیستمی خواهد شد (Bathrellos et al., 2017; Papadopoulou, 2013; Vrynioti et al., 2013; Vaz And Nijkamp, 2015; Yang et al., 2013). بدین ترتیب پژوهشگران، طراحان، کارشناسان و تصمیم‌گیران در حوزه مدیریت محیط‌زیست و منابع طبیعی و همچنین برنامه‌ریزی شهری به‌منظور تصمیم‌گیری و ارائه طرح‌های کاربردی برای آینده، بیش‌ازپیش به اطلاعات دقیق درباره تغییرات کاربری و رشد شهری نیاز دارند (کاظم و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۶)؛ بنابراین در دهه‌های گذشته، توجه ویژه‌ای به تغییرات کاربری زمین شده است؛ زیرا اکوسیستم نواحی شهری، به‌شدت متأثر از فعالیت‌های بشری است. همچنین زندگی نیمی از جمعیت جهان، وابستگی زیادی با فعالیت‌های بشر در نواحی شهری دارد (Stow And Chen, 2002: 302).

در این میان، مدل‌های فضایی، ابزارهایی مفید برای درک فرایند توسعه شهری، سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم‌کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر محیط‌زیست هستند (He et al., 2008: 79) و می‌توانند دیدگاه مناسبی را در این مورد شکل دهند که چگونه شهرها تحت شرایط مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیطی توسعه می‌یابند (زارعی و آل‌شیخ، ۱۳۹۱: ۳). یکی از این مدل‌های فضایی، فرایند توسعه شهری است. مدل‌های تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین که مدل‌های توسعه شهری نیز از جمله آنهاست، مدل‌هایی مفید برای آنالیز تغییرات شهر، پیش‌بینی آن‌ها و درک پیامدهایشان است. با استفاده از این مدل‌ها سیاست‌گذاران شهری می‌توانند سناریوهای

مختلف تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین را تجزیه و تحلیل و تأثیراتشان را ارزیابی کنند. مدل اسلوس^۱ یکی از این مدل‌هاست که به منظور مدل‌سازی رشد شهری و پیش‌بینی تغییرات آتی آن استفاده می‌شود (Dietzel and Clarke, 1978-101). اولین تلاش برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی توسعه شهری در اوایل سال ۱۹۹۰ از سوی وایت و انگلین صورت گرفت (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۸). مدل اسلوس در ایران برای مدل‌سازی توسعه شهری مشهد، گرگان، چالوس و نوشهر استفاده شده است؛ برای نمونه سلمان ماهینی و غلامعلی فرد (۲۰۰۷) مدل اسلوس را در مورد رشد شهری گرگان و رفیعی (۱۳۸۶) در مورد رشد شهری مشهد به کار برده‌اند (جعفرنژاد، ۱۳۹۳: ۱۷-۱۹). در سالیان اخیر نیز پژوهش‌های ارزشمندی در عرصه‌های داخلی و خارجی با این مدل انجام شده است که بیشتر آن‌ها موفق‌بودن مدل اسلوس در سنجش رشد شهری را تأیید کرده‌اند.

کلان‌شهر تبریز از جمله شهرهایی است که رشد و توسعه سریع آن طی دهه‌های اخیر، سازمان فضایی و نظام محله‌بندی سنتی آن را درهم شکسته است؛ از این‌رو شهری که تا چند دهه پیش در فضایی محدود، ارگانیک و منسجم شکل گرفته و با برج و بارو در فضای کالبدی سخت محصور بود، امروزه گسترش زیادی یافته و با ساختاری متخلخل و ناموزون مواجه شده است. چنین شکلی از توسعه، الگویی از شهری بیمار است که انسجام کالبدی و فضایی خود را از دست داده است (پورمحمدی و جام کسری، ۱۳۹۰: ۳۴)؛ از این‌رو گام اساسی برای مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری و ارزیابی آثار تجمعی آن، شبیه‌سازی توسعه فیزیکی این کلان‌شهر است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی رشد شهری کلان‌شهر تبریز و پیش‌بینی تغییرات آتی آن با استفاده از مدل اسلوس انجام شده و کاربرد مدل اسلوس برای مدل‌سازی توسعه شهری کلان‌شهر تبریز را سنجیده است.

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر پرداختن به رشد و توسعه فیزیکی شهر با استفاده از مدل اسلوس مباحث و مطالعاتی را به خود اختصاص داده که در جدول ۱ به بخشی از آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۱. پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی توسعه شهری

نویسندگان	موضوع پژوهش	نتیجه پژوهش
جعفرنژاد و سلمان ماهینی (۱۳۹۲)	بررسی مدل‌های Sleuth-Ga و Sleuth در مدل‌سازی توسعه شهری	در میان تمام مدل‌های ثبت‌شده، سلول‌های خودکار (CA) با توجه به انعطاف‌پذیری، سادگی در استفاده و ارتباط نزدیک با سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مؤثرترین مدل برای توسعه شهری است. از میان تمام این مدل‌ها، شاید مدل Sleuth مناسب‌ترین آن‌هاست. استفاده از الگوریتم ژنتیک برای کالیبره کردن مدل Sleuth در مدل Sleuth-Ga را به وجود آورده که صحت و سرعت اجرای مدل را بهبود بخشیده است.
مصیب‌زاده و صدیق‌فر (۱۳۹۳)	بررسی و شبیه‌سازی رشد فیزیکی شهر با مدل Ca-Sleuth مورد مطالعه: شهر ارومیه	شهر ارومیه در دهه‌های اخیر در جهات نامناسب، بدون توجه به ظرفیت حوزه‌های پیرامون خود و بدون توجه علمی گسترش یافته است. تمام این عوامل سبب برهم‌خوردن تعادل و پایداری در شهر شده است. همچنین مشخص شد بیشترین تأثیر در رشد فیزیکی شهر مربوط به ضریب گسترش است.

ادامه جدول ۱. پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی توسعه شهری

نویسندگان	موضوع پژوهش	نتیجه پژوهش
جان‌علی‌پور عمران (۱۳۹۵)	مدل‌سازی توسعه شهری قائم‌شهر با استفاده از Sleuth	بیشترین ضریب مؤثر در رشد شهر گرایش به جاده با مقدار عددی ۵۰ است. تصاویر به‌دست‌آمده از خروجی‌های مدل نشان‌دهنده رشد بیشتر شهر در اطراف بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی است. همچنین بیشترین میزان و جهت توسعه شهر تا سال ۲۰۴۰ در مناطق غربی، جنوب‌غربی، شمال‌غربی و شمال‌شرقی شهرستان خواهد بود. با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه، اراضی کشاورزی از عمده کاربری‌هایی است که در طول این مدت به کاربری شهری تبدیل خواهند شد.
رسولی و همکاران (۱۳۹۵)	تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل Sleuth برای شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزادشهر	در طول دوره پیش‌بینی مساحت کاربری شهر افزایش یافته است. با توجه به کاربری‌های منطقه مطالعاتی، کاربری عمده این اراضی که به شهر تبدیل شده، کشاورزی و جنگل است.
کلارک (۲۰۰۸)	نقشه‌برداری و مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی: کاربردی از مدل Sleuth	دو نسخه از مدل خارج از آزمایش‌های اضافی مطلوب به‌نظر می‌رسد: یکی اینکه امکان گذار (تحول) زمین را برای تغییر به‌عنوان تابعی از زمان می‌دهد و دیگری اینکه اجازه تغییر در مناطق شهری را می‌دهد.
چاچوری و کلارک (۲۰۱۳)	دقت زمانی در پیش‌بینی رشد شهری: مطالعه‌ای با استفاده از مدل Sleuth	نتایج نشان می‌دهد علاوه‌بر عملکرد مدل، کاهش دقت نقشه‌های پیش‌بینی شده به عواملی مانند پیشینه شهری، اطمینان‌نیافتن از داده‌های ورودی و دقت نقشه‌های مرجع بستگی دارد.
دوکاری و همکاران (۲۰۱۶)	Sleuth: مدل رشد شهری برای رویکرد سناریومحور	کاربران با استفاده از مدل Sleuth که مدلی «مبتنی بر سناریو» است، می‌توانند به این موارد بپردازند: الف) تعریف میزان تغییر برون‌داد و مورد انتظار بدون در نظر گرفتن روندهای گذشته، ب) مشخص کردن سهم هر یک از الگوهای رشد شهری با توجه به فرضیه سناریو و ج) برای ترکیب کردن یک عامل فضایی صریح اضافی مانند نقشه جدایی. علاوه‌براین طراحی خودکار Sleuth برای اجرای سناریوهای آینده‌نگر از پیش صورت گرفته که به کمک زیردوره برای نشان دادن پویایی‌های مختلف فضایی تشکیل شده است.
لئو و همکاران (۲۰۱۷)	دیدگاه جدید برای ترسیم مرز توسعه شهری براساس مدل Sleuth-Invest	به کمک این روش می‌توان به حل ناهماهنگی‌های فضایی میان توسعه شهری و حفاظت از محیط‌زیست پرداخت و میان توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست تعادل برقرار کرد.
لی و همکاران (۲۰۱۸)	توسعه مدل Sleuth به منظور افزایش کیفیت زیستگاه برای شبیه‌سازی رشد شهری	براساس یافته‌های این پژوهش، توسعه Ugm Sleuth ابزاری ارزشمند برای برنامه‌ریزی، مدیریت شهری و محیط زیستی پایدار در مناطق در حال توسعه است.
ساکسنا و جات (۲۰۱۸)	سنجش ضریب رشد شهری ناهمگون با استفاده از مدل Sleuth	به نظر می‌رسد این پژوهش در اندازه‌گیری حساسیت مدل به پارامترهای خودمحور و شناسایی اشکال مختلف شهری مانند خوشه‌ای، پراکنده، لبه، جاده‌های متأثر، رشد فشرده و توسعه مرکز موفق بوده است.
داداش‌پور و همکاران (۲۰۱۹)	تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی، نیروهای محرکه و پیش‌بینی سناریوهای رشد آینده جهت تقویت رشد پایدار شهری: شواهدی از کلان‌شهر تبریز، ایران	نتایج نشان می‌دهد الگوی رشد لبه بر کل منطقه غالب است؛ در حالی که به نظر می‌رسد الگوی رشد پراکنده در برخی مناطق فرعی بیشتر است. در این روند، عوامل دسترسی به جاده‌ها، شهرها و خدمات اصلی تأثیر مثبتی دارد؛ در حالی که نزدیکی به اراضی صنعتی با بیشترین تأثیر منفی در الگوهای رشد TMA همراه است. پیش‌بینی سناریوهای رشد آینده نشان می‌دهد بیشترین میزان رشد شهری در سال ۲۰۳۵ به ترتیب با رشد کنترل‌نشده، رشد تاریخی و رشد برنامه‌ریزی‌شده همراه خواهد بود.

مبانی نظری پژوهش

نقش سیاست شهری در توسعه نواحی شهری

سیاست شهری فعالیتی مفهومی و منظم از سوی یک مقام دولتی (برای مثال مؤسسات حکومتی اتحادیه اروپا) است که با هدف توسعه شهرها انجام می‌شود و اهداف آن برگرفته از شناسایی مشکلات عمده توسعه شهری و حالات و

کارکردهای آن‌ها در زیستگاه‌های ملی و ساختار منطقه‌ای است. این تعریف به معنای ماهیت متقابل و میان‌رشته‌ای است؛ یعنی ساخت و اجرای سیاست شامل مشارکت مشترک و هماهنگ سیاست‌های فرعی است. سیاست‌های منطقه‌ای و برنامه‌ریزی کاربری اراضی چارچوب اساسی و سرزمینی این هماهنگی را فراهم می‌کند. اصول سیاست‌های شهری، چارچوب سندی است که هدف آن هماهنگی رویکرد همه سطوح دولت در توسعه شهری برای پیشنهاد دستورالعمل‌ها و فعالیت‌هایی است که منجر به توسعه پایدار شهری می‌شوند (MRD, 2010: 3).

سیاست‌های شهرنشینی را می‌توان در سه بعد در نظر گرفت. نخست سیاست‌های اقتصادی ملی است که آثاری ناخواسته بر توسعه شهری یک کشور دارد. تعصبات ناخواسته فضایی سیاست‌های اقتصاد ملی که به نفع برخی مراکز شهری است، معمولاً محصول سیاست‌های تجاری است که از بخش تولید حمایت می‌کنند؛ برای مثال سیاست‌های مربوط به تخصیص اعتبار، سرمایه‌گذاری عمومی و قیمت‌ها، اولویت را به اقتصادی می‌دهد که در چندین شهر و منطقه تمرکز دارد. شیوه‌های مدیریت دولت مرکزی و تنظیم فعالیت‌های اقتصادی آن نیازمند این است که مکان این فعالیت‌ها در نزدیکی پایتخت باشد که این مقوله کمکی به ایجاد حلقه شهری است. دوم سیاست‌های منطقه‌ای است که در سطح ملی فعالیت می‌کنند و هدف آن‌ها تخصیص عادلانه و کارآمد جمعیت و منابع در میان مناطق است. سیاست‌های منطقه‌ای می‌توانند به کمک سرمایه‌گذاری بهتر و سیاست‌های مدیریت برای حمل‌ونقل، سیاست‌های شهرک‌های صنعتی و مهم‌تر از آن، توسعه منظم شبکه‌های اطلاع‌رسانی سازمان‌یافته میان این شهرها و منطقه پایتخت، مانند شبکه‌های بانکی، انجمن‌های صنعتی، شبکه‌ها و ساختارهای بهتر اداری مراکز نویدبخش شهری ثانویه را تقویت کنند. بعد سوم شامل سیاست‌هایی برای مدیریت داخلی شهرهاست. مدیریت داخلی مناسب شهرها در موفقیت سیاست‌های فضایی ملی در مورد شهرهای بسیار بزرگ اهمیت دارد. سیاست‌های محدودکردن یا متوقف‌کردن رشد جمعیت نمی‌تواند جایگزین سیاست‌هایی باشد که مستقیم به رفع تراکم و آلودگی و ارائه خدمات مناسب می‌پردازد. اگر سایر شهرها به‌طور کارآمد و مؤثری مدیریت نشوند، احتمال جذب صنایع و مهاجران از بزرگ‌ترین مراکز شهری اندک خواهد بود (Renaud, 1981: 65).

سیاست شهری در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه با توجه به تفاوت این کشورها در مسائل اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی شهری به صورت متفاوتی در نظر گرفته می‌شود. در کشورهای توسعه‌یافته که از توسعه هماهنگ و پویای شهری بهره‌مند هستند، سیاست شهری در مسیر تقویت و ارتقای توسعه پایدار شهری مدنظر قرار می‌گیرد، اما در کشورهای در حال توسعه که با ویژگی تمرکز جمعیت و رشد شهرهای بزرگ شناخته می‌شوند، گسترش سریع شهر بزرگ یک مقوله محسوب می‌شود؛ زیرا به نظر می‌رسد با مشکلات شهری، نخست شهری و بی‌تعدالی و توسعه‌نیافتگی مرتبط باشد؛ از این رو در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه کشورهای آسیایی، سیاست‌های شهری برای کنترل رشد شهرهای بزرگ در نظر گرفته شده است. با وجود این تمرکز جمعیت و رشد شهرهای بزرگ همچنان ادامه دارد (WE1, 1994: 53)؛ برای نمونه سیاست شهری چین در راستای کنترل رشد شهرهای بزرگ در این کشور به صورت سیاست شهری ملی تدوین شده است. نیروهایی که شهرنشینی و سیاست‌های شهری را در کشورهای در حال توسعه شکل می‌دهند در سه مورد کلی خلاصه می‌شوند. اول، موج شهرنشینی که از زمان جنگ جهانی اول کشورهای در حال توسعه را فراگرفته و تا پایان قرن بیستم ادامه داشته است. دوم، تفاوت‌های چشمگیر شهرنشینی معاصر در کشورهای در حال توسعه و الگوهای تاریخی مشاهده‌شده اقتصادهای پیشرفته

امروزی است. سوم، مشکلات سیاسی که در کشورهای توسعه‌یافته مشاهده می‌شود که به‌وضوح با مشکلات کشورهای درحال توسعه متفاوت است؛ از این‌رو تجزیه و تحلیل ساده از روند گذشته در کشورهای توسعه‌یافته به‌منظور تدوین سیاست‌های شهری برای کشورهای درحال توسعه ارزش محدودی دارد (Renaud, 1981: 60) و باید با توجه به شرایط موجود در کشورهای درحال توسعه، سیاست‌های شهری متناسب با آن‌ها تدوین شود تا کارایی لازم را داشته باشند. متأسفانه در کشور درحال توسعه ایران نیز- چه قبل از انقلاب و چه بعد از انقلاب- سیاست‌های شهری رشد بی‌رویه شهرهای بزرگ را بیش‌ازپیش تقویت کرده و با ایجاد مشکلات محیط‌زیستی و اکولوژیکی فراوان، فضاهای سبز زیادی را فدای توسعه شهری بی‌امان کرده است.

مدل اسلوس

مدل‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی کاربری اراضی را می‌توان به سه گروه کلی تقسیم کرد: مدل‌های تجربی و آمار پایه مانند مدل‌های زنجیره مارکوف، مدل‌های بر پایه رگرسیون، شبکه‌های عصبی و...، مدل‌های دینامیکی مانند خودکاره‌های سلولی و مدل‌های عامل مینا (Guan et al., 2011: 3761-3772). از این میان، روش خودکاره‌های سلولی، مدل‌های عامل مینا و شبکه‌های عصبی به‌دلیل توانایی در مدل‌سازی بالای تغییرات شهری بیشتر مدنظر قرار گرفته است (Batty, 2007: 624-627). در دهه اخیر به‌صورت گسترده‌ای از مدل خودکاره‌های سلولی برای پیش‌بینی وقایع مکانی گوناگون مانند تغییرات پوشش اراضی (زارعی و آل‌شیخ، ۱۳۹۱ به نقل از Menard and Marceau, 2007: 253-265) و توسعه شهری (زارعی و آل‌شیخ، ۱۳۹۱ به نقل از Almeida et al., 2002; Dietzel and Clarke, 2006: 78-101) استفاده شده است. از مزیت‌های روش خودکاره‌های سلولی می‌توان به قابلیت شبیه‌سازی بعد مکانی، هم‌سازی با سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دورسنجی، دینامیک زمانی، سادگی و قابل‌فهم‌بودن و قابلیت مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده اشاره کرد (کاظم و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۶). مدل اسلوس یکی از این مدل‌هاست که به‌منظور مدل‌سازی رشد شهری و پیش‌بینی تغییرات آتی آن کاربرد دارد. نام این مدل برگرفته از داده‌هایی است که به‌صورت نقشه وارد آن می‌شود و شامل نقشه کاربری شهری از چهار دوره زمانی، شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای از چهار دوره زمانی و نقشه‌های پستی و بلندی، شیب و مناطق مستثنا از شهرسازی است که هر کدام یک لایه است و مدل بر پایه آن‌ها به مدل‌سازی و شبیه‌سازی روند توسعه فیزیکی شهر می‌پردازد (Clarke et al., 2007: 413-427). اسلوس محصول تکاملی پروژه Gigalopolis است که دو مدل رشد شهری و مدل پوشش اراضی Deltatron^۱ را شامل می‌شود. در میان تمام مدل‌های توسعه شهری براساس شبکه خودکار، مدل اسلوس یکی از مناسب‌ترین مدل‌هاست (Dietzel and Clarke, 2006: 78-101). این مدل منبعی باز محسوب می‌شود که تحت یونیکس^۲، لینوکس^۳، سیگوین^۴ و شبیه‌ساز یونیکس مبتنی بر ویندوز^۵ اجرا می‌شود (Clarke, 2008) و برای اجرا به سیستم‌عامل مشابه یونیکس (مانند لینوکس، اوبونتو^۶ یا سیگوین) نیاز دارد (Clarke, 2018: 524). مدل اسلوس شامل دو بخش اجرایی کالیبراسیون و پیش‌بینی است. فرایند رشد شهر نیز به‌کمک ضرایب پراکندگی، زایش، مقاومت به شیب، گسترش و جاذبه جاده و چهار قانون

1. Deltatron Land Use/Land Cover Model (DLM)

2. UNIX

3. Linux

4. Cygwin

5. Windows

6. Ubuntu

رشد خودبه‌خود، رشد انتشاری، رشد ذاتی و رشد متأثر از جاده کنترل می‌شود. در مرحله کالیبراسیون حد آستانه بالا و پایین ضرایب فاکتورهای تغییردهنده سیمای سرزمین شناسایی شده و رشد شهر در قالب چهار قانون ذکر شده برای مدل و متناسب با منطقه مطالعاتی تعریف شده است. در این مرحله می‌توان به کمک مدل روند تغییرات را شبیه‌سازی کرد. مدل اسلوس در مرحله کالیبراسیون سنجه‌هایی را تولید می‌کند که به کمک آن‌ها از صحت عملکرد مدل در فرایند شبیه‌سازی روند تغییرات اطمینان حاصل می‌شود (Silva and Clarke, 2002: 525-552). پس از اطمینان از صحت نتایج تولیدی با استفاده از مدل می‌توان به پیش‌بینی سیمای آینده سرزمین در قالب قوانین و ضرایب محاسبه‌شده طی مرحله کالیبراسیون پرداخت. در ادامه، ضرایب کنترل‌کننده رشد شهر و قوانین این رشد بیان شده است.

ضرایب پنج‌گانه

۱. ضریب انتشار: تعداد دفعاتی که یک پیکسل به صورت تصادفی به‌عنوان پیکسل قابل شهرسازی در رشد خودکار انتخاب خواهد شد کنترل می‌شود. ضریب انتشار شکل رشد متأثر از جاده را نیز تنظیم می‌کند.
۲. ضریب زایش: براساس این ضریب، احتمال اینکه پیکسل شهرشده طی رشد خودکار، مرکز جدید توسعه و شهرسازی شود تعیین می‌شود. در ضریب زایش، شکل رشد متأثر از جاده نیز تأثیرپذیر خواهد شد.
۳. ضریب پخش: احتمال اینکه هر پیکسل که به‌عنوان مراکز جدید انتشار مشخص شده پیکسل اضافی شهر در همسایگی ایجاد کند، مشخص می‌شود.
۴. ضریب مقاومت به شیب: تأثیر یکسانی بر انواع رشد دارد. به این ترتیب که هر پیکسل که به صورت تصادفی به‌منظور تغییر کاربری مشخص شود، بررسی شیب آن صورت می‌گیرد.
۵. ضریب گرایش به جاده: در این ضریب، شکل رشد وابسته به جاده به کمک کنترل حداکثر شعاع جست‌وجوی اطراف پیکسل تصادفی انتخاب شده تأثیرپذیر خواهد بود (رفیعی، ۱۳۸۶).

قوانین رشد

۱. رشد خودکار (Spontaneous Growth): این شکل رشد، شهرسازی و مناطقی انسان‌ساخته را دربرمی‌گیرد که در اراضی با شیب مناسب در مناطق دور از کانون‌های شهری حاضر صورت می‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱. رشد خودکار

۲. رشد انتشاری یا ریزنده (Diffusive Growth): این نوع رشد شهر زمانی رخ می‌دهد که شهرسازی جدید نزدیک مراکز مسکونی حاضر با تغییر کاربری اراضی اطراف به کاربری مسکونی صورت بگیرد (شکل ۲).



شکل ۲. رشد انتشاری یا ریزنده

۳. رشد ذاتی (Organic Growth): این نوع رشد مربوط به رشد ذاتی شهرهاست که در داخل شهر و حاشیه آن رخ می‌دهد. در نتیجه مناطقی که هنوز ساخته نشده‌اند به کاربری مسکونی تغییر کاربری پیدا می‌کنند (شکل ۳).



شکل ۳. رشد ذاتی

۴. رشد متأثر از جاده (Road Influenced Growth): در این نوع رشد، تأثیر جاده‌ها و شبکه حمل‌ونقل بر توسعه شهر و ساخت‌وسازهای جدید بررسی می‌شود (شکل ۴) (Silva and Clarke, 2002: 525-552).



شکل ۴. رشد متأثر از جاده

مواد و روش‌ها

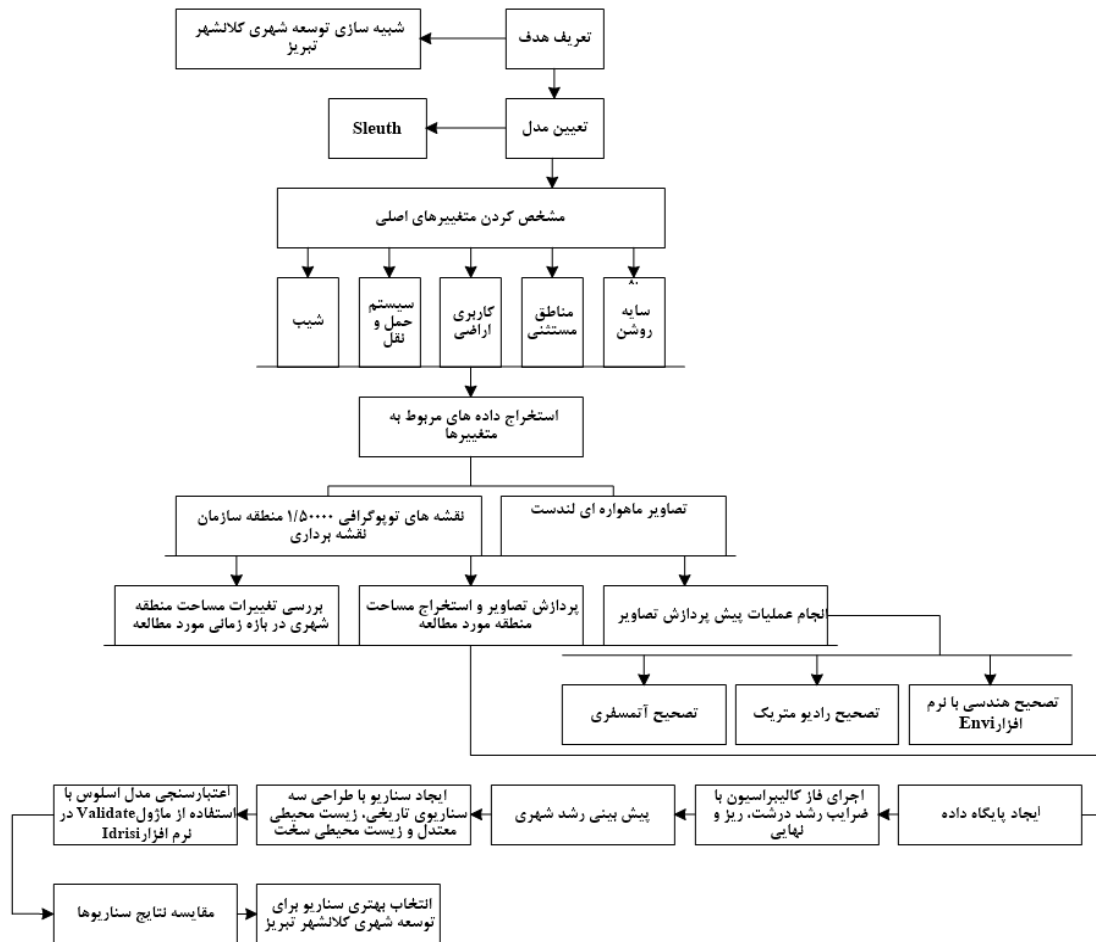
پژوهش حاضر توصیفی-تحلیلی و توسعه‌ای-کاربردی است که اطلاعات مورد نیاز به کمک منابع کتابخانه‌ای، اسنادی، الکترونیکی، بررسی‌ها و مشاهدات میدانی جمع‌آوری شده است. در ادامه داده‌ها با استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور (تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه Landsat, IKONOS با سنجنده‌های TM, ETM+ و OLI مربوط به سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۶) جمع‌آوری شد (شکل ۵ و جدول ۲). متغیرهای کاربردی در این پژوهش شامل شیب، سیستم حمل‌ونقل، کاربری اراضی، مستثنیات و سایه‌روشن است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست به‌دست آمده است. براین اساس پس از استخراج تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های مختلف از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا، این تصاویر برای بازسازی، تصحیح‌های هندسی و رادیومتریک به نرم‌افزار ENVI منتقل شدند. سپس با استفاده از ماژول Composite تصاویر کاذب با باندهای مناسب از منطقه مورد مطالعه ایجاد شد. مراحل این پژوهش در شکل ۶ آمده است.

	لایه‌های شبکه حمل و نقل
	لایه‌های نواحی شهری
	لایه‌های کاربری زمین
	لایه پستی و بلندی‌ها
	لایه مستثنیات
	لایه شیب

شکل ۵. ورودی‌های مدل اسلوس

جدول ۲. مشخصات مداری و ابعاد تصاویر ماهواره‌های لندست

سال تصاویر دریافتی	سنجنده	قدرت تفکیک
۱۹۹۳/۷/۱۹	TM	۳۰ متر
۲۰۰۰/۸/۳۱	ETM+	۳۰ متر
۲۰۰۸/۲/۲	ETM+	۳۰ متر
۲۰۱۶/۷/۲۶	OLI	۳۰ متر

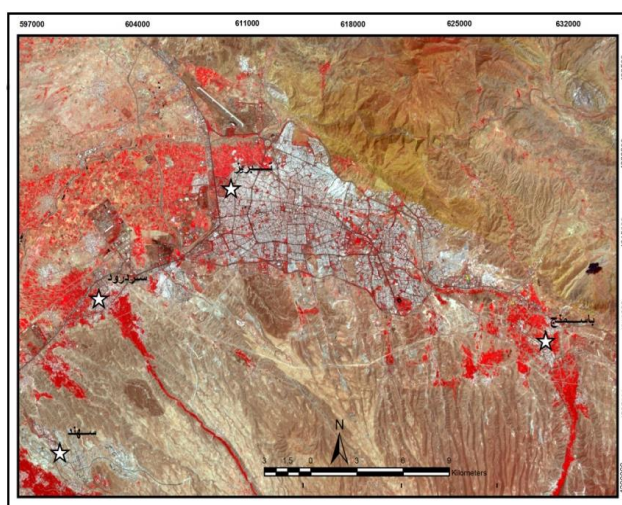


شکل ۶. مراحل انجام پژوهش

محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر تبریز، بزرگ‌ترین شهر شمال غرب ایران و مرکز استان آذربایجان شرقی، قطب بازرگانی، صنعتی، سیاسی و کانون ارتباط شمال غرب ایران است. این شهر در ۶۳۵ کیلومتری غرب تهران، ۱۳۵ کیلومتری جنوب جلفا و ۵ کیلومتری شمال غرب کوهستان سهند قرار دارد (ساسان‌پور، ۱۳۸۳: ۳۸۳). شهر تبریز با وسعتی حدود ۲۵۰۵۶ هکتار در ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۴۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد برآورد گردیده است (مهندسان مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱: ۱). جمعیت کلان‌شهر تبریز براساس اطلاعات سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵ برابر ۱۷۷۳,۰۳۳ نفر بوده است. موقعیت

جغرافیایی، استقرار شهر در محل مقاطع دره‌ها و شیب‌های ملایم (پورمحمدی و خوب‌آیند، ۱۳۸۰: ۳۵-۷۸) به همراه عوامل اقتصادی و انسانی و به‌ویژه مرزهای سیاسی و فرهنگی، راه‌های ارتباطی داخلی و راه‌های ترانزیتی تبریز به کشورهای هم‌جوار (آذربایجان، ترکیه و عراق) سبب ایجاد موقعیتی ممتاز و راهبردی برای این شهر شده است (اصغری زمانی، ۱۳۷۹: ۱۴۶). تنوع خاک‌های زراعی منطقه و استقرار دقیق تبریز در محل تلاقی و تماس با خاک‌های متنوع (رسوبی بافت ریز با خاک‌های قهوه‌ای و لیتوسل) با تنوع محصولاتی که تولید می‌شود، به تحکیم موقعیت جغرافیایی شهر می‌افزاید. عواملی مانند وجود آب فراوان در جلگه تبریز بی‌شک در مکان‌یابی شهر تأثیر بسزایی داشته است (فرید، ۱۳۹۱: ۶۸-۷۱) (شکل ۷).



شکل ۷. تصویر ماهواره Landsat TM8 کلان‌شهر تبریز سال ۲۰۱۶

بحث و یافته‌ها

بررسی روند گسترش شهر

نتایج نهایی پردازش تصاویر ماهواره‌ای باید به صورت نقشه‌های طبقه‌بندی شده از پوشش زمین یا کاربری اراضی ارائه شود. برای این منظور پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و با کنترل تصاویر کیفیت بالا و آنلاین Google Earth به دلیل برخورداری از قدرت تفکیک مکانی بالا (۱ متر در محدوده طیف پانکروماتیک و ۴ متر در طیف‌های دیگر) و مشاهدات زمینی برای شناسایی دقیق‌تر منطقه، لایه‌های طبقه‌بندی شده به فرمت وکتور تبدیل می‌شوند تا در محیط نرم‌افزار Arcgis تجزیه و تحلیل شوند. نقشه‌های تولیدشده به کمک تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد میانگین نرخ رشد شهر تبریز از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۶ به میزان ۲۵/۶۹ درصد بوده است. همچنین میانگین نرخ رشد در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ به ترتیب ۱۲/۶۹، ۵/۶ و ۹/۶ بوده است. سهم مساحت شهری در ناحیه مورد نظر از ۱۵,۰۷۱ هکتار در سال ۱۹۹۳ به ۲۰,۲۵۸ هکتار در سال ۲۰۱۶ رسیده است. همچنین مساحت زمین‌های کشاورزی، مراتع و باغ‌ها در دوره مورد مطالعه از ۳۷,۰۴۳ هکتار به ۳۴,۲۹۵ هکتار و زمین‌های بایر از ۴۸,۵۶۲ هکتار به ۴۵,۰۳۲ هکتار کاهش یافته است؛ بنابراین بیشترین تغییر در افزایش سهم کاربری شهری و روستایی بود که براساس آن بسیاری از مساحت‌های زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها به ناحیه‌های شهری و روستایی تبدیل شده است (جدول ۳ تا ۶).

جدول ۳. درصد کاربری‌های تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۰

ردیف	کاربری	تعداد	مساحت	درصد
۱	مسکونی	۶۲۵	۱۷۲۶۲۷۰۰۲/۵	۱۶/۴۹
۲	کشاورزی	۲۰۹	۳۱۶۲۰۸۴۴۰/۷	۳۰/۲۰
۳	باغ	۱۴۲	۴۶۰۱۴۷۳۷/۶۲	۴/۴۰
۴	فضای سبز	۵۵	۵۶۰۴۹۶۸/۴۵۵	۰/۵۴
۵	بایر	۱۸۷	۴۸۷۳۲۹۵۲۴/۳	۴۶/۵۵
۶	جاده	۷۸۵	۹۹۲۶۲۳۲/۱۵۷	۰/۹۵
۷	آب	۱	۲۵۹۰۷۹/۷۱۶۵	۰/۰۲
۸	جنگل	۶	۵۴۸۰۴۹/۰۱۴	۰/۰۵
۹	مرتع	۱۳	۲۲۸۹۵۶۵/۴۶	۰/۲۲

جدول ۴. درصد کاربری‌های تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۹۳

ردیف	کاربری	تعداد	مساحت	درصد
۱	مسکونی	۵۴۴	۱۵۰۷۱۰۸۴۱/۳	۱۴/۳۹
۲	کشاورزی	۱۹۲	۳۱۶۶۳۸۷۸۳/۸	۳۰/۲۴
۳	باغ	۱۵۴	۵۱,۳۹۰,۷۹۶	۴/۹۱
۴	فضای سبز	۲۶	۵۵۸۰۸۵۷/۶۱۸	۰/۵۳
۵	بایر	۱۵۱	۵۱۱۱۱۰۸۲۸/۱	۴۸/۸۲
۶	جاده	۱۲	۹۱۱۰۰۳۹/۷۰۲	۰/۸۷
۷	جنگل	۱	۲۱۴۲۰/۵۳۹۳۹	۰/۰۰
۸	مرتع	۱۴	۲۴۰۶۳۹۹/۸	۰/۲۳

جدول ۵. درصد کاربری‌های تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۶

ردیف	کاربری	تعداد	مساحت	درصد
۱	مسکونی	۷۸۹	۲۰۲۵۸۴۸۲۱/۸	۱۹/۳۵
۲	کشاورزی	۱۸۴	۲۹۴۶۰۵۶۸۳/۳	۲۸/۱۴
۳	باغ	۱۵۱	۴۶۰۶۵۲۳۹/۳۷	۴/۴۰
۴	فضای سبز	۷۷	۹۷۴۸۱۷۷/۵۱۱	۰/۹۴
۵	بایر	۲۰۷	۴۷۵۸۱۳۹۶۳/۶	۴۵/۴۵
۶	آب	۳	۲۹۸۱۰۳/۳۳۷۶	۰/۰۳
۷	جنگل	۱۷	۴۴۲۳۱۰۰/۳۲۲	۰/۴۲
۸	مرتع	۱۳	۲۲۸۰۶۴۸/۸۹۸	۰/۲۲
۹	جاده	۸۶۳	۱۱۱۵۰۲۳۷/۰۶	۱/۰۷

جدول ۶. درصد کاربری‌های تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۸

ردیف	کاربری	تعداد	مساحت	درصد
۱	مسکونی	۷۰۹	۱۸۳۹۸۵۸۷۴/۸	۱۷/۴۸
۲	کشاورزی	۲۱۰	۳۰۷۳۴۳۰۵۱/۴	۲۹/۳۶
۳	باغ	۱۵۰	۴۷۵۹۷۱۸۳/۹۵	۴/۵۵
۴	فضای سبز	۶۴	۹۶۷۱۵۰/۶۷۵	۰/۹۳
۵	بایر	۱۷۴	۴۸۲۰۱۳۵۲۹/۶	۴۶/۰۴
۶	آب	۱	۲۵۶۲۴۶/۳۳۰۴	۰/۰۲
۷	جنگل	۱۷	۴۲۲۴۵۲۸/۷۴۵	۰/۴۰
۸	مرتع	۱۳	۲۲۸۰۶۴۸/۸۹۸	۰/۲۲
۹	جاده	۸۱۶	۱۰۵۹۸۷۶۰/۷۲	۱/۰۱

ایجاد پایگاه داده‌ها

مدل اسلوس حداقل به چهار دوره توسعه تاریخی شهر، دو دوره لایه کاربری اراضی، دو دوره شبکه جاده، یک لایه شیب توپوگرافی با درصد، یک لایه با نواحی مستثنائیه از شهرسازی و یک لایه سایه‌روشن تنها برای استفاده به‌عنوان زمینه نیاز دارد. لایه‌های توسعه شهری، کاربری اراضی و شبکه جاده‌ها با استفاده از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۱۶ تولید شدند. سیستم مختصات و سیستم بیضوی همه تصاویر WGS84 و UTM زون ۳۸ است. لایه کاربری اراضی به کلاس‌های کشاورزی، باغ‌ها، زمین‌های بایر، زمین‌های شهری و روستایی، دریاچه، فضای سبز، درختکاری و جنگل‌کاری طبقه‌بندی شدند. سپس به‌منظور اینکه بتوان نیم‌رخ پویایی شهری را از سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۶ به‌کمک نقشه‌های کاربری اراضی به تصویر کشید، این نقشه‌ها به لایه‌های دودویی شهری و غیرشهری تبدیل شدند. همچنین لایه‌های شبکه جاده از تفسیر بصری تصاویر براساس دیجیت کردن تصاویر IKONOS و Landsat استخراج شدند. لایه‌های شیب درصد و سایه‌روشن با DEM تهیه‌شده از منحنی میزان‌های ۱۰ متری سازمان نقشه‌برداری در محیط GIS محاسبه شدند. از لایه سایه‌روشن به‌عنوان تصویر زمینه برای تصاویر ورودی استفاده شد. سرانجام همه لایه‌های ورودی به رسترهای با کیفیت‌های ۲۰، ۲۵ و ۳۰ و سپس به تصاویر رقومی با فرمت GIF که مورد نیاز مدل است، تبدیل شدند.

کالیبراسیون

در این مطالعه از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۶ کالیبراسیون مدل اسلوس در سه فاز اجرا شده است: فاز تست، فاز کالیبراسیون و فاز پیش‌بینی.

فاز تست

فاز تست مدل اسلوس به‌طور موفق اجرا شد. در این فاز به این اشاره می‌شود که مدل برای فاز کالیبراسیون آماده است و همه شرایط ابتدایی مطلوب را دارد.

فاز کالیبراسیون

مرحله کالیبراسیون یکی از مهم‌ترین مراحل شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری در مدل اسلوس است (Dietzel and Clarke, 2006: 78-101). فرضیه اصلی مدل مورد نظر این است که تغییر یک ناحیه در گذشته، در آینده نیز به همین صورت ادامه داشته باشد؛ یعنی قاعده تغییر در گذشته قاعده تغییر در آینده نیز به‌شمار می‌آید. یکی از ایده‌های اصلی مدل کالیبراسیون تغییرات توسعه شهر در گذشته است که می‌تواند یک پیش‌بینی معقول برای تغییر در آینده ایجاد کند (Clarke et al., 1997: 247-261)؛ بنابراین منظور از مرحله کالیبراسیون تولید یا استنتاج برخی از ارزش‌ها برای ضرایب رشد است که می‌تواند به‌شکلی مؤثر رشد شهری را در طول یک مدت معین شبیه‌سازی کند (Silva and Clarke, 2002: 525-552). فرایند کالیبراسیون برای داده‌های تاریخی استفاده‌شده و چرخه‌های رشد را هنگامی که چرخه‌های کامل برای یک سال کنترل به پایان رسید تولید می‌کند. برای کنترل داده‌های تاریخی و فضایی وارد شده به مدل اسلوس، یک تصویر شبیه‌سازی شده با روش مونت کارلو که به همراه آن ارزش‌هایی برای یازده شاخص آماری تولید می‌شود، ایجاد می‌شود. این جایی است که کاربر به دامنه‌ای از ارزش‌ها و تکرار مدل با ترکیب و جایگزینی پنج پارامتر کنترل از سال آغازین تا سال پایانی اشاره می‌کند.

ارزیابی کالیبراسیون مدل اسلوس

الگوریتم‌های مختلفی برای ارزیابی کالیبراسیون مدل اسلوس وجود دارد که در این مطالعه از الگوریتم ارزیابی پارامتر Brute Force استفاده شد. کالیبراسیون در سه فاز درشت، ریز و نهایی اجرا شده است. برای اجرای مراحل سه‌گانه کالیبراسیون خودکار می‌توان از نرم‌افزار سیگومین که یک شبیه‌ساز یونیکس مبتنی بر ویندوز است، استفاده کرد (Salman Mahiny and Clarke, 2012: 933 به نقل از <http://www.cygwin.com>).

کالیبراسیون درشت (ضریب رشد درشت)

اولین فاز کالیبراسیون، کالیبراسیون درشت نام دارد که با استفاده از اکستنشن OSM و با معرفی همه ارزش ضرایب رشد، صفر برای ارزش آغازین، ۲۵ برای میانی و ۱۰۰ برای ارزش پایانی اجرا شد. مرحله درشت یا Coarse کالیبراسیون با استفاده از تصاویر و داده‌های ورودی با تفکیک‌پذیری پایین ۳۰×۳۰ متر و با سطر و ستون ۱۲۷۵×۹۱۳ اجرا شد. برای اجرای کالیبراسیون درشت حدود ۸ ساعت و ۳۵ دقیقه زمان صرف شد. ارزش‌هایی ضرایب رشد به صورت کامل و با تعداد تکرار مونت کارلو ۵ انتخاب شدند (جدول ۷ و ۸).

جدول ۷. ضرایب انتخاب‌شده برای فاز درشت

Calibration_Diffusion_Start=۰
Calibration_Diffusion_Step= ۲۵
Calibration_Diffusion_Stop= ۱۰۰
Calibration_Breed_Start= ۰
Calibration_Breed_Step= ۲۵
Calibration_Breed_Stop= ۱۰۰
Calibration_Spread_Start= ۰
Calibration_Spread_Step= ۲۵
Calibration_Spread_Stop= ۱۰۰
Calibration_Slope_Start= ۰
Calibration_Slope_Step= ۲۵
Calibration_Slope_Stop= ۱۰۰
Calibration_Road_Start= ۰
Calibration_Road_Step= ۲۵
Calibration_Road_Stop= ۱۰۰
Prediction_Diffusion_Best_Fit= ۲۰
Prediction_Breed_Best_Fit= ۲۰
Prediction_Spread_Best_Fit= ۲۰
Prediction_Slope_Best_Fit= ۲۰
Prediction_Road_Best_Fit= ۲۰

جدول ۸. ضریب استنتاج شده از فاز درشت توسط OSM

OSM	Diff	Brd	Sprd	Slp	Road
./۸۵۵۵۵۸۵۷	۲۵	۷۵	۲۵	۱۰۰	۱۰۰
./۷۹۳۴۱۱۸۵	۵۰	۱	۲۵	۵۰	۱
./۷۸۶۷۶۰۸۷	۵۰	۱	۲۵	۵۰	۷۵
./۶۷۲۳۴۵۶۴	۲۵	۱۰۰	۲۵	۱۰۰	۱
./۶۵۱۴۵۸۹۲	۵۰	۲۵	۲۵	۱۰۰	۷۵
./۵۹۹۰۳۷۸۹	۲۵	۵۰	۲۵	۷۵	۵۰
./۵۹۶۹۴۰۵۸	۵۰	۱	۵۰	۱۰۰	۵۰
./۵۸۷۹۸۰۳۳	۵۰	۱	۵۰	۱۰۰	۷۵
./۵۸۴۷۷۷۸۹	۷۵	۱	۵۰	۱۰۰	۱
./۵۷۴۴۹۴۵۴	۷۵	۲۵	۲۵	۱۰۰	۵۰
./۴۸۸۸۹۱۷۲	۵۰	۱	۲۵	۵۰	۲۵
./۴۳۶۶۹۵۳۴	۱۰۰	۱	۵۰	۱۰۰	۷۵
./۴۳۶۶۹۵۳۴	۲۵	۵۰	۲۵	۷۵	۱

کالیبراسیون ریز (ضریب رشد ریز)

براساس متریک‌های آماری محاسبه شده با استفاده از اکستنشن OSM ۵۰ ردیف از سطر و ستون به دست آمده ۳ ردیف اول آن برای مرحله بعد انتخاب شدند و در این مرحله تعداد تکرار مونته کارلو به ۷ با تصاویر ورودی با افزایش تفکیک پذیری 25×25 متر و سطر و ستون 1096×1530 در مقایسه با مرحله درشت کالیبراسیون افزایش یافت. برای اجرای این مرحله از کالیبراسیون حدود ۹ ساعت و ۵۲ دقیقه زمان سپری شد (جدول ۹ و ۱۰).

جدول ۹. ضرایب انتخاب شده برای فاز ریز

CALIBRATION_DIFFUSION_START= ۲۵
 CALIBRATION_DIFFUSION_STEP= ۵
 CALIBRATION_DIFFUSION_STOP= ۵۰

CALIBRATION_BREED_START= .
 CALIBRATION_BREED_STEP= ۱۰
 CALIBRATION_BREED_STOP= ۷۵

CALIBRATION_SPREAD_START= .
 CALIBRATION_SPREAD_STEP= ۵
 CALIBRATION_SPREAD_STOP= ۲۵

CALIBRATION_SLOPE_START= ۵۰
 CALIBRATION_SLOPE_STEP= ۱۰
 CALIBRATION_SLOPE_STOP= ۱۰۰

CALIBRATION_ROAD_START= ۷۵
 CALIBRATION_ROAD_STEP= ۵
 CALIBRATION_ROAD_STOP= ۱۰۰

PREDICTION_DIFFUSION_BEST_FIT= ۲۰
 PREDICTION_BREED_BEST_FIT= ۲۰
 PREDICTION_SPREAD_BEST_FIT= ۲۰
 PREDICTION_SLOPE_BEST_FIT= ۲۰
 PREDICTION_ROAD_BEST_FIT= ۲۰

جدول ۱۰. ضریب استنتاج‌شده از فاز ریز به کمک OSM

OSM	Diff	Brd	Sprd	Slp	Road
./۸۸۹۵۳۷۱۷	۳۵	۵۰	۲۵	۷۰	۸۰
./۸۷۷۷۶۴۴۶	۳۵	۶۰	۲۵	۸۰	۸۵
./۸۷۰۳۰۹	۴۰	۵۰	۲۵	۸۰	۹۰
./۸۶۹۸۳۳۴	۴۰	۶۰	۲۵	۹۰	۹۵
./۸۵۳۷۹۲۰۷	۴۰	۷۰	۲۵	۹۰	۸۵
./۸۲۵۲۸۴۷۵	۵۰	۵۰	۲۵	۸۰	۹۰
./۸۴۸۴۶۱۹۳	۵۰	۲۵	۲۵	۵۰	۹۰
./۸۴۴۹۵۰۹۷	۴۵	۷۰	۲۵	۱۰۰	۷۵
./۸۳۹۵۵۲۹۴	۵۰	۲۰	۲۵	۵۰	۷۵
./۸۳۱۶۴۶۰۳	۴۵	۷۰	۲۵	۹۰	۹۵
./۸۲۱۰۸۷۵۴	۵۰	۶۰	۲۵	۹۰	۱۰۰
./۸۱۵۴۸۳۵۱	۵۰	۷۰	۲۵	۹۰	۷۵
./۸۰۳۵۹۰۸۳	۵۰	۷۰	۲۵	۱۰۰	۸۵

کالیبراسیون نهایی (ضریب رشد نهایی)

برای مرحله پایانی کالیبراسیون، ضرایب رشد با استفاده از فایل ایجادشده به کمک اکستنشن OSM از روی فایل خروجی ایجادشده در مرحله ریز یا Fine کالیبراسیون انتخاب شدند. فاز نهایی کالیبراسیون روی تصاویر با تفکیک‌پذیری بالاتر 20×20 متر و سطر و ستون 1912×1369 و با تعداد مونت‌کارلو ۹ در مقایسه با مرحله قبلی اجرا شد. پس از مرحله نهایی، ارزش‌های تصفیه‌شده ضرایب رشد به دست آمدند. برای انجام مرحله آخر کالیبراسیون، حدود ۱۰ ساعت و ۱۸ دقیقه زمان صرف شد (جدول ۱۱ و ۱۲).

جدول ۱۱. ضرایب انتخاب‌شده برای فاز نهایی

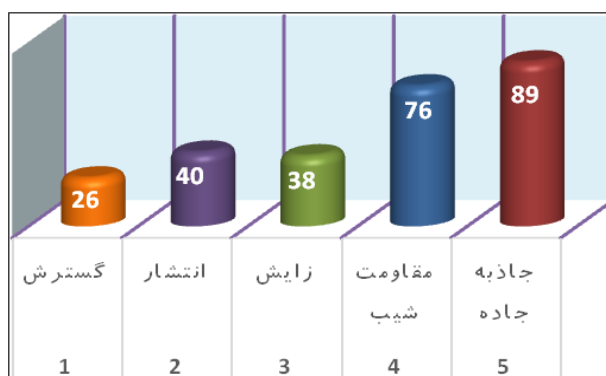
CALIBRATION_DIFFUSION_START= ۳۵
CALIBRATION_DIFFUSION_STEP= ۱
CALIBRATION_DIFFUSION_STOP= ۴۰
CALIBRATION_BREED_START= ۵۰
CALIBRATION_BREED_STEP= ۵
CALIBRATION_BREED_STOP= ۶۰
CALIBRATION_SPREAD_START= ۱
CALIBRATION_SPREAD_STEP= ۵
CALIBRATION_SPREAD_STOP= ۲۵
CALIBRATION_SLOPE_START= ۶۸
CALIBRATION_SLOPE_STEP= ۳
CALIBRATION_SLOPE_STOP= ۷۸
CALIBRATION_ROAD_START= ۸۰
CALIBRATION_ROAD_STEP= ۵
CALIBRATION_ROAD_STOP= ۹۰
PREDICTION_DIFFUSION_BEST_FIT= ۲۰
PREDICTION_BREED_BEST_FIT= ۲۰
PREDICTION_SPREAD_BEST_FIT= ۲۰
PREDICTION_SLOPE_BEST_FIT= ۲۰
PREDICTION_ROAD_BEST_FIT= ۲۰

جدول ۱۲. ضریب استنتاج‌شده از فاز نهایی به کمک OSM

OSM	Diff	Brd	Sprd	Slp	Road
./۷۹۹۹۵۸۱۱	۳۹	۵۸	۲۱	۶۸	۸۰
./۷۹۵۴۱۳۳۷	۴۰	۵۸	۲۱	۶۸	۹۰
./۷۷۱۵۹۹۳۳	۴۰	۵۸	۲۱	۷۲	۸۴
./۷۶۳۹۴۴۶۹	۴۰	۶۰	۲۱	۷۲	۹۰
./۷۴۱۷۶۶۹۳	۴۰	۶۰	۲۱	۶۸	۸۴
./۷۲۶۴۲۶۱۲	۴۰	۶۰	۲۱	۷۶	۸۸
./۶۶۵۹۴۵۱۷	۴۰	۵۲	۲۱	۷۰	۸۲
./۶۶۰۳۱۹۵۱	۴۰	۵۴	۲۱	۷۴	۸۰
./۶۵۰۷۹۲۱۸	۴۰	۵۶	۲۱	۶۸	۸۶
./۶۳۰۷۷۵۶۳	۴۰	۶۰	۲۱	۷۲	۸۶
./۶۱۹۷۶۸۶۲	۴۰	۶۰	۲۱	۷۴	۹۰
./۵۴۸۶۳۲۲۶	۴۰	۶۰	۲۱	۷۲	۸۸
./۵۲۱۵۲۳	۴۰	۶۰	۲۱	۷۴	۸۰

میانگین ارزش‌های ضرایب کالیبراسیون

بعد از کالیبراسیون، میانگینی از ارزش‌های ضرایب به وجود می‌آید که بهترین راه‌حل است و برای به‌کاربردن یک پیش‌بینی و اجرای مدل شبیه‌سازی‌شده از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۰ استفاده می‌شود. در شکل ۸، میانگین ارزش‌های ضرایب سال پایانی داده‌های تاریخی ایجاد شده است. به‌منظور مشاهده وضعیت پویایی، رشد شهری پیش‌بینی‌شده ارزیابی می‌شود.



شکل ۸. میانگین ارزش‌های ضرایب

با توجه به شکل ۸، نمره زیاد پارامتر، مقاومت شیب برای رشد شهری را با احتمال بالای مقاومت به شهرسازی در زمین‌هایی با شیب بالا در پیرامون مراکز رشد شهری موجود منعکس می‌کند. همچنین امتیاز زیاد جاذبه شبکه جاده‌ها به تأثیرپذیری واضح و عمده رشد شهری از خطوط جاده‌ها در منطقه اشاره می‌کند. در جدول ۷، پنج ضریب وجود دارد که تغییر رشد شهر را طی سه سال مقایسه‌ای کنترل می‌کند. افزایش در ضریب مقاومت شیب و انتشار طی مدت کالیبراسیون بیشترین تغییرات را داشتند. ضریب مقاومت شیب از ۷۱ تا ۷۶ بعد از خوداصلاحی افزایش یافت و جاذبه جاده از ۸۹/۶۹ به ۸۹/۰۴ کاهش یافت. افزایش در مقاومت شیب نشان می‌دهد ساخت‌وسازهای کمتری در شیب‌ها در مقایسه با روال گذشته صورت گرفته است.

همچنین در جدول ۷ به ویژگی‌های رشد شهری کلان‌شهر تبریز اشاره شده است. براساس ارزش کمتر ضریب زایش،

رشد مراکز جدید گسترش یافته در مقایسه با دیگر مطالعات کمتر است. درحقیقت در طول ۲۳ سال گذشته مدیران شهری در تبریز کمتر به گسترش مراکز شهری جدیدی در این شهر پرداخته‌اند. در مقایسه با دیگر مطالعات، ضریب پخش یافته شده در این مطالعه به نسبت کمتر است. رشد ارگانیک یا رشد از لبه یکی دیگر از انواع مهم رشد در این منطقه است. ضریب شیب زیاد نشان می‌دهد توپوگرافی عاملی بسیار مهم در محدود کردن رشد شهری است. ضریب پخش پایین نیز نشان می‌دهد منطقه تبریز شکلی به نسبت فشرده از رشد با شهرسازی را که نزدیک مراکز شهری موجود و مراکز شهری جدید اتفاق می‌افتد دارد. ضریب بیشتر جاذبه جاده نشان می‌دهد رشد شهری تأثیر زیادی از خطوط جاده‌ها پذیرفته است.

جدول ۱۳. ضرایب تغییرات رشد

سال	پخش	انتشار	زایش	مقاومت شیب	جاذبه جاده
۱۹۹۳	۲۵/۵۷	۳۶/۹	۳۰/۰۸	۷۱/۰۸	۸۹/۶۹
۲۰۰۰	۲۵/۵۷	۳۶/۹	۳۵/۴۸	۷۵/۵۳	۸۹/۲۵
۲۰۱۶	۲۶/۰۳	۳۷/۵۸	۴۰/۴۵	۷۶/۰۵	۸۹/۰۴

پیش‌بینی

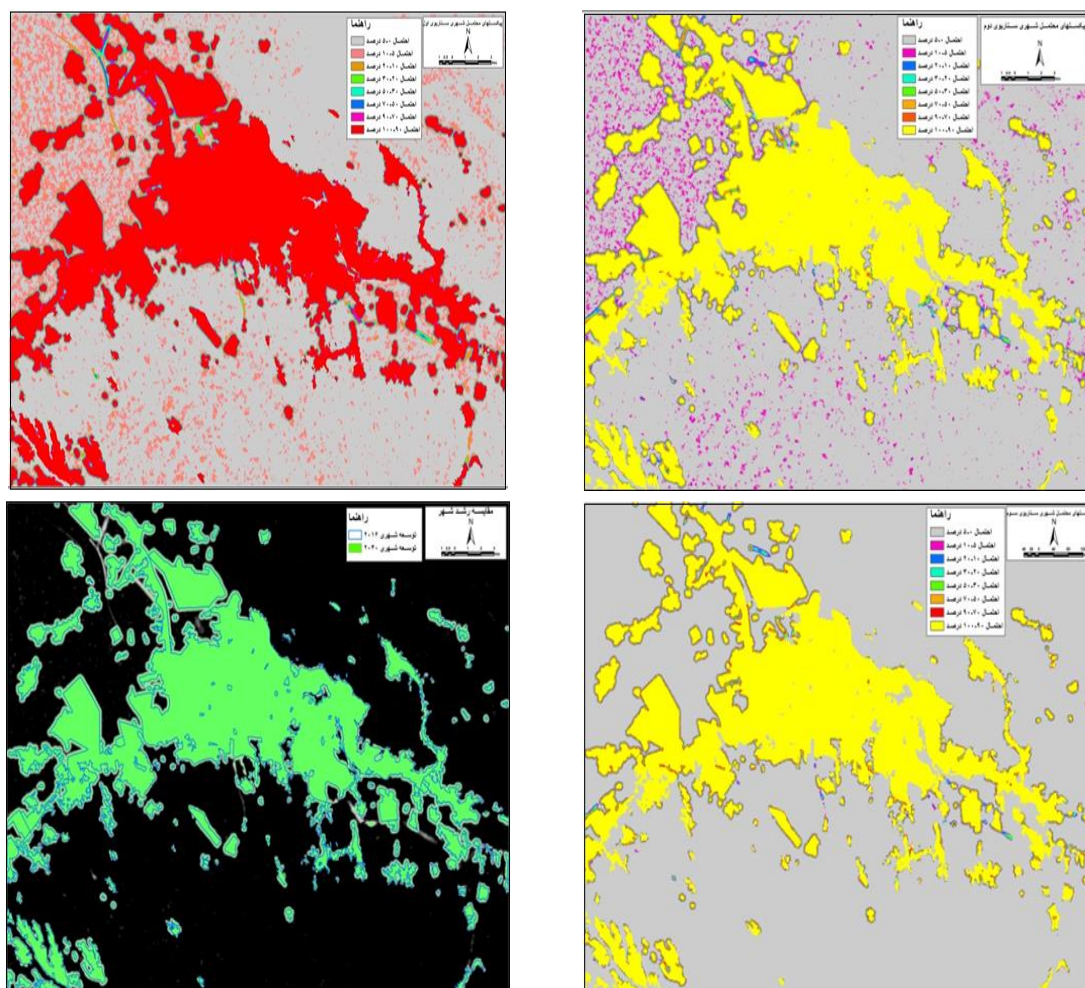
مرحله پیش‌بینی مدل اسلوس شامل اجرای مدل در داده‌های ورودی با تفکیک‌پذیری بالاتر با تنظیم کردن عدد مونت کارلو مساوی ۱۰۰ یا بالاتر و با تعریف کردن بهترین ضرایب رشد منتج شده از مرحله نهایی کالیبراسیون است. مرحله پیش‌بینی، فرایند تک‌مرحله‌ای برای هریک از سناریوهاست که تصاویر و فایل‌های آماری برای پیش‌بینی رشد شهری آینده را تولید می‌کند. در این مطالعه، مدل اسلوس برای پیش‌بینی رشد شهری تا سال ۲۰۴۰ طراحی شده است.

ایجاد سناریو

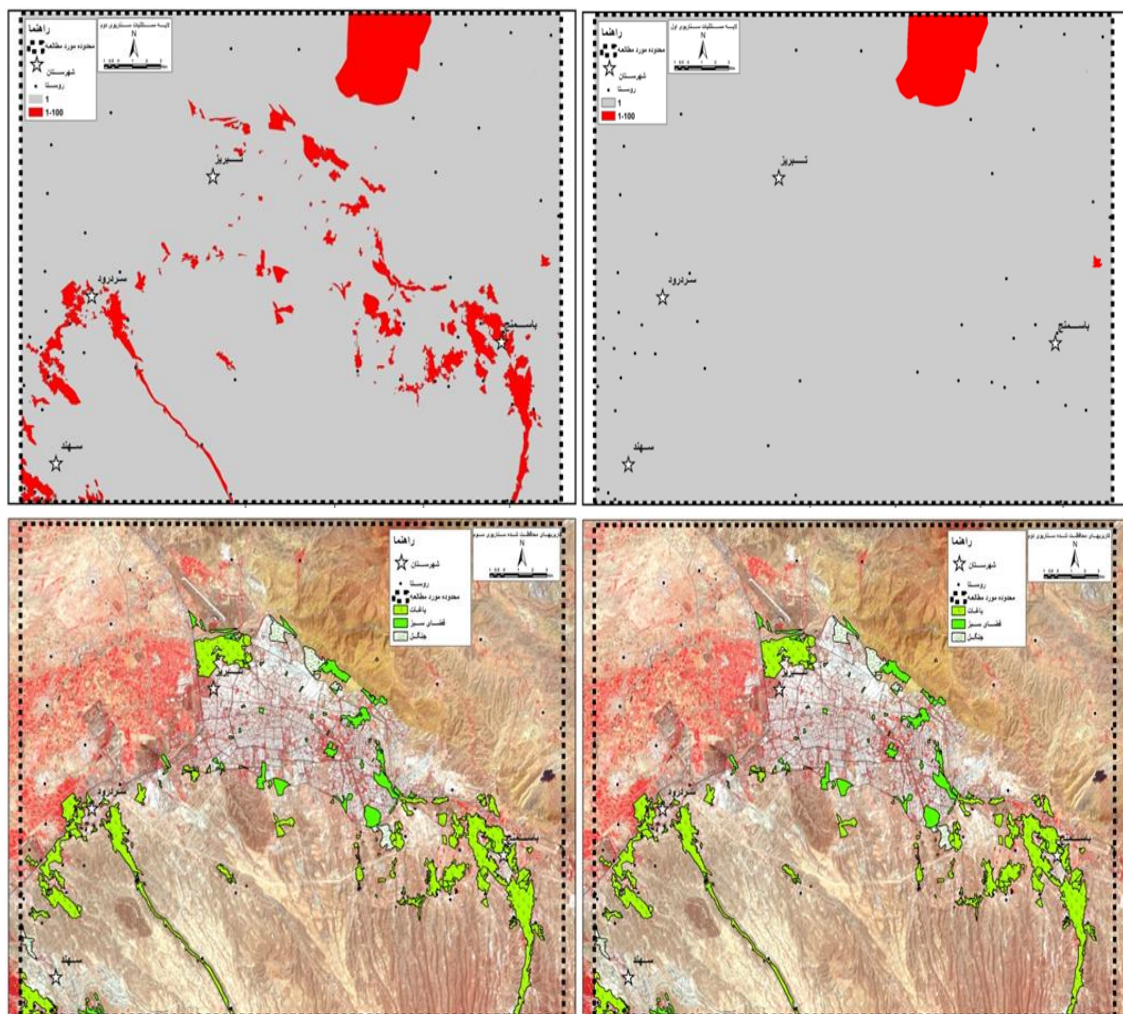
در این پژوهش، براساس کالیبراسیون داده‌های تاریخی و ضرایب رشد در مرحله اجرای فاز کالیبراسیون، رشد شهری آینده تا سال ۲۰۴۰ با طراحی سه سناریوی تاریخی یا رشد شهری بدون محدودیت و آزاد پیش‌بینی شد که به کمک آن شهر بدون هیچ محدودیتی به رشد خود ادامه می‌دهد. براساس روال و روند حاکم بر گذشته، در سناریو فرض شد که رشد و توسعه مانند گذشته ادامه می‌یابد و رشد شهری با شرایط جاری بدون هیچ تغییری شبیه‌سازی می‌شود. تنها عارضه در لایه مستثنیات، عوارض دریاچه و شیب‌های بالای ۴۰ درصد جایی بود که توسعه شهری نه در گذشته و نه در آینده رخ نمی‌دهد. سناریوی زیست‌محیطی معتدل یا رشد شهری محافظت شده و با ایجاد لایه ممانعت و سناریوی زیست‌محیطی سخت‌گیرانه مشابه سناریوی دوم و ایجاد شکل شهری فشرده بود. سناریوی تاریخی نشان می‌دهد که هیچ محدودیتی در برابر رشد شهر وجود ندارد. ناحیه شهر توسعه‌ای در حدود ۱۵/۵ درصد از ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۰ که به ۳۲۴۱ هکتار می‌رسد، پیدا کرد. این سناریو بالاترین توسعه شهری را که منجر به از بین رفتن بخش زیادی از منابع طبیعی مانند باغ‌ها و زمین‌های مرغوب شد، نشان داد. دومین سناریو رشد مدیریت شده به رشد شهری که با استفاده از یک لایه مستثنیات شامل عوارض پارک‌ها، فضای سبز، جنگل‌ها و باغ‌های مرغوب محدود شده بود، مربوط بود و از فضاهای حساس طبیعی و زیبای محیطی محافظت می‌کرد. لایه مستثنیات نیز به عنوان لایه محافظت ویژه برای مکان‌هایی که نباید توسعه شهری اتفاق بیفتد، تعریف شد. سناریوی محافظت محیطی افزایش کمی در توسعه و رشد شهری در مقایسه با سناریوی اول داشته و

میزانی در حدود ۱۶۷۰ هکتار از اراضی را که دست‌نخورده باقی می‌ماند، ایجاد کرده است. همچنین نه تنها میزان بسیار زیادی از زمین‌های مرغوب از شهری‌شدن محافظت شدند، بلکه منجر به شهرسازی فشرده می‌شود که ارائه خدمات شهری برای مدیران شهری را تسهیل می‌کند. به همین دلیل این سناریو باید از سناریوی اول قابل ترجیح باشد. در سناریوی سوم به رشد شهر اجازه داده می‌شد مشابه سناریوی دوم با همان لایه مستثنیات، اما با ضرایب انتشار و گسترش کم ۱ و ۴۰ به ترتیب با پارامترهای پخش به توسعه خود ادامه دهد. انتشار کم به تشکیل یک شهر فشرده که شهر با شهرسازی خود در نزدیک ناحیه‌های شهری موجود و هسته‌های شهری رشد می‌کند، کمک می‌کند. سناریو سوم مجموعه‌ای بسیار قوی از سیاست‌هایی را به وجود می‌آورد که رشد شهر را محدود کرده و از منابع طبیعی به نحو احسن محافظت می‌کند (اشکال ۹ و ۱۰).

نتایج پیش‌بینی رشد شهری آینده در هر سه سناریو، نقشه احتمالی برای هر پیکسل است که در آینده به سکونتگاه شهری تبدیل می‌شود. با فرض اینکه همان روال توسعه شهری که در گذشته حاکم بود در آینده نیز به قوت خود باقی می‌ماند (Herold et al., 2003: 991-1001). نقشه‌های پیش‌بینی احتمالی به نرم‌افزار Arcgis انتقال داده شد تا تکنیک‌های تجزیه و تحلیل تصاویر استفاده شود. تصاویر با احتمال طبقه‌بندی شد و نتایج پیش‌بینی معلوم شد (شکل ۹).



شکل ۹. نقشه احتمال شهری پیکسل‌های سناریوی اول تا سوم و توسعه شهری سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۴۰



شکل ۱۰. نقشه مستثنیات سناریوی اول تا سوم و لایه‌های محافظت‌شده از شهرسازی

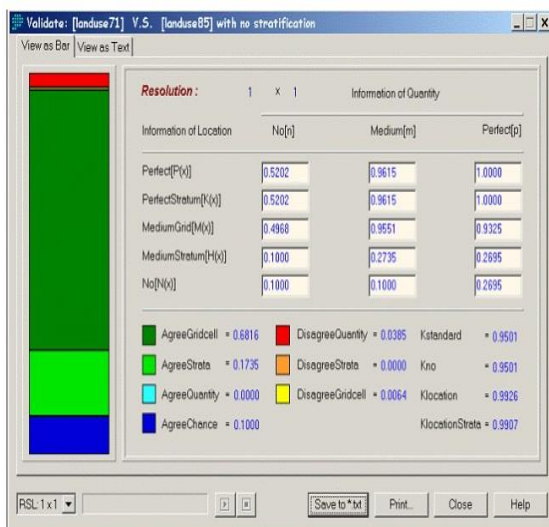
اعتبارسنجی مدل اسلوس

منظور از اعتبارسنجی آن است که یک مدل در زمینه کاربردی محدوده‌ای از دقت رضایت‌بخش را داشته باشد (Rykiel Jr, 1996: 229-244). مدل‌های شهری با مقایسه خروجی شبیه‌سازی‌شده با مشاهدات دنیای واقعی به کمک روش‌های مقایسه‌ای بصری ماتریس‌های Confusion و خطا اعتبارسنجی می‌شوند. اعتبارسنجی مدل CA یکی از چالش‌های پیش‌رو در کاربرد CA است. تاکنون بیشتر مدل‌های CA از مقایسه بصری برای تأیید نتایج شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. بررسی عملکرد خود مدل نیز بسیار بحث‌برانگیز است؛ زیرا در سیستم‌های خود سازماندهی وضعیت خاصی وجود دارد. مدل‌های CA باید بر پایه معقولیت این مدل‌ها ارزیابی شود. اعتبارسنجی مدل در این پژوهش با استفاده از ماژول Validate در نرم‌افزار Idrisi انجام شده. نتایج مقایسه تصویر شبیه‌سازی‌شده و کاربری اراضی واقعی سال ۲۰۱۶ در اشکال ۱۱ و ۱۲ قابل مشاهده است. این ماژول روشی را که سازش یا توافق بین دو تصویر (نقشه مقایسه که تصویر شبیه‌سازی‌شده بوده و مدل فراهم کرده و نقشه مرجع که تصویر واقعی زمین است) اندازه‌گیری می‌کند، ارائه می‌دهد. ماژول Validate تحلیل آماری جامع را که هم‌زمان به دو پرسش مهم جواب می‌دهد فراهم می‌کند. یکی اینکه چگونه

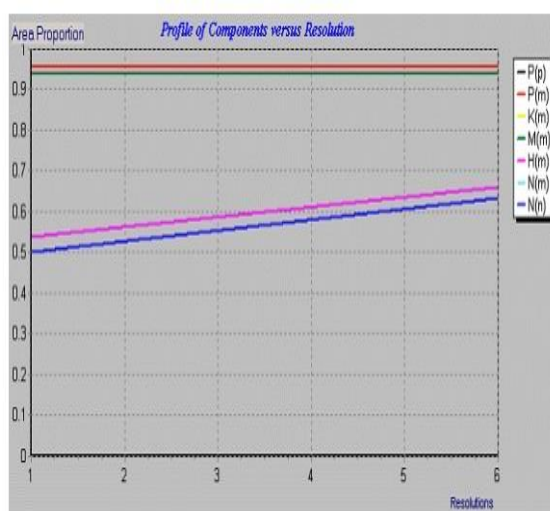
یک جفت از نقشه‌ها در بخش‌هایی از کمیت سلول‌ها در هر دسته با هم سازش دارند؟ و دیگر اینکه چگونه یک جفت از نقشه‌ها در بخش‌هایی از موقعیت سلول‌ها در هر دسته با هم سازش دارند. روش Validate از شاخص‌های مختلف ضریب کاپا برای پاسخ‌دهی به این پرسش‌ها استفاده می‌کند. آمارها نشان می‌دهد چطور نقشه مقایسه با نقشه مرجع سازش دارد. آنالیز سازش و غیرسازش را میان دو تصویر با استفاده از مؤلفه‌های زیر جدا می‌کند:

- سازش به دلیل تغییر؛
- سازش به دلیل کمیت؛
- سازش به دلیل موقعیت در سطح طبقه‌بندی شده؛
- سازش به دلیل موقعیت در سطح سلولی شبکه؛
- سازش نکردن به دلیل موقعیت در سطح سلولی شبکه؛
- سازش نکردن به دلیل موقعیت در سطح طبقه‌بندی شده؛
- سازش نکردن به دلیل کمیت.

با توجه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نتیجه می‌گیریم، دقت مدل اسلوس ۹۷ درصد است که این رقم برای شبیه‌سازی در میان دیگر روش‌های مرسوم شبیه‌سازی، جزء بهترین نتایج قابل دستیابی است.



شکل ۱۲. نمودار مازول Validate



شکل ۱۱. ضریب دقت مازول Validate

مقایسه نتایج سناریوها

ناحیه منابع کشاورزی و باغ‌های این منطقه حدود ۴۶۸۰ هکتار و کاملاً حاصلخیز است، اما گسترش شهری در سناریوی اول میزان بسیار زیادی از ناحیه کشاورزی و باغ‌ها را از بین خواهد برد؛ بنابراین نیاز فوری به محافظت از این زمین‌ها و باغ‌های مرغوب وجود دارد و اینکه باید گسترش شهری این نواحی متوقف شود، اما در سناریوی دوم حدود ۱۶۷۰ هکتار از زمین‌های مرغوب دست‌نخورده باقی می‌مانند؛ بنابراین این سناریو از سناریوی دوم برای توسعه شهری شهر تبریز، قابل ترجیح است.

در سناریوی اول، مدل پیش‌بینی می‌کند ۳۰۱,۲۳۳ پیکسل یا ۲۷۱۱ هکتار در ناحیه مورد مطالعه که برای کاربری‌های شهری محسوب نشده بود، با احتمال ۹۰-۱۰۰ درصد تا سال ۲۰۴۰ به ناحیه شهری تبدیل خواهد شد که در مقایسه با سناریوی دوم یعنی سناریوی زیست‌محیطی معتدل ۲۷۲,۶۱۷ پیکسل با همان احتمال و سناریوی زیست‌محیطی سخت ۲۳,۸۷۱ پیکسل با همان احتمال تا سال ۲۰۴۰ به شهر تبدیل خواهد شد. همچنین براساس جدول ۷، در سناریوی ۱ پیش‌بینی کلی این است که شماره عظیمی از پیکسل‌ها احتمالی برای شهری شدن در آینده را دارند. همچنین در مدل پیش‌بینی می‌شود که در سناریوی اول ۷۵۶۳ پیکسل معادل با ۶۸۰ هکتار با احتمال ۵۰ درصد به کاربری‌های شهری تبدیل خواهند شد که در مقایسه با سناریوی اول این میزان در سناریوی دوم ۵۷۰۶ معادل با ۵۱۳ هکتار و ۵۳۰۷ پیکسل معادل با ۴۷۷ هکتار در سناریوی سوم است و این کاهش به دلیل ایجاد لایه مستثنیات در سناریوی دوم و سوم است. از دیگر مشخصات بارز جدول‌های ذکر شده، وجود ۷۸۰,۰۴۶ پیکسل در سناریوی اول، ۸۳۲,۰۶۷ پیکسل در سناریوی دوم و ۸۴۴,۱۹۵ پیکسل در سناریوی سوم است که با احتمال صفر تا ۱۰ درصد به کاربری‌های شهری تبدیل خواهند شد. احتمال بسیار ناچیزی است که در صورت ایجاد سناریوی دوم، که مطلوب‌ترین سناریو برای گسترش شهری تبریز است، ۷۴,۸۸۰ هکتار از زمین در محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۴۰ باقی خواهد ماند. به علاوه برای هر سه سناریو مقدار عظیمی از زمین‌های مسطح با شیب‌های کم که برای بعضی از کاربری‌های شهری استفاده شده بود، با احتمال بیشتر از ۵۰ درصد به شهر تبدیل خواهد شد. باید توجه داشت که بیشتر این تغییرات در پیرامون مراکز شهری موجود با احتمال ۹۰ درصد یا بیشتر، پیش‌بینی شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

طی دهه‌های اخیر، توسعه بی‌رویه شهرهای بزرگ سبب دست‌اندازی به زمین‌های بارز و حاصلخیز کشاورزی و جنگلی شده و منابع ارزشمند محیط‌زیستی و اکولوژیکی زیادی را از بین برده است؛ بنابراین باید حدود و مرزهای توسعه شهری به صورت دقیق و علمی مشخص شود تا مدیران شهری بتوانند از توسعه بی‌رویه شهری جلوگیری کنند و هر چه بیشتر به محافظت این منابع بارز بپردازند؛ از این رو هدف پژوهش پیش‌رو، مدل‌سازی رشد شهری کلان‌شهر تبریز و پیش‌بینی تغییرات آتی آن با استفاده از مدل اسلوس است. نتایج نشان می‌دهد رشد شهری در صورت ادامه و بدون برنامه‌ریزی شده تا سال ۲۰۴۰، به میزان ۱۵/۵ درصد اتفاق خواهد افتاد. این پژوهش نشان‌دهنده موفقیت‌آمیز بودن مدل اسلوس برای کالیبره کردن شهر تبریز با استفاده از روش OSM براساس داده‌های تاریخی سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۱۶ است. ضرایب استنتاج‌شده از فرایند کالیبراسیون با ارزش‌های ضرایب پژوهش‌های دیگری که براساس مدل اسلوس انجام شده بود، قابل‌مقایسه است. رشد تاریخی نشان می‌دهد هیچ محدودیتی در برابر توسعه شهری وجود ندارد. ناحیه شهر حدود ۱۵/۵ درصد از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۰ رشد خواهد کرد؛ به عبارت دیگر، ۳۲۴۱ هکتار به زمین‌های شهری افزوده خواهد شد. این سناریو بیشترین افزایش را در توسعه شهری نشان داد که منجر به از بین رفتن بخش عظیمی از منابع طبیعی می‌شود. سناریوی زیست‌محیطی معتدل کمترین افزایش را از سناریوی دوم دارد و منجر به محافظت ۱۷۵۱ هکتار از منابع طبیعی شده و نشان‌دهنده رشد ناحیه شهری در حدود ۷/۷ درصد است. براساس پیش‌بینی‌های این پژوهش، تحت

سناریوی زیست‌محیطی سخت، ناحیه شهری حدود صفر درصد رشد خواهد کرد. در این صورت نه تنها از منابع طبیعی بیشتری در مقایسه با سناریوی دوم محافظت می‌شود، بلکه به شهرسازی فشرده می‌انجامد که خدمات‌رسانی را برای مدیران شهری تسهیل می‌کند. براساس یافته‌ها، سناریوی از سناریوهای اول و دوم برای توسعه شهری تبریز بسیار مناسب و قابل‌ترجیح است. ارزش‌های ضرایب مناسب به‌دست‌آمده برای هر شاخص از مدل، مفیدبودن مدل اسلوس را برای پیش‌بینی رشد شهری نشان می‌دهد و سه سناریو برای ارزیابی پیامدهای رشد شهری در آینده، ایجاد شد. این سناریوها راهبردهای مختلف رشد را برای برنامه‌ریزان ارائه می‌کنند. رشد تاریخی یعنی سناریوی اول نشان می‌دهد هیچ محدودیتی در برابر توسعه شهر وجود ندارد. شهر تبریز حدود ۱۵/۵ درصد از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۰ توسعه یافته است. در میان این سه سناریو، سناریوی دوم بیشترین محافظت محیطی را برای شهر تبریز ایجاد می‌کند و افزایش نسبتاً کمی در توسعه زمین‌های شهری، که مطلوب‌ترین نتیجه برای توسعه شهری کلان‌شهر تبریز است، دارد. در مجموع محاسبات و بهره‌گیری از عوامل مؤثر در توسعه شهری نشان می‌دهد روند رشد شهری تبریز، به دلیل اینکه بخش زیادی از زمین‌های بارزش مانند باغ‌ها و زمین‌های مرغوب از بین رفته‌اند، نامناسب است. مدل اسلوس به بهترین نحو ویژگی‌های رشد شهری در کلان‌شهر تبریز را نشان می‌دهد که به نحو روشنی می‌توان توسعه شهری در آینده را پیش‌بینی کرد؛ بنابراین به نظر می‌رسد مدل اسلوس از پتانسیل بالایی در مطالعات برنامه‌ریزی شهری برخوردار است. به کمک این مدل مدیران شهری می‌توانند متوجه پیشرفت عناصر مختلف شوند و برای توسعه نواحی مختلف محدودیت ایجاد کنند. همچنین مشخص می‌شود که باید چه عکس‌العمل‌هایی در ایجاد سناریوهای آینده داشته باشند. براساس نتایج، استفاده از GIS برای آماده‌سازی داده‌های ورودی، کالیبراسیون مدل و ارزیابی تأثیرات رشد ضروری است. همچنین پیوند مناسبی میان GIS و CA در کاربرد مدل اسلوس وجود دارد. این مدل به‌عنوان ابزار پشتیبانی و کمکی به مدیران شهری برای دریافت نتیجه اقدامات احتمالی کاربرد دارد. هم‌سو با نتایج این پژوهش، پژوهش‌های دیگر هم به سنجش کاربرد مدل اسلوس برای ارزیابی توسعه شهری پرداخته‌اند که نتایج آن‌ها نیز مانند این پژوهش نشان‌دهنده مناسب بودن مدل اسلوس برای سنجش توسعه شهری دارد؛ برای نمونه ماهینی و جعفرنژاد (۱۳۹۲) بیان کرده‌اند که در میان تمام مدل‌های ثبت‌شده، سلول‌های خودکار (CA) با توجه به انعطاف‌پذیری، سادگی در استفاده و ارتباط نزدیک با سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مؤثرترین مدل برای توسعه شهری است. از میان تمام مدل‌های CA، احتمالاً مدل اسلوس مناسب‌ترین آن‌هاست. دوکاری و همکاران (۲۰۱۶) اذعان کرده‌اند اسلوس به‌طور خودکار برای اجرای سناریوهای آینده‌نگر از پیش تعریف‌شده که به‌وسیله زیردوره برای نشان‌دادن پویایی‌های مختلف فضایی تشکیل شده، طراحی شده است. لئو و همکاران (۲۰۱۷)، لی و همکاران (۲۰۱۸) و ساکسنا و جات (۲۰۱۸) نیز موفقیت‌آمیز بودن سنجش ضریب رشد شهری به کمک مدل اسلوس را تأیید کرده‌اند. تفاوت این پژوهش با سایر پژوهش‌های، در استفاده از سناریونویسی عملیاتی برای حفظ ذخایر اکولوژیک شهر در قالب مدل‌سازی پویاست. در پژوهش داداش‌پور و همکاران (۲۰۱۹) شبیه این موضوع را با عنوان تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی، نیروهای محرکه و پیش‌بینی سناریوهای رشد آینده برای تقویت رشد پایدار شهری: شواهدی از کلان‌شهر تبریز بررسی شده و نشان‌دهنده شباهت‌ها و تفاوت‌هایی است که شباهت‌های آن با پژوهش حاضر در این موارد است: در هر دو پژوهش از مدل Sleuth برای تحلیل الگوهای رشد شهری و پیش‌بینی

رشد آینده تبریژ استفاده شده و با رویکرد سناریونگاری به ترسیم الگوهای رشد آتی کلان‌شهر تبریژ پرداخته شده است و هر دو پژوهش به این نتیجه رسیده‌اند که ضریب جاذبه جاده بیشترین تأثیر را در رشد شهری تبریژ دارد، اما تفاوت‌هایی نیز با هم دارند که این تفاوت‌ها شامل موارد زیر است: سناریونویسی در پژوهش داداش‌پور و همکاران با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (LR) و ارزیابی چندمعیاره (MCE) انجام شده است، اما در پژوهش پیش‌رو براساس کالیبراسیون داده‌های تاریخی و ضرایب رشد انجام شده است. مدت‌زمان پیش‌بینی الگوهای رشد آتی کلان‌شهر تبریژ در پژوهش داداش‌پور و همکاران تا سال ۲۰۳۵ است، اما در پژوهش حاضر تا سال ۲۰۴۰ انجام شده است. متغیرهای بررسی‌شده در رشد شهری تبریژ به غیر از دسترسی به جاده، در هر دو پژوهش متفاوت است؛ بدین‌صورت که این متغیرها در پژوهش داداش‌پور و همکاران شامل دسترسی به جاده‌ها، شهرها و خدمات اصلی و نزدیکی به کاربری صنعتی است، اما در این پژوهش شامل شیب، سیستم حمل‌ونقل، کاربری اراضی، مستثنیات و سایه‌روشن است. همچنین نوع سناریوهای رشد آتی کلان‌شهر تبریژ در هر دو پژوهش متفاوت است؛ در پژوهش داداش‌پور و همکاران شامل سناریوهای رشد کنترل‌نشده، رشد تاریخی و رشد برنامه‌ریزی‌شده است، اما در پژوهش پیش‌رو شامل سناریوهای تاریخی، زیست‌محیطی معتدل و زیست‌محیطی سخت است. در راستای نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- با درپیش‌گرفتن سیاست‌های مناسب از گسترش شهر به اراضی کشاورزی حاشیه شهر تبریژ، به‌ویژه اطراف شهرستان اسکو و خسروشهر که مرغوبیت بالایی در سطح کشور دارند- به‌طوری‌که ۹۰ درصد از این اراضی شامل اراضی درجه ۱ است- جلوگیری شود.
- سیاست طرح‌های توسعه شهری مبتنی بر توسعه میان‌افزا و استفاده از اراضی داخل شهرها (بافت‌های فرسوده، اراضی بایر و...) در جهت حفظ کاربری کشاورزی، باغ‌ها و فضای سبز باشد.
- کمربند سبز در اطراف شهر به‌منظور جلوگیری از گسترش شهرها و ورود به اراضی کشاورزی و باغ‌ها ایجاد شود.
- برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری توسعه شهری براساس ایده شهر فشرده باشد که یکی از راهبردها در کنترل گستره شهری و استفاده بهینه از فضاها و زیرساخت‌های شهری است.
- وضع قوانین و نظارت مستمر برای جلوگیری از تفکیک اراضی و کنترل مالکیت زمین‌های پیرامون شهر؛ به‌گونه‌ای که همه ساخت‌وسازها در قالب سیاست‌های عمومی کشور و طرح راهبردی باشد.
- گرایش به توسعه عمودی به‌جای توسعه افقی؛ زیرا توسعه عمودی شهر سبب استفاده بهینه از زمین و سرمایه‌های طبیعی شهر می‌شود.
- بازنگری در ضوابط و مقررات منطقه‌بندی و تراکم‌های پایین؛ به‌گونه‌ای که همه تراکم‌ها به‌صورت قانونی تا ۲۵ درصد افزایش یابد. همچنین در طرح‌های آماده‌سازی جدید، به هیچ‌نحو سیاست‌های احداث خانه‌های ویلایی و کم‌تراکم، به‌دلیل بهره‌برداری بهینه از زمین در دستور کار قرار نگیرد.

منابع

- اصغری زمانی، اکبر، ۱۳۷۹، «پژوهشی در روند حاشیه‌نشینی ایران (مطالعه موردی: تبریز)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی محمدرضا پورمحمدی، دانشگاه تبریز.
- پورمحمدی، محمدرضا و محمد جام‌کسری، ۱۳۹۰، «تحلیلی بر الگوی توسعه ناموزون تبریز»، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره بیست‌وششم، شماره ۱، صص ۳۱-۵۴.
- پورمحمدی، محمدرضا و سعید خوب‌آیند، ۱۳۸۰، «بررسی و ارزیابی سیاست‌های تأمین مسکن برای گروه‌های کم‌درآمد شهری؛ مطالعه موردی: شهر تبریز»، نشریه دانشکده ادبیات و علوم انسانی (تبریز)، دوره چهل و چهارم، شماره ۱۸۰-۱۸۱، صص ۳۵-۷۵.
- جعفرنژاد، جواد، ۱۳۹۳، «مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از مدل Sleuth-Ga و مقایسه نتایج آن با مدل Sleuth (مطالعه موردی: شهرستان‌های گرگان، گنبدکاووس و آزادشهر)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست به راهنمایی عبدالرسول سلمان ماهینی، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- جعفرنژاد، جواد و عبدالرسول سلمان ماهینی، ۱۳۹۲، «بررسی مدل‌های SLEUTH و SLEUTH-GA در مدل‌سازی توسعه شهری، اولین همایش ملی برنامه‌ریزی، حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه، همدان.
- جان‌علی‌پور عمران، سمیه، ۱۳۹۵، «مدل‌سازی توسعه شهری قائم‌شهر با استفاده از Sleuth»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی مهرداد خان‌محمدی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گیلان.
- رسولی، مریم، سلمان ماهینی، عبدالرسول و حمیدرضا کامیاب، ۱۳۹۵، «تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل Sleuth برای شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزادشهر»، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ششم، شماره ۲۱، صص ۱-۱۲.
- رفیعی، رضا، ۱۳۸۶، «مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند جامد شهری با توجه به روند رشد شهر (مطالعه موردی: شهر مشهد)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد شیلات و محیط‌زیست به راهنمایی نعمت‌اله خراسانی و عبدالرسول سلمان ماهینی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- زالی، نادر، علی‌لو مهدی و سید رضا آزاده، ۱۳۹۳، «تحلیلی بر توان جمعیت‌پذیری کلان‌شهر تبریز با تأکید بر الگوهای نوین توسعه شهری»، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره پنجم، شماره ۱۹، صص ۷۳-۹۰.
- زارعی، رضا و علی‌اصغر آل‌شیخ، ۱۳۹۱، «مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز)»، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۱-۱۶.
- ساسان‌پور، فرزانه، ۱۳۸۳، «تأثیر آلودگی‌های زیست‌محیطی بر روند پایداری شهر تبریز، مجموعه مقالات همایش ملی مسائل شهرسازی ایران، انتشارات دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز.
- فرید، یدالله، ۱۳۹۱، «جغرافیا و شهرشناسی»، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ نهم، تبریز.
- کاظم، امیرحسین، حسین‌علی، فرهاد و علی‌اصغر آل‌شیخ، ۱۳۹۴، «مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس و مبتنی بر روش خودکارهای سلولی (مطالعه موردی: شهر تهران)»، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره بیست‌وچهارم، شماره ۹۴، صص ۴۵-۵۸.

مصیب‌زاده، علی و امین صدیق‌فر، ۱۳۹۳، بررسی و شبیه‌سازی رشد فیزیکی شهر با مدل *Ca-Sleuth*؛ مورد مطالعه: شهر ارومیه، اولین کنگره بین‌المللی افق‌های جدید در معماری و شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران.

مهندسان مشاور نقش محیط، ۱۳۹۱، طرح توسعه و عمران (جامع) شهر تبریز، گزارش محیطی مرحله موجود، وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.

Ahern, J., 2013, *Urban Landscape Sustainability and Resilience: The Promise and Challenges of Integrating Ecology with Urban Planning and Design*, *Landsc. Ecol*, Vol. 28, PP. 1203-1212

Asgharizamani, A., 2000, *Research on the Process of Marginalization of Iran (Case Study: Tabriz)*, Thesis of Msc, Supervisor: Pourmohammadi Mohammad Reza, University of Tabriz. (In Persian)

Almeida, C. M., Monteiro, A. M. V., Camara, G., Soares Filho, B. S., Cerqueira, G. C., and Pennachin C. L., 2002, *Modelling Urban Land Use Dynamics Through Bayesian Probabilistic Methods in a Cellular Automaton Environment*, Paper Presented At the Proceedings of the 29th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Buenos Aires, Argentina, 8–12 April.

Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Chousianitis, K., Youssef, A. M., And Pradhan, B., 2017, *Suitability Estimation for Urban Development Using Multi-Hazard Assessment Map*, *Science of the Total Environment*, Vol. 575, No. 575, PP. 119.

Batty, M., 2007, *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models and Fractals*, *Journal of Regional Science*, Vol. 47, PP. 624–627.

Chaudhuri, C., and Clarke, K. C., 2013, *Temporal Accuracy in Urban Growth Forecasting: A Study Using the SLEUTH Model*, *Transactions in GIS*, PP. 1-19.

Cobbinah, P. B., Erdiaw Kwasi, M. O., and Amoateng, P., 2015, *Rethinking Sustainable Development Within the Framework of Poverty and Urbanisation in Developing Countries*, *Environ, Dev.*, Vol. 13, PP. 18-32.

Cohen, B., 2006, *Urbanization in Developing Countries: Current Trends, Future Projections, and Key Challenges For Sustainability*, *Technology in Society*, Vol. 28, PP. 63-80.

Clarke, K. C., Hoppen, S., and Gaydos, L., 1997, "A Self-Modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area", *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 24, No. 2, PP. 247– 261.

Clarke, K. C., Gazulis, N., Dietzel, C., and Goldstein, N. C., 2007, *A Decade of Sleuthing: Lessons Learned From Applications of a Cellular Automaton Land Use Change Model*, *Classics in IJGIS: Twenty Years of the International Journal of Geographical Information Science and Systems*, PP. 413-427.

Clarke, K. C., 2008, *A Decade of Cellular Urban Modeling with Sleuth: Unresolved Issues and Problems*, Ch. 3 in *Planning Support Systems for Cities and Regions*.

Clarke, K. C., 2018, *A Short Presentation of SLEUTH*, Springer International Publishing AG 2018, University of California Santa Barbara, USA.

Cui, E., Ren, L., and Sun, H., 2015, *Evaluation of Variations and Affecting Factors of Ecoenvironmental Quality During Urbanization*, *Environ, Sci. Pollut. Res*, Vol. 22, PP. 3958-3968.

Dadashpoor, H., Azizi, P., and Moghadasi, M., 2019, *Analyzing Spatial Patterns, Driving Forces and Predicting Future Growth Scenarios for Supporting Sustainable Urban Growth: Evidence From Tabriz Metropolitan Area, Iran*, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 47, PP. 1-45.

- Dietzel, C., and Clarke, K., 2006, *The Effect of Disaggregating Land Use Categories in Cellular Automata During Model Calibration and Forecasting*, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 30, No. 1, PP. 78 -101.
- Doukari, O., Aguejdad, R., and Houet. T., 2016, *SLEUTH: Un Modele D'expansion Urbaine Scenario-Dependant*, Revue Internationale De Geomatique, Vol. 26, No. 1, PP. 7-32.
- Farid, Y., 2012, *Geography and Urbanology*, University of Tabriz Publications, Ninth Edition, Tabriz. (In Persian)
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., and Hokao, K., 2011, *Modeling Urban Land Use Change by the Integration of Cellular Automaton and Markov Model*, Ecological Modelling, Vol. 222, No. 20-22, PP. 3761- 3772.
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., Briggs, J. M., 2008, *Global Change and the Ecology of Cities*, Science, Vol. 319, No. 5864, PP. 756-760.
- Hosseinali, F., Alesheikh, A. A., and Nourian, F., 2013, *Agent-Based Modeling of Urban Land-Use Development, Case Study: Simulating Future Scenarios of Qazvin City*, Cities, Vol. 31, PP. 105-113.
- Herold, M., Liu. X. H., and Clarke. K., 2003, *Spatial Metrics and Image Texture for Mapping Urban Land Use*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, No. 9, PP. 991-1001.
- He, C. Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., and Li, J., 2008, *Modelling Dynamic Urban Expansion Processes Incorporating a Potential Model with Cellular Automata*, Landscape and Urban Planning, Vol. 86, No. 1, PP. 79-91.
- Jaafarnejad, J., 2014, *Modeling Urban Development Using SLEUTH-GA Model and Comparing Its Results with SLEUTH Model (Case Study of Gorgan, Gonbadkavus and Azadshahr County)*, Msc Thesis of Environmental Engineering, Supervisor: Salman Mahini Abdul Rasul, Faculty of Environment, University of Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
- Jaafarnejad, J., and Salman Mahini, A. R., 2013, *Investigation of SLEUTH and SLEUTH-GA Models in Urban Development Modeling*, First National Conference on Planning, Environmental Protection and Sustainable Development, Hegmataneh Environmental Assessors Association, Hamadan. (In Persian)
- Janalipur Omran, S., 2016, *Modeling Ghaemshahr Urban Development Using SLEUTH*, Msc of Thesis, Supervisor: Khanmohammadi Mehrdad, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Guilan. (In Persian)
- Kazem, A. H., Hosseinali, F., Ale-Sheikh, A. A., 2015, *Urban Expansion Modeling Using Medium Resolution Satellite Imagery Based on Cellular Automata (Case Study: Tehran City)*, Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr), Vol. 24, No. 94, PP. 45-58. (In Persian)
- Li, F., Wang, L., Chen, Z., Clarke, K. C., Li, M., and Jiang, P., 2018, *Extending the SLEUTH Model to Integrate Habitat Quality Into Urban Growth Simulation*, Journal of Environmental Management, Vol. 217, PP. 486-498.
- Liu, J., Zhang, G., Zhuang, Z., Cheng, Q., Gao, U., Chen, T., Huang, Q., Xu, L., Chen, D., 2017, *A New Perspective for Urban Development Boundary Delineation Based on SLEUTH-Invest Model*, Habitat International, Vol. 70, PP. 13-23.
- MRD., 2010, *Principles of Urban Policy*, Ministry for Regional Development, Prague.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005, *Ecosystems and Human Well-Being*, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

- Menard, A., and Marceau, D. J., 2007, *Simulating the Impact of Forest Management Scenarios in an Agricultural Landscape of Southern Quebec, Canada, Using a Geographic Cellular Automata*, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 79, No. 3 and 4, PP. 253- 265.
- Mosayyebzadeh, A., and Sedigfar, A., 2015, *Investigation and Simulation of Physical Growth of the Urban with CA-SLEUTH Model Studied: Urban Urmia*, The First International Congress of New Horizons in Architecture and Municipal, Faculty of Arts and Architecture, University of Trabiati Modares, Tehran. (In Persian)
- Papadopoulou-Vrynioti, K., Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Kaviris, G., and Makropoulos, K., 2013, *Karst Collapse Susceptibility Mapping Considering Peak Ground Acceleration in a Rapidly Growing Urban Area*, *Engineering Geology*, Vol. 158, No. 8, PP. 77-88.
- Pourmohammadi, M. R., and Khob Ayand, S., 2011, *Investigation and Evaluation of Housing Supply Policies for Urban Low-Income Groups Case Study of Tabriz Urban*, School of Literature and Humanities (Tabriz), Vol. 44, No. 180-181, PP. 35-78. (In Persian)
- Pourmohammadi, M. R, and Jam Kasra, M., 2011, *An Analysis of Tabriz Uneven Development Pattern*, *Geographical Researches*, Vol. 26, No. 1, PP. 31-54. (In Persian)
- Rasouli, M., Mahini, A. R., and Kamyab, H. R., 2016, *Determination of Coefficient Affecting Urban Growth in SLEUTH Model for Ali Abad, Ramiyan and Azadshahr Regions*, Vol. 6, No. 21, PP. 1-12. (In Persian)
- Rafiee, R., 2007, *Location of Urban Solid Waste Transfer Stations According to Urban Growth Process (Case Study of Mashhad Urban)*, Msc Thesis of Fisheries and Environmental, Supervisor: Khorasani Nematollah and Salman Mahini Abdul Rasul, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)
- Rafiee, R., Salman Mahini, A., Khorasani, N., Darvishsefat, A., and Danekar, A., 2009, *Simulating Urban Growth in Mashhad City, Iran Throuth the SLEUTH Model*, *Cities*, Vol. 26, PP. 19- 26.
- Renaud, B., 1981, *National Urbanization Policy in Developing Countries*, New York: Oxford University Press.
- Rykiel Jr, E. J., 1996, *Testing Ecological Models: The Meaning of Validation*, *Ecological Modelling*, Vol. 90, No. 3, PP. 229–244.
- Salman Mahiny, A. R., and Gholamalifard, M., 2007, *Dynamic Spatial Modeling of Urban Growth through Cellular Automata in a GIS Environ*, *Int. J. Environ. Res*, Vol.1, No. 3, PP. 272-279.
- Salman Mahiny, A. R., and Clarke, K. C., 2012, *Guiding SLEUTH Land-Use/Land-Cover Change Modeling Using Multicriteria Evaluation: Towards Dynamic Sustainable Land-Use Planning*, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 39, No. 5, PP. 925- 944.
- Sasanpour, F., 2004, *The Impact of Environmental Pollution on Sustainability Process in Urban Tabriz*, Articles Collection of the National Conference on Iran Urbanology Issues, Faculty of Art and Architecture Publicati, University of Shiraz, Shiraz. (In Persian)
- Saxena, A., and Jat, M. K., 2018, *Capturing Heterogeneous Urban Growth Using SLEUTH Model*, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 13, PP. 426-434.
- Seto, K. C., Guneralp, B., and Hutyr, L. R., 2012, *Global Forecasts of Urban Expansion to 2030 and Direct Impacts on Biodiversity and Carbon Pools*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, Vol. 109, No. 40, PP. 16083-16088.
- Stow, D. A., and Chen, D. M., 2002, *Sensitivity of Multitemporal NOAA AVHRR Data of An Urbanizing Region to Land-Use/Land-Cover Changes and Misregistration*, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80, No. 2, PP. 297–307.

- Silva, E. A., and Clarke, K. C., 2002, *Calibration of the SLEUTH Urban Growth Model for Lisbon and Porto, Portugal*, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 26, No. 6, PP. 525-552.
- UNDESA/PD, 2012, *World Urbanisation Prospects: The 2011 Revision*, United Nations, New York.
- Vaz, E., and Nijkamp, P., 2015, *Gravitational Forces in the Spatial Impacts of Urban Sprawl: An Investigation of the Region of Veneto, Italy*, Habitat International, Vol. 45, PP. 99-105.
- WE1, Y., 1994, *Urban Policy, Economic Policy, and the Growth of Large Cities in China*, Habitatintl, Vol. 18, No. 4, PP. 53-65.
- Wu, J. G., 2014, *Urban Ecology and Sustainability: The State- of the-Science and Future Directions. Landsc*, Urban Plan, Vol. 125, PP. 209-221.
- www.cygwin.com
- Yao, L., Liu, J., Wang, R., Yin, K., and Han, B., 2015, *A Qualitative Network Model for Understanding Regional Metabolism in the Context of Social-Economic-Natural Complex Ecosystem Theory*, Ecol. Inf, Vol. 26, PP. 29-34.
- Yang, B., Zheng, H., Zhuang, C., and Ouyang, Z., 2013, *Ecosystem Services Valuation and Its Regulation in Baiyangdian Baisn: Based on Invest Model*, Acta Ecologica Sinica, 33.
- Zarei, R., and Al Sheikh, A. A., 2013, *Modeling Urban Development Using Cellular Automation and Genetic Algorithm (Study Region: Shiraz Urban)*, Journal of Urban Research and Planning, Vol. 3, No. 11, PP. 1-16. (In Persian)
- Zali, N., Alilo, M., and Azadeh, S. R., 2014, *An Analysis of the Capacity of Tabriz Metropolitan Population Attraction with Emphasis on New Patterns of Urban Development*, Urban Planning and Research, Vol. 5, No. 19, PP. 73-90. (In Persian)