نشریه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی
سال پنجم، شماره ۳ (سری جدید)، پیاپی ۱۹، پاییز ۱۳۹۹ (۳۳-۲۱)

Journal of Physical Development Planning
Vol. 5, No. 3, (New Series), Autumn 2020 (21-33)

پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری تبریز، با استفاده از مدل SLEUTH

لیدا سیدی‌فر[۱]، محمدجواد امیری[۲]، حسن دارابی*[۳]، عبدالرضا کرباسی[۴]، حسین آقامحمدی[۵]

۱. دانشجوی دکتری علوم محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
۲. استادیار گروه برنامه‌ریزی مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشگاه تهران
۳. استادیار گروه مهندسی طراحی محیط‌زیست، دانشگاه تهران
۴. دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست ، دانشگاه تهران
۵. استادیار گروه RS & GIS، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران

(دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸)

Prediction of Urban Land-Use Change in Tabriz, Using the SLEUTH Model

Lida Seyedifar[1], Mohammad Javad Amiri[2], Hasan Darabi*[3], Abdolreza Karbasi[4], Hossein Aghamohammadi[5]

1. Ph.D. Student in Environmental Science, Islamic Azad University, Science Research Branch of Tehran
2. Assistant Professor, Department of Management Planning and Environmental education, University of Tehran
3. Assistant Professor, Department of Environmental Design Engineering, University of Tehran
4. Associate Professor, Department of Environmental Engineering, University of Tehran
5. Assistant Professor, Department of RS & GIS, Islamic Azad University, Science Research Branch of Tehran

(**Received:** 18/Jan/2019 **Accepted:** 17/May/2020)

چکیده

در سال های اخیر، شهرنشینی یکی از قابل توجه‌ترین فرآیندهای تغییر در جامعه بوده که معمولا با نابودی اراضی کشاورزی و طبیعی همراه شده است. مدیران، در فرآیندهای تصمیم‌گیری، جهت حفاظت از محیط زیست شهری، نیاز دارند که به درستی میزان رشد و جهت شهرها را در نظر بگیرند. هدف از این پژوهش، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهری در شهر تبریز، با استفاده از مدل رشد شهری SLEUTH است. خروجی مدل، میزان و جهت رشد شهر را تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌کند. ضرایب پنج‌گانه به دست آمده برای منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که با توجه به سناریوی تاریخی، ضریب زایش و ضریب انتشار، غالب هستند. نرخ بالای ضریب زایش در این منطقه نشان می‌دهد که احتمال تبدیل هر سلول شهری به سلول مرکز انتشار شهر و در نتیجه میزان رشد مرکز انتشار جدید در منطقه تحت پوشش، زیاد است. بالا بودن ضریب انتشار، نشان‌دهنده احتمال بسیار زیاد به وجود آمدن لکه‌های شهری جدید حاصل از رشد خودبه‌خودی و تبدیل آن‌ها به مراکز جدید رشد شهری است. نتایج صحت سنجی با استفاده از ضریب کاپا، نشان می‌دهد که مدل‌سازی از دقت ۹۷/۷۲ درصد برخوردار است. از نتایج به دست آمده می‌توان برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری استفاده کرد. نتایج کسب شده حاصل عقلانیت ابزاری است و لذا بکارگیری آن ها مستلزم برخورد انتقادی با آن‌ها است.

واژه‌های کلیدی: پیش بینی، مدل SLEUTH، رشد شهری، کالیبراسیون، ضریب کاپا.

Abstract

In recent years, urbanization has been one of the most significant processes of change in society, which is usually accompanied by the destruction of agricultural and natural lands. In their decision-making processes to protect the urban environment, managers need to properly consider the extent and direction of urban growth. The purpose of this study is to predict changes in urban land use in the city of Tabriz, using the SLEUTH urban growth model. The output of the model predicts the growth rate and direction of the city by 2050. The five coefficients obtained for the study area show that according to the historical scenario, the birth rate and the diffusion coefficient are dominant. The high rate of fertility in this area indicates that the probability of converting each urban cell to a city center diffusion cell is high, and as a result, the growth rate of the new diffusion center in the covered area is also high. The high emission coefficient indicates the high probability of new urban spots resulting from spontaneous growth and their transformation into new centers of urban growth. The results of validation using Kappa coefficient show that the modeling has an accuracy of 97.72%. The obtained results can be used to predict the change of urban land use. The obtained results are the outcome of instrumental rationality, and therefore their application requires a critical approach to them.

Keywords: Prediction, SLEUTH Model, Urban Growth, Calibration, Kappa Coefficient.

نویسنده مسئول: حسن دارابی

*Corresponding Author: Hasan Darabi
E-mail: darabih@ut.ac.ir

مقدمه

خزش یا پراکنده‌رویی شهر به معنای رشد سریع و پراکنده کلان شهرها و حتی شهرهای کوچک است که در برخی موارد تا نواحی روستایی پیشروی می‌کند (عباس‌زاده، ۲۴ :۱۳۸۴). همچنین به گسترش شهر در حاشیه شهرها، در طول بزرگراه‌ها و یا گسترش بی‌برنامه و کنترل نشده در سطح شهر نیز گفته می‌شود (Hadly, 2000: 2). توسعه شهری و تغییرات الگوهای کاربری زمین باعث ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و محیط زیستی می‌شود. این تأثیرات شامل کاهش فضاهای طبیعی، تجمع وسایل نقلیه، کاهش زمین‌های کشاورزی با توان تولید بالا، تأثیر بر زهکش‌های طبیعی و کاهش کیفیت آب است که به نوعی با تغییر الگوهای کاربری زمین بر اثر فعالیت‌های انسانی مرتبط‌اند، لذا درک چگونگی تغییرات کاربری و پوشش زمین، چه از نظر کمیت تغییرات و چه از نظر الگوی مکانی آن به دلیل اثرات گسترده بر محیط زیست، چرخه‌های آبی و زیستگاه‌های طبیعی حیاتی به نظر می‌رسد (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۰ :۱۰۰). از این رو، از آنجا که توسعه فضاهای شهری در آینده امری اجتناب‌ناپذیر است، لزوم درک و شناخت صحیح این روند در جهت گسترش مناطق مسکونی به منظور اجرای مدیریتی کارآمد در زمینه حفاظت از محیط زیست شهری ضروری است (طیبی، ۱۳۸۸: ۳۶).

بنابراین، در فرآیندهای تصمیم‌گیری، مدیران نیاز دارند که به درستی میزان رشد شهرها را در نظر بگیرند. مدل‌های پوشش اراضی و تغییرات کاربری اراضی ابزارهای مفیدی برای بررسی فهم و پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین، عواقب و پیامدهای آن است. مدل‌های تغییرات کاربری اراضی همچنین ابزارهایی برای فهم علل و عواقب پویایی کاربری زمین است. استفاده از این مدل‌ها، به سیاست‌مداران این امکان را می‌دهد که سناریوهای مختلف در تغییرات کاربری و پوشش زمین را بررسی کرده و تأثیرات آن را ارزیابی کنند (ولد کامپ و لامبین، ۲۰۰۱: ۲).

همچنین، مدل‌ها ابزار مناسبی برای ترجمان پیچیدگی فرآیندهای توسعه در بیانی ساده هستند. یکی از پرکاربردترین مدل‌ها در حیطه مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، مدل‌های بر پایه سلول‌های خودکار (CA) هستند (طیبی، ۱۳۸۸ : ۳۸).

مدل CA اولین بار در دهه ۱۹۴۰ توسط دو ریاضی‌دان به‌نام اولام و نیومن و به منظور شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده در فیزیک و زیست‌شناسی به‌کار گرفته شد. از آن پس، CA در سایر حوزه‌های مطالعاتی نظیر مدل‌سازی شهری که توسط توبلر با تعریفی که از جغرافیای سلولی ارائه داد، مورد استفاده قرار گرفت (دایتزل و کلارک، ۲۰۰۷: ۳۳). در میان تمام مدل‌های CA، مدل SLEUTH، احتمالاً مناسب‌ترین آن‌ها باشد. زیرا دورگه‌ای از دو گروه مدل CA است که توانایی مدلسازی توسعه شهری و ترکیب دقیق داده‌های کاربری اراضی را دارد. این مدل توسط کلارک و همکارانش در سال ۱۹۹۷ معرفی شده است (رفیعی و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۲).

در این پژوهش، از مدل SLEUTH جهت پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری تبریز تا سال ۲۰۵۰ استفاده شده است. هدف از انجام آن، تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل SLEUTH برای شهر تبریز است که با توجه به نحوه عملکرد مدل، از این ضرایب برای پیش‌بینی رشد شهر (با توجه به معیارهای مختلف و در دوره‌های زمانی متفاوت) استفاده می‌شود. ضرورت انجام این پژوهش عبارت است از پیش‌بینی جهات گسترش شهر به منظور مناسب‌سازی آن طبق معیارها و ضوابط شهری و استفاده از نتایج به دست آمده برای هدایت توسعه شهر، در جهاتی که باعث از بین رفتن زمین‌های مرغوب کشاورزی و باغی و ... نشود.

در ایران و خارج از ایران، مطالعاتی راجع به استفاده از مدل SLEUTH جهت شبیه‌سازی رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی شهری، انجام گرفته:

رفیعی و همکاران (۱۳۸۶)، به منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال مواد زائد جامد با توجه به روند رشد شهر با استفاده از مدل SLEUTH رشد شهر مشهد را بررسی کرده‌اند.

رسولی و همکاران (۱۳۹۵)، از مدل SLEUTH جهت تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزادشهر استفاده کردند و نشان دادند که با توجه به داده سناریوی تاریخی، ضریب گرایش به جاده بیشترین تأثیر را در رشد شهری داشته است.

سلمان ماهینی و غلامعلی‌فرد (۲۰۰۷)، اثرات رشد شهری را بر روی زمین‌های در دسترس و پارامترهای محیط زیست ارزیابی کردند و تغییرات شهر گرگان را با موفقیت مدل‌سازی

کردند و نتایج سودمندی و کاربردی را در توضیح الگوهای مکانی رشد شهری نشان دادند.

ایگزاکینگ و همکاران (۲۰۱۰)، مدل SLEUTH برای شبیه‌سازی رشد شهری تا سال ۲۰۳۰ و کشف اثرات محیط زیستی رشد شهری تحت سه سناریو در شهر شنیانگ چین اجرا کردند.

سیفارد و همکاران (۲۰۱۱)، از دو منبع متفاوت از داده‌های تاریخی تحت سه سناریوی متفاوت حفاظت برای ارزیابی حساسیت مدل SLEUTH و داده‌های ورودی، رشد شهری را در کالیفرنیا بررسی کردند.

فنگ مینگ و همکاران (۲۰۱۲) با هدف بررسی اثرات بالقوه رشد شهری بر زمین‌های کشاورزی در چین با استفاده از مدل SLEUTH سه سناریوی تاریخی، توسعه فشرده و توسعه گسترده را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در هر سه سناریو کاهش زمین‌های کشاورزی حتمی و اجتناب‌ناپذیر است، اما در میان آن‌ها در مقدار کاهش زمین‌های کشاورزی و الگوهای سیمای سرزمین تفاوت زیادی وجود دارد.

هویی و همکاران (۲۰۱۲)، تحلیل رشد شهری را با استفاده از مدل SLEUTH و با سه سناریو تاریخی، سناریو حفاظت از جنگل و سناریو رشد در شهر دونگو چین انجام داد و نشان داد که سناریوی رشد در تطابق با هدف حفاظت از زمین و توسعه پایدار منطقه مورد مطالعه مؤثرتر بود.

آکین و کلارک (۲۰۱۴)، از مدل SLEUTH برای شبیه‌سازی رشد شهری شهر آدانا استفاده کردند. اهمیت فرآیند کالیبراسیون و تهیه سه نقشه جداگانه از سناریوهای مختلف نشان داد که رشد این شهر برای تمام نتایج کالیبراسیون مشابه بوده، به جز اینکه تخصیص فضایی و مقدار پیکسل‌های احتمالی شهری متفاوت است.

جعفرنژاد و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از دو مدل SLEUTH و SLEUTH-GA ، شبیه‌سازی توسعه شهری را برای سه شهر آزادشهر، گنبدکاووس و گرگان انجام دادند و در نهایت مشخص کردند که اگر مدل SLEUTH، با الگوریتم ژنتیک SLEUTH (GA) انجام شود، علاوه بر اینکه شبیه‌سازی در زمان کمتری انجام می‌گیرد، بلکه نتایج بهتری نسبت به مدل SLEUTH ارائه می‌دهد.

کومار و همکاران (۲۰۱۷)، از مدل SLEUTH برای شبیه‌سازی رشد شهری پیچیده و نسبتاً ناهمگن، شهر آجرم راجستان (هند) استفاده کردند. از نتایج این مطالعه جهت برنامه‌ریزی رشد شهری با هدف حفظ منابع طبیعی پایدار می‌توان استفاده کرد.

فکسو و همکاران (۲۰۱۸)، جهت داشتن محیط زیست پایدار، نقشه کیفیت زندگی زیستگاه را برای جایگزینی لایه شیب به عنوان ورودی برای شبیه‌سازی رشد شهری در مدل SLEUTH استفاده کردند. آن‌ها پیش‌بینی رشد را در شهر چانگژو چین از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۳۰ انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از SLEUTH UGM، می‌توان از کیفیت زیستگاه بالا محافظت کرده و گسترش شهری را محدود کرد.

داده ها و روش‌کار

طی سالیان گذشته، مدل‌های مختلفی توسط محققان توسعه یافته تا بتوان پیچیدگی پویایی رشد شهر را شبیه‌سازی نمود. در این پژوهش، از مدل SLEUTH جهت پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری شهر تبریز تا سال ۲۰۵۰ استفاده شده است. بدین‌منظور، مراحل انجام تحقیق حاضر، بدین شرح است:

- مطالعه و بررسی پیشینه تحقیق
- تهیه تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ها و دیتاهای مورد نیاز تحقیق
- پردازش تصاویر ماهواره‌ای
- تهیه نقشه کاربری زمین برای هر تصویر
- آماده‌سازی لایه‌های ورودی مدل SLEUTH
- راه‌اندازی مدل و فرآیند پیش‌بینی
- تحلیل نتایج خروجی

مدل SLEUTH در شبیه‌سازی رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی که بر اثر شهری شدن اتفاق می‌افتد، کاربرد دارد. این مدل از روش سلول‌های خودکار (CA) بهره می‌برد. مدل SLEUTH در سال ۱۹۹۱، از بحث بر سر تغییرات کاربری اراضی با جغرافیدانان USGS در مرکز تحقیقات ایمز NASA شروع و توسعه اولین ورژن کاربردی SLEUTH، که بعداً مدل توسعه شهری نامیده شد، جزیی از تحقیقات پویایی‌شناسی شهری در USGS بود (Kirtland et al., 1994: 209).

پنج ضریب، تمام عملکرد مدل را تعیین می‌کند که هرکدام بر اساس یک عدد صحیح بین صفر تا ۱۰۰ هستند. فرض بر این است که یک مجموعه از این پنج پارامتر، بهترین مجموعه برای شبیه‌سازی رشد شهر است . (Clarke, 2008: 54)

این پنج ضریب عبارت‌اند از:

۱- ضریب انتشار[1] تعداد دفعاتی که یک سلول به‌صورت تصادفی به‌عنوان سلول قابل شهرسازی در رشد خود به خودی انتخاب خواهد شد را کنترل می‌کند.

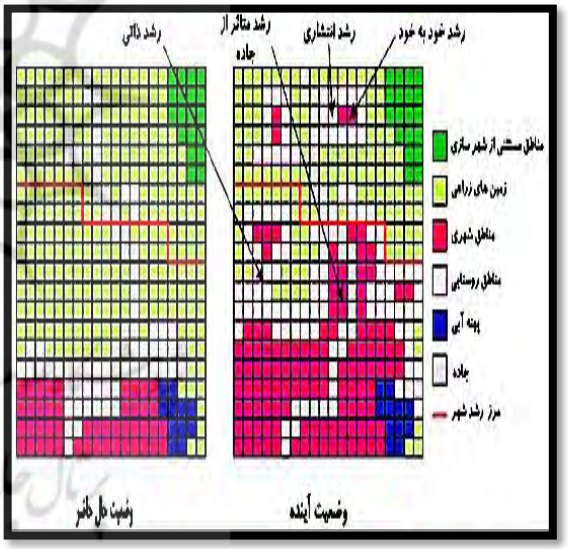
۲- ضریب زایش[2] احتمال اینکه سلول شهر شده طی رشد خود به خودی مرکز جدید توسعه شهری شود را تعیین می‌کند.

۳- ضریب پخش[3] احتمال اینکه هر سلولی که به عنوان مراکز جدید انتشار مشخص‌شده سلول اضافی شهر در همسایگی ایجاد کند را مشخص می‌کند.

۴- ضریب مقاومت به شیب[4] نشان‌دهنده تأثیر پستی و بلندی بر توسعه شهر است.

۵- ضریب گرایش به جاده[5] نشان‌دهنده احتمال توسعه شهر در مسیر شبکه حمل و نقل است (رفیعی، ۱۳۸۶ :۶۸).

این پنج ضریب در قالب چهار قانون رشد شهر به شکلی که در ادامه ذکر می‌شود، به دست می‌آیند (شکل ۱):



شکل ۱. نحوه عمل چهار قانون رشد در یک شبکه رستری

رشد خود به خودی[6] : این نوع شکل رشد، مناطق شهری توسعه یافته‌ای را در بر می‌گیرد که در اراضی با شیب مناسب و دور از کانون‌های شهری حاضر صورت می‌گیرد. در جایی که قبلاً هیچگونه مجتمع مسکونی شهری و ساخت و سازی صورت نگرفته و با گذشت زمان به مثابه یک مرکز مهم شهری، نواحی را به دور خود تنیده و هسته اصلی شهر را از فعلیت انداخته و بر شتاب رشد بی‌قواره شهر می‌افزاید و توسعه شهر را به خارج از مرزهای تعیین شده آن می‌رساند و منجر به تشویق توسعه شهر در راستای خطوط مهم ارتباطی و تسهیلاتی می‌شود (حیدری و خمر، ۱۳۹۳: ۲۶۴). رشد خود به خودی تابعی از ضریب انتشار، ضریب مقاومت به شیب و سلول تصادفی در دسترس است.

رشد زایشی[7] : این نوع رشد مربوط به رشد ذاتی شهرهاست که در داخل شهر و حاشیه آن رخ می‌دهد و مناطقی که هنوز ساخته نشده‌اند به کاربری مسکونی تغییر پیدا می‌کنند. رشد زایشی تابعی از ضریب زایش، ضریب مقاومت به شیب و سلول‌های تصادفی همسایه است.

رشد انتشاری[8] : این نوع رشد زمانی رخ می‌دهد که شهرسازی جدید نزدیک مراکز مسکونی حاضر با تغییر کاربری زمین مناطق اطراف به کاربری مسکونی صورت می‌گیرد. رشد انتشاری تابعی از ضریب پخش، ضریب مقاومت به شیب و سلول‌های تصادفی همسایه است.

رشد متأثر از جاده[9]: در این نوع رشد، تأثیر جاده‌ها و شبکه حمل و نقل بر توسعه شهر و ساخت و سازهای جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد و تابعی از ضریب پخش، ضریب انتشار، ضریب مقاومت به شیب و ضریب گرایش به جاده است (Silva and Clarke, 2002: 231).

به دلیل اینکه در چرخه رشد، میزان تصادفی بودن بالا است، شبیه‌سازی رشد به روش مونت‌کارلو است تا استواری نتایج مدل‌سازی افزایش یابد. یعنی در هر اجرا، چرخه‌های رشد با توجه به تعداد مونت‌کارلو تعیین‌شده تکرار می‌شود. مونت‌کارلو وابستگی ضرایب به‌دست‌آمده در هر اجرا را به شرایط اولیه کاهش می‌دهد (Chaudhuri and Clarke, 2013: 311).

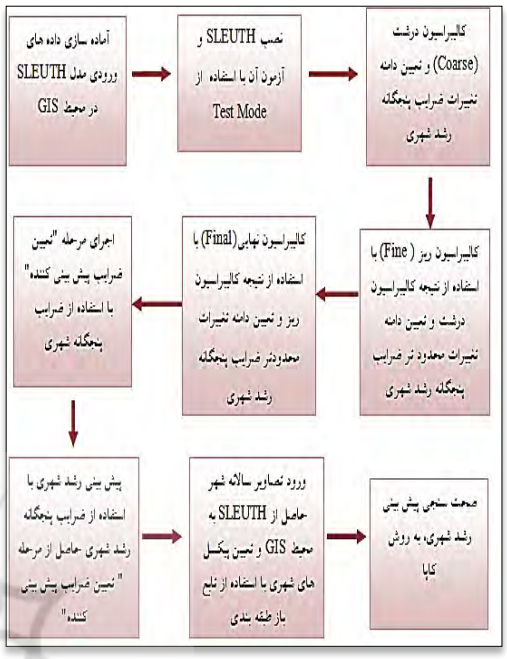
پنج گام راه اندازی مدل SLEUTH به قرار زیر است: شکل (۲)

۱. آماده سازی لایه‌های ورودی

۲. برگرفتن و تأیید عملکرد مدل

1. Diffusion
2. Breed
3. Spread
4. Slope Resistance
5. Road Gravity
6. Diapersion Growth
7. Breed Growth
8. Spread Growth
9. Road Influenced Growth

۳. کالیبراسیون
۴. پیش بینی
۵. صحت سنجی[1]



شکل ۲. فرآیند مراحل تحقیق

آماده‌سازی لایه‌های ورودی مدل

SLEUTH مخفف لایه‌های موردنیاز مدل است. این لایه‌ها عبارتند از: شیب، کاربری زمین، نواحی استثناء (که توسعه شهری در آنها ممنوع است)، نواحی شهری، شبکه‌های حمل و نقل و نقشه سایه و روشن پستی‌ها و بلندی‌ها، لایه سایه و روشن پستی‌ها و بلندی‌ها (در محاسبات نقشی ندارد و فقط جهت نمایش استفاده می‌شود) (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵). لایه‌های ورودی در محیط GIS و به کمک لایه‌های رقومی موجود و تصاویر ماهواره‌ای لندست با سنجنده‌های TM و +ETM تهیه شدند.

از آنجایی‌که در محیط GIS داده‌های گوناگونی از منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، تمام داده‌های مورد استفاده باید از نظر هندسی باهم همخوانی و مطابقت داشته باشد و همچنین از سامانه مختصات و سیستم تصویر واحدی تبعیت کند. بنابراین، در ابتدا با انجام اصلاحات، لایه‌های مورد نیاز باید تهیه شوند. برخی از اصلاحات صورت گرفته عبارت‌اند از:

۱- یکسان کردن نوع داده‌ها: کلیه داده‌های ورودی باید رستری بوده و داده‌های رستری بوده و داده‌های وکتوری باید به رستر تبدیل شوند.

۲- یکسان کردن اندازه سلول‌ها: اندازه سلول تمامی لایه‌ها، ۳۰ متر در ۳۰ متر در نظر گرفته شد.

یکسان کردن سیستم مختصات جغرافیایی: از سیستم مختصات UTM برای لایه‌های ورودی استفاده شد.

یکسان کردن فرمت تصاویر: جهت اجرای مدل SLEUTH، داده‌های ورودی باید به فرمت GIF و پالت رنگی Greyscale باشد.

موزاییک و برش تصاویر: تمامی لایه‌ها در چهارچوب مطالعاتی مورد نظر برش داده می‌شوند، همچنین تصاویر ورودی باید دارای تعداد سطر و ستون یکسانی باشند.

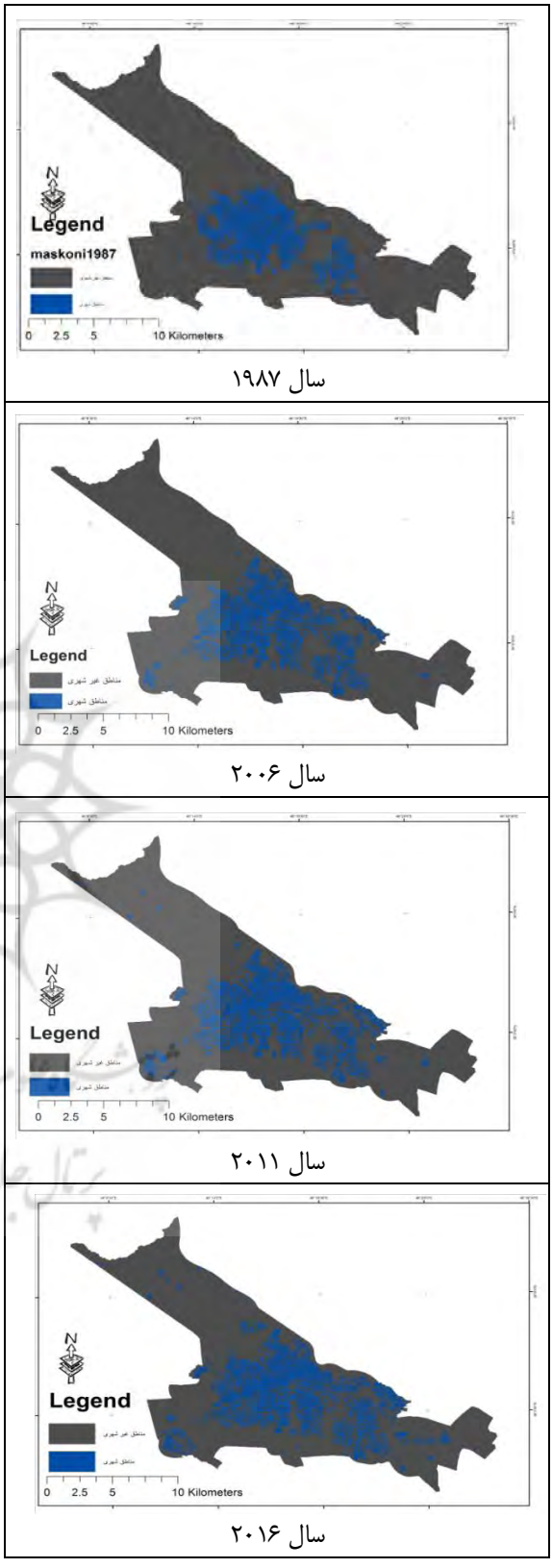
جدول (۱)، داده‌های مورد نیاز جهت ورودی مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۱. داده‌های ورودی مدل SLEUTH

لایه‌های مورد نیاز	اندازه سلول (متر)	تعداد نقشه	فرمت نقشه‌ها
شیب *Slope*	۳۰*۳۰	۱	*GIF*
مستثنیات *Excluded*	۳۰*۳۰	۱	*GIF*
مناطق شهری *Urban*	۳۰*۳۰	حداقل ۴	*GIF*
شبکه حمل و نقل *Transportation*	۳۰*۳۰	حداقل ۲	*GIF*
سایه روشن پستی و بلندی ها *Hill shade*	۳۰*۳۰	۱	*GIF*

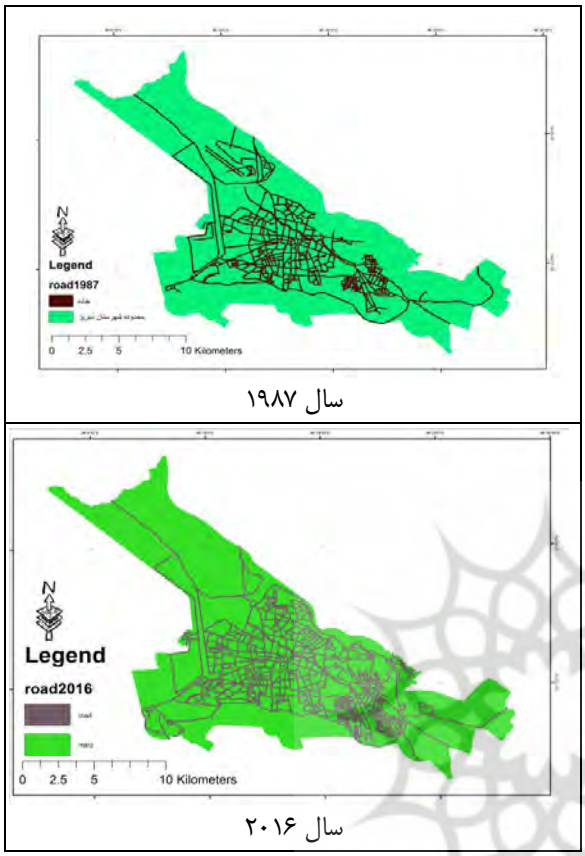
در این مطالعه، نقشه کاربری زمین سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ تهیه و نقشه مناطق شهری سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ به عنوان ورودی مدل تهیه شد، شکل (۳).

1. validation



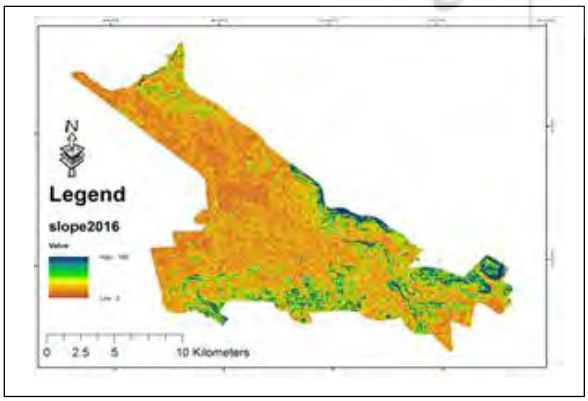
شکل ۳. نقشه‌های مناطق شهری سال‌های ورودی مدل

نقشه جاده‌ها از نقشه کاربری زمین ۱۹۸۷ و ۲۰۱۶ استخراج شد. (شکل ۴).

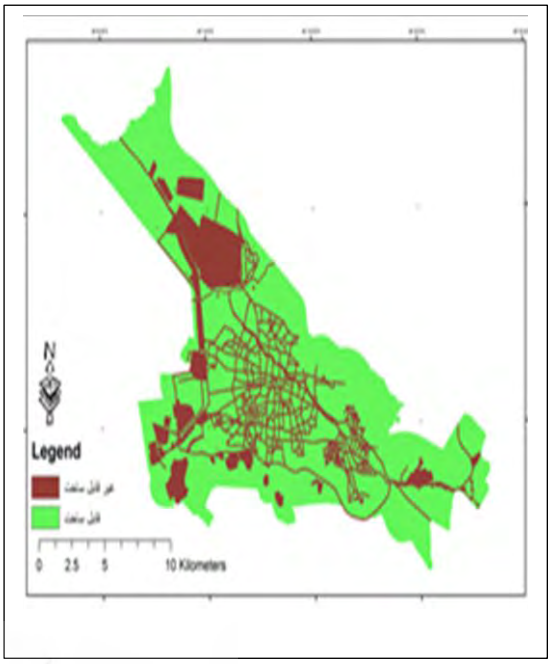


شکل ۴. نقشه جاده سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۶

نقشه شیب به درصد و نقشه پستی‌ها و بلندی‌ها با استفاده از نقشه DEM منطقه تهیه شد . نقشه مستثنیات که شامل نقشه مناطق غیر از شهری، مثل جاده‌ها، رودخانه‌ها و منابع آب است از نقشه کاربری زمین سال ۲۰۱۶ استخراج شد (شکل ۵، ۶).



شکل ۵. نقشه شیب منطقه مطالعاتی



شکل ۶. نقشه مستثنیات منطقه مطالعاتی

از سایت http://www.necgia.ucsb.edu/project مدل SLEUTH در تاریخ ۱۳۹۷/۹/۰۲ دانلود شد. با توجه به اینکه این مدل در محیط سیستم‌عامل Linux اجرا می‌شود، جهت اجرای آن در محیط سیستم‌عامل ویندوز، به نرم‌افزاری شبیه‌ساز محیط لینوکس نیاز است. در این پژوهش از نرم‌افزار Cygwin، جهت این شبیه‌سازی استفاده شد. دستورات اجرای مدل به زبان برنامه‌نویسی C است. پس از باز کردن فایل در یک درایو مناسب، جهت اجرای مدل بر روی کامپیوتر باید کدهای آن را کامپایل کرد. برای بررسی درستی نصب و اجرای مدل، مرحله آزمون با نوشتن دستور مربوطه انجام شد. با گرفتن پاسخ مناسب، مشخص شد مدل به خوبی ساخته (کامپایل) شده و آماده استفاده است.

کالیبراسیون[1] در مدل‌سازی سلول‌های خودکار به معنای پیدا کردن قواعد جابه‌جایی برای ساخت دوباره همان سطح از شهر با توجه به اطلاعات گذشته و الگوهای رشد است. این مدل برخلاف مدل‌های وابسته به عوامل اقتصادی و آمار نفوس، منحصراً به شکل و حالت شهر وابسته است. مرحله کالیبراسیون تغییرات تاریخی را شبیه‌سازی و آن را با اطلاعات موجود، جهت تعیین اینکه با چه دقتی مدل‌سازی انجام می‌شود، مقایسه می‌کند (Lauer and Clarke, 2011: 27).

در طول مرحله کالیبراسیون، چهار قانون رشد از طریق جستجو و بررسی مقادیر پارامترها تنظیم می‌شوند. پنج ضریب کالیبره کردن در مدل به‌صورت اعداد صحیح و در بازه صفر تا ۱۰۰ هستند. با اجرای SLEUTH در حالت کالیبره کردن، ترکیب‌های مختلف از ضرایب برای مدل‌سازی رشد تاریخی شهر در منطقه به کار گرفته می‌شود. انحراف از چهارچوب واقعی و شکل شهر (که توسط سال‌های کنترل مشخص می‌شود) بهترین و اشتباه‌ترین حالت‌های ترکیب ضرایب را تعیین می‌کند. هدف از کالیبره کردن، مشخص کردن بهترین مجموعه ضرایب برای یک منطقه خاص در میان ۱۰۰۵ حالت ترکیبی مختلف بین آن‌ها است. به تمامی حالت‌های ممکن از ترکیب ضرایب، فضای ضرایب[2] گفته می‌شود. از کالیبره کردن SLEUTH، دوازده شاخص مختلف به دست می‌آید. این شاخص‌ها صحت ضرایب تولید شده مرحله کالیبراسیون را نشان می‌دهند (Jafarnezhad et al., 2015:28).

کالیبراسیون در SLEUTH به روش Brute Force انجام می‌شود. روش Force Brute در سه مرحله درشت(coarse)، ریز(Fine) و نهایی(Final) انجام می‌گیرد. در این سه مرحله متوالی فضای جستوجو در ضرایب جهت کاهش زمان کالیبراسیون به قسمت‌هایی مساوی تقسیم می‌شود که به آن گام افزایش می‌گویند. در هر مرحله پس از تغییر دامنه ضرایب، به اصلاح آن‌ها در فایل سناریو پرداخته شده تا در کالیبراسیون نهایی ضرایب منطقه به شکل کاملاً اصلاح شده به دست آید. ویرایش فایل سناریو با استفاده از نرم‌افزار TextPad انجام شد. در این مطالعه تاریخ شروع پیش‌بینی سال ۲۰۱۶ میلادی و تاریخ پایان پیش‌بینی سال ۲۰۵۰ میلادی تعیین شد. نام و تعداد طبقات کاربری زمین با توجه به داده های ورودی تنظیم شد. هر سه مرحله کالیبراسیون از تصاویر با بزرگ‌نمایی یکسان استفاده گردید و شیب بحرانی ۱۵ درصد در نظر گرفته شد.

در فایل سناریو مربوط به هرکدام از مراحل کالیبراسیون، نام تمام نقشه‌ها مطابق نام نقشه ورودی تغییر داده شد. در پایان هرکدام از مراحل کالیبراسیون با استفاده از فایل control_stats.log در پوشه خروجی مدل، به تعداد اجرا، ضریب و نمایه آماری خواهیم داشت که با توجه به بالاترین مقدار Optimum Sleuth Metric (OSM)، اجراها

1. Calibration

2. Coefficient Space

طبقه‌بنـدی گردیدند. برای بررسی صحـت و درستـی اجرای مدل نمایه OSM اخیراً ارائه شده است. این نمایه از ضرب کردن هفت نمایه آماری موجـود در فایل control_stats.log به شکل زیر به دست می‌آید and (Dietzel Clarkand, 2007: 39).

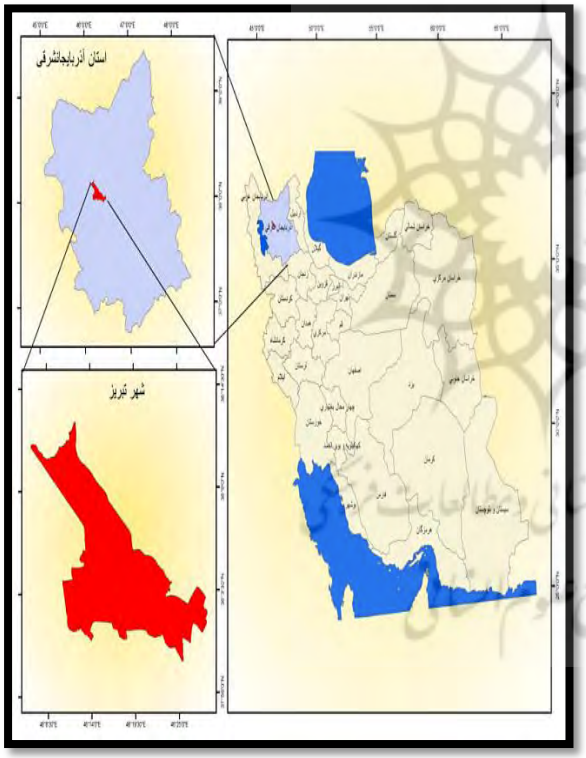
$$OSM = Compare \times Pop \times Edges \times Cluster \times Slope \times Xmean \times Ymean$$

برآورد صحت برای درک نتایج به دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری بسیار اهمیت دارد. معمول‌ترین پارامترهای برآورد دقت، شامل دقت کل ۱ و ضریب کاپا ۲ هستند. ضریب کاپا میزان دقت را بر اساس تمامی پیکسل‌هایی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند، محاسبه می‌کند. برای ارزیابی دقت نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی، این پارامتر در مقایسه با پارامتر دقت کل اعتبار بیشتری دارد. بازه عددی ضریب کاپا اندازه‌ای بین ۱- تا ۱+ است، که هر چه به ۱+ نزدیکتر باشد بیانگر صحت بالاتری است (Lu et al., 2004: 2382).

در این مطالعه، از ضریب کاپا برای صحت پیش‌بینی کاربری شهری استفاده می‌شود. بدین صورت که ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری شهری ۲۰۱۸ تهیه شد. سپس با استفاده از لایه شهری سال‌های ۱۹۷۸، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱، ۲۰۱۶ پیش‌بینی رشد شهری را برای سال ۲۰۱۸ انجام داده و با نقشه کاربری شهری ۲۰۱۸ مقایسه انجام می‌شود تا صحت پیش‌بینی سنجیده شود. ضریبی که از این طریق به‌دست می‌آید، نشان دهنده صحت شبیه‌سازی کاربری شهری را نشان داده و احتمال صحت نقشه پیش‌بینی تا سال ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد.

شهر تبریز در غرب استان آذربایجان شرقی (شکل ۷) و در منتهی‌الیه مشرق و جنوب شرق جلگه تبریز قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی این شهر منطبق بر ۴۶ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۰۱ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع متوسط حدود ۱۴۵۴ متر از سطح دریا است.

این شهر به جز در قسمت غربی، در میان سلسله کوه‌های مرتفع منطقه محصور شده و به شکل مثلث گونه‌ای در امتداد شرقی و غربی شکل گرفته است. بدین ترتیب شهر در بستر ملایم دره تلخه‌رود (آجی. چای) از تمامی جهات به جز در غرب، به شیب‌های تند کوه‌های پیرامون محدود می‌شود (محمدزاده، ۱۳۸۶: ۱۰۰). این شهر با مساحت ۲۵۰/۵۹۰ کیلومتر مربع، سومین شهر بزرگ کشور پس از تهران و مشهد و بزرگ‌ترین شهر منطقه شمال‌غرب ایران شناخته می‌شود. جمعیت تبریز، طبق آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن استان در سال ۱۳۹۵، بالغ بر ۱ ۵۵۸ ۶۹۳ نفر است. در این منطقه، طبقات مختلف کاربری زمین از جمله شهری، کشاورزی، جنگل و باغ، مرتع، زمین‌های بایر، جاده و رودخانه وجود دارد.



شکل۷. موقعیت شهر تبریز در کشور و استان

شرح و تفسیر نتایج

نتایج حاصل از شبیه‌سازی به روش مدل SLEUTH بدین شرح است:

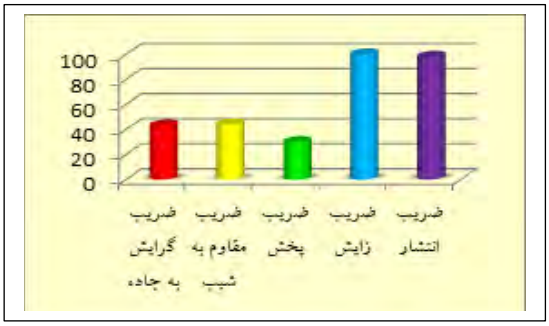
کالیبراسیون مرحله درشت (coarse): در این مرحله دامنه جستجو بین ضرایب صفر تا ۱۰۰ و گام افزایش ۲۵ در نظر گرفته شد. همچنین تعداد مونت‌کارلو ۴ در نظر گرفتـه

1. Overall accuracy
2. Kappa Coefficient

شد. در نهایت پس از محاسبه نمایه OSM، دامنه جستجو و گام افزایش ضرایب مرحله زیر تعیین شدند. این مرحله کالیبراسیون در مدت زمان ۳۹ ساعت انجام شد.

کالیبراسیون مرحله ریز (Fine): در این مرحله با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مرحله درشت، فایل سناریوی مربوط به مرحله ریز تنظیم گردید و تعداد مونت‌کارلو ۷ در نظر گرفته شد. درنهایت پس از محاسبه نمایه OSM، با استفاده از بهترین مقادیر آن، دامنه جستجو و گام افزایش ضرایب مرحله نهایی تعیین شدند. دومین مرحله کالیبراسیون در مدت زمان ۶/۵ ساعت انجام شد.

کالیبراسیون مرحله نهایی(Final): در این مرحله دامنه جستجو در ضرایب بازهم کوچک‌تر می‌شود. فایل سناریوی مربوط به این مرحله تنظیم و تعداد مونت‌کارلو ۸ در نظر گرفته و این مرحله کالیبراسیون در مدت زمان ۱۳ ساعت انجام شد. نتایج ضرایب پیش‌بینی، به صورت جدول (۳) و نمودار (۱) نشان داده شده است.



جدول (۲) نتایج حاصل از سه مرحله کالیبراسیون را نشان می‌دهد.

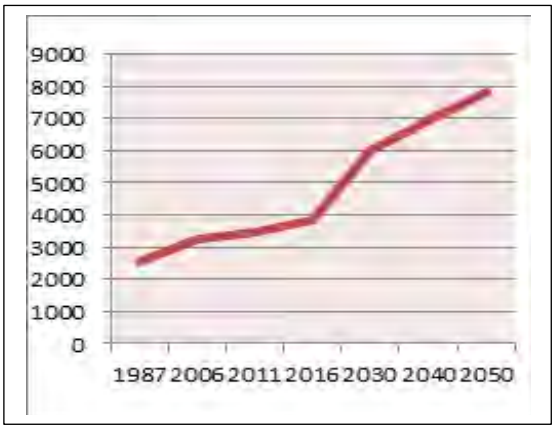
در پایان مرحله نهایی(Final)، با استفاده از مجموعه ضرایبی که بیشترین مقدار OSM را دارند، مرحله پیش‌بینی انجام شد.

جدول ۲. نتایج سه مرحله کالیبراسیون مدل SLEUTH

ضریب گرایش به جاده	ضریب مقاومت به شیب	ضریب پخش	ضریب زایش	ضریب انتشار
۴۳	۴۴	۳۰	۱۰۰	۹۸

جدول ۳. نتایج ضرایب پنجگانه رشد شهری

ضرایب رشد	Calibration stag (مرحله کالیبراسیون)						Prediction stage (مرحله پیش بینی)
	Coarse (درشت)		Fine(نازک)		Final(نهایی)		
	Monte Carlo=۴ زمان کالیبریشن = ۲۰:۳۹ ساعت		Monte Carlo=۷ زمان کالیبریشن= 03:6ساعت		Monte Carlo=۸ زمان کالیبریشن = ۱۳ ساعت		Monte Carlo iterations=۲۰ (تکرار مونت کارلو)
	Range	Steps	Range	Steps	Range	Steps	Forecasting coefficients (ضرایب پیش‌بینی)
ضریب انتشار	۰-۱۰۰	۲۵	۷۵-۱۰۰	۵	۹۵-۱۰۰	۱	۹۸
ضریب زایش	۰-۱۰۰	۲۵	-۱۰۰ ۱۰۰	۱	۱۰۰-۱۰۰	۱	۱۰۰
ضریب پخش	۰-۱۰۰	۲۵	۲۵-۵۰	۵	۲۵-۳۰	۱	۳۰
ضریب مقاومت به شیب	۰-۱۰۰	۲۵	۲۵-۷۵	۱۰	۳۵-۶۵	۳	۴۴
ضریب گرایش به جاده	۰-۱۰۰	۲۵	۲۵-۱۰۰	۱۵	۴۰-۷۰	۳	۴۳
	OSM: ۰/۶۵۷		OSM : ۰/۶۴۶		OSM : ۰/۶۶۲		



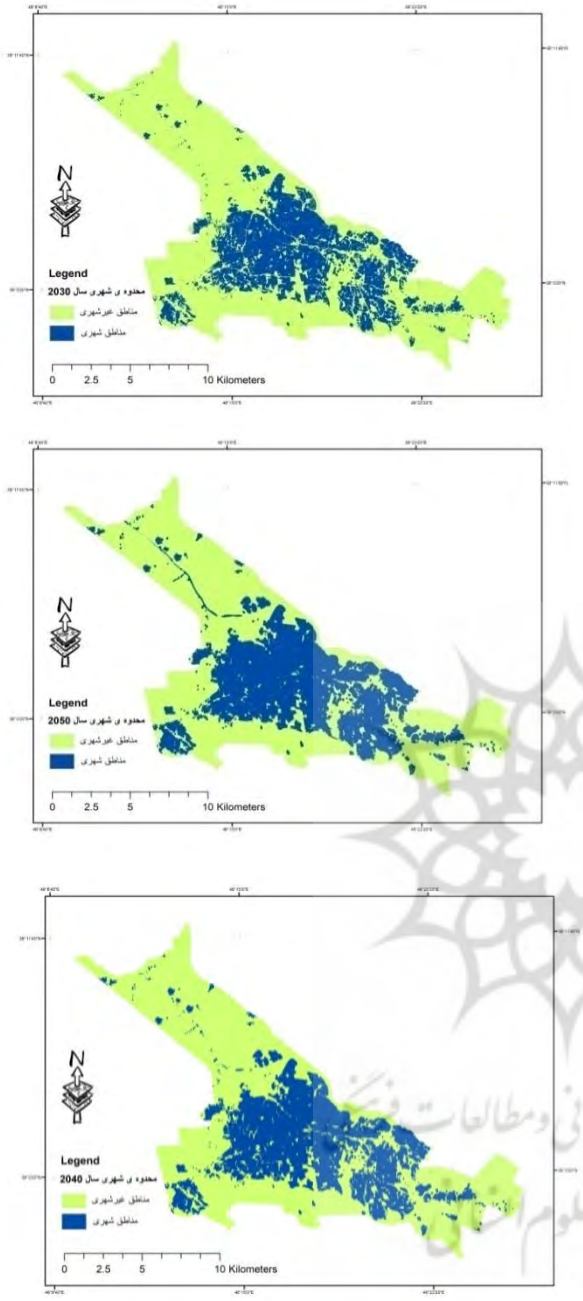
شکل ۸. نتایج ضرایب پنجگانه رشد شهری

مرحله پیش‌بینی (Prediction stage)

آخرین مرحله اجرای مدل، پیش‌بینی است. در این مرحله، از ضرایب مرحله میانگین‌گیری یعنی۴۳، ۴۴، ۳۰، ۱۰۰، ۹۸ (به ترتیب گرایش به جاده، مقاومت به شیب، پخش، زایش و انتشار)، برای انجام فرایند شبیه‌سازی استفاده و فایل سناریوی مربوط به مرحله پیش‌بینی مدل تنظیم شد. سال شروع پیش‌بینی ۲۰۱۶ و سال پایان پیش‌بینی، ۲۰۵۰ در نظر گرفته شد. خروجی مدل به صورت تصویر احتمالاتی است که Cumulate urban نام دارد. این نقشه احتمال توسعه مناطق شهری تا سال مورد نظر را در محدوده ۱۰۰-۰ نشان می‌دهد. هرچه ارزش یک سلول به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، احتمال تبدیل این سلول به کاربری شهری بیشتر است شکل (۱۰). در این مطالعه سلول‌های با احتمال بیشتر از ۷۰ درصد، به عنوان مناطق شهری در نظر گرفته شده است. نتایج صحت سنجی نشان می‌دهد که ضریب کاپا در این شبیه‌سازی بالا بوده و عدد ۰/۹۷۷۲ است. مساحت مناطق شهری در سال ۲۰۵۰، در مقایسه با سال ۲۰۱۶، ۳۹۹۷/۵۶ هکتار افزایش یافته است. جدول (۴) و شکل (۹)، مقایسه مساحت‌ها در سال‌های پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

جدول۴. مساحت کاربری‌های شهری از سال ۱۹۸۷ تا سال

مساحت کاربری شهری (هکتار)	سال (میلادی)
۲۵۶۳/۰۰۴۸۵۳	۱۹۸۷
۳۲۳۲/۳۶۰۴۷۴	۲۰۰۶
۳۴۶۴/۷۶۴۶۱۹	۲۰۱۱
۳۸۱۹/۶۹۴۲۴۵	۲۰۱۶
۶۰۰۳/۳۰۳۵۳۶	۲۰۳۰
۶۹۷۵/۱۹۴۸۳۳	۲۰۴۰
۷۸۱۷/۲۶۲۷۰۰	۲۰۵۰



شکل ۹. نقشه پیش‌بینی سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۴۰، ۲۰۵۰

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، با توجه به سناریوی تاریخی، ضرایب پنج‌گانه رشد شهری در طی مراحل سه‌گانه کالیبراسیون (درشت، ریز و نهایی) تعیین شده و سپس نوع رشد شهری تعیین و در این مدل، احتمال تبدیل هر سلول منطقه مطالعاتی به شهر، ۷۰ درصد مشخص شده است. به منظور ارزیابی صحت مدل‌سازی رشد شهری، از ضریب کاپا استفاده

و میزان آن ۹۷/۷۲٪ تعیین شد. بررسی مقادیر ضرایب پنج‌گانه رشد شهری در شهر تبریز بدین شرح است:

ضریب انتشار (Diffusion)، تعداد دفعاتی را که یک سلول به صورت تصادفی به عنوان سلول قابل شهرسازی در رشد خود به خودی انتخاب خواهد شد را کنترل می‌کند . بنابراین، بالا بودن مقدار ضریب انتشار در منطقه مطالعاتی، نشان‌دهنده احتمال بسیار زیاد به وجود آمدن لکه‌های شهری جدید حاصل از رشد خودبه‌خودی و تبدیل آن‌ها به مراکز جدید رشد شهری است. در تحقیقی کومار و همکاران (۲۰۱۷)، برای شهر آجرم انجام دادند، مانند تبریز، ضریب انتشار بالا بوده و تأثیرگذار در توسعه می‌باشد، ولی در تحقیق دیگر که رسولی و همکاران (۱۳۹۵)، برای شهرهای علی‌آباد، رامیان و آزادشهر انجام دادند، ضریب انتشار کمتر از چیزی است که در تبریز برآورد شده است.

ضریب زایش (Breed)، احتمال این را که سلول شهری شده طی رشد خود به خودی مرکز جدید توسعه و شهرسازی شود، تعیین می‌کند. بنابراین بالا بودن این ضریب در این منطقه نشان می‌دهد احتمال تبدیل هر سلول شهری به سلول مرکز انتشار شهر و در نتیجه میزان رشد مرکز انتشار جدید در منطقه تحت پوشش زیاد است. در تحقیقی که هویی و همکاران (۲۰۱۲) برای شهر دونگو انجام دادند، ضریب زایش به مانند تبریز، بالا بوده و در نتیجه میزان رشد مرکز انتشار جدید، زیاد است.

ضریب پخش (Spread) ، احتمال این را که هر سلول که به عنوان مرکز جدید انتشار مشخص شده، سلول اضافی شهر در همسایگی ایجاد کند مشخص می‌کند. مقادیر پایین ضریب پخش در این منطقه، نشان‌دهندهٔ احتمال کم تولید سلول شهری اضافی در همسایگی یک سلول مرکز انتشار است، بنابراین منطقه شاهد رشد بنیادی یا رشد حاشیه‌ای نخواهد بود. در تحقیقی که رسولی و همکاران (۱۳۹۵)، برای شهرهای علی آباد، رامیان و آزاد شهر انجام دادند و ماهینی و همکاران (۱۳۸۷) برای شهر گرگان انجام دادند ضریب پخش مانند تبریز پایین بوده است.

ضریب مقاومت به شیب (Slope resistance)، نشان دهنده تأثیر پستی و بلندی زمین بر توسعه شهر است. در صورتی که ضریب مقاومت به شیب زیاد باشد احتمال اینکه در مناطق با شیب زیاد شهرسازی صورت گیرد، پایین است و بر عکس، در صورتی که ضریب مقاومت به شیب کم باشد، احتمال اینکه در مناطق با شیب زیاد شهرسازی صورت گیرد، بالا است. بنابراین پایین بودن این ضریب در این منطقه نشان می‌دهد که احتمال توسعه شهر در اراضی با شیب زیاد در این منطقه بالا است. در مطالعه جعفرنژاد و همکاران (۲۰۱۵) برای شهر آزادشهر، این ضریب برخلاف تبریز بالا بوده و عامل شیب در توسعه آزادشهر، عاملی محدود کننده است ولی برای شهر گرگان ضریب مقاومت به شیب پایین بوده و احتمال توسعه شهر در اراضی با شیب زیاد در این منطقه زیاد است.

ضریب گرایش به جاده (Road gravity)، نشان دهنده احتمال توسعه شهر در مسیر شبکه حمل و نقل است. نرخ نسبتاً پایین این ضریب در منطقه نشان‌دهنده تأثیر کم شبکه حمل‌ونقل و مخصوصاً جاده‌های اصلی شهر در روند توسعه شهر تبریز است و رشد شهری در امتداد این جاده‌ها در سال-های آتی نسبتا کم خواهد بود. در مطالعه کومار و همکاران (۲۰۱۷) برای شهر آجرم هندوستان، ضریب گرایش به جاده مانند تبریز پایین است، ولی در تحقیق دیگر که ماهینی و همکاران (۱۳۸۷) برای شهر گرگان انجام دادند، عامل گرایش به جاده در توسعه بیش از تبریز برآورد شده و رشد شهری در امتداد جاده‌های گرگان انجام خواهد گرفت.

همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰، مساحت مناطق مسکونی نسبت به سال ۲۰۱۶، ۳۹۹۷/۵۶ هکتار افزایش خواهد داشت که با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه مطالعاتی، کاربری عمده این زمین‌ها که به کاربری شهر تبدیل شده، مناطق بایر و زمین‌های کشاورزی خواهد بود. بنابراین، در راستای رسیدن به توسعه متناسب شهری و استفاده معقول از منابع طبیعی و اقدامات اصلاحی در جهت تخفیف اثرات وارد شده به محیط زیست، نیاز است که در فرآیندهای تصمیم‌گیری به درستی میزان و جهت رشد شهرها در نظرگرفته شود. پس پیشنهاد می‌شود که این مدل، با سناریوی حفظ فضای سبز، حفظ زمین‌های مرغوب کشاورزی، حفظ مناطق حفاظت شده و نیز سناریوی اقتصادی و اجتماعی انجام گیرد.

در نهایت، از نتایج این پژوهش، می‌توان برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری و نیز در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت روند توسعه شهری در مسیر مناسب خود استفاده کرد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که نتایج کسب شده، حاصل عقلانیت ابزاری است و لذا بکارگیری آنها مستلزم برخورد انتقادی با آن‌ها است.

منابع

خمر، غلامعلی و حیدری، اکبر(۱۳۹۳). ارزیابی الگوی رشد هوشمند شهری در شهرهای جدید ایران با تأکید بر شهر جدید صدرا با استفاده از مدل SLEUTH. *فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر*، ۱۶(۵۳)، ۲۷۰-۲۵۳.

رسولی، مریم، سلمان‌ماهینی، عبدالرسول و کامیاب، حمیدرضا(۱۳۹۵). تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل SLEUTH (مطالعه موردی: شهرستان های علی آباد، رامیان و آزادشهر). *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۶(۲۱)، ۱۲-۱.

رفیعی، رضا (۱۳۸۶). مکان یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند جامد شهری با توجه به روند رشد شهر (مطالعه موردی شهر مشهد). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه آموزشی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

سالنامه آماری کشور (۱۳۹۵). سرشماری عمومی نفوس و مسکن کشور. مرکز آمار ایران.

طیبی، امین (۱۳۸۸). پیش‌بینی و ارزیابی تغییر کاربری اراضی شهری در محیط سیستم اطلاعات مکانی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه نقشه برداری و سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

عباس‌زاده، غلامرضا (۱۳۸۴). الگوسازی رشد کالبدی بافت شهری در راستای توسعه پایدار (نمونه موردی: شهر مشهد). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه مطالعات و برنامه‌ریزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

کامیاب، حمیدرضا، سلمان‌ماهینی، عبدالرسول، حسینی، سیدمحسن و غلامعلی‌فرد، مهدی(۱۳۹۰). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدلسازی توسعه شهری (مطالعه موردی: شهرگرگان). *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۴۳(۷۶)، ۱۱۳-۹۹.

محمدزاده، رحمت(۱۳۸۶). بررسی زیست محیطی توسعه فیزیکی شتابان شهرها با تأکید بر شهرهای تهران و تبریز. *نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۵(۹)، ۱۱۲-۹۳.

Akin, A., Clarke, K. C., & Berberoglu, S. (2014). The impact of historical exclusion on the calibration of the SLEUTH urban growth model. *Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 27, 156–168.

Chaudhuri, G., & Clarke, K. C. (2013). Temporal accuracy in urban growth forecasting: A study using the SLEUTH model. *Journal of Trans*. GIS, 18(2), 302–320.

Clarke, K.C. (2008). A Decade of Cellular Urban Modeling with SLEUTH : Unresolved Issues and Problems, Chapter 3 in Planning Support Systems for Cities and Regions. Brail, R. K. , *Lincoln Institute of Land Policy*, Cambridge, MA, 47-60.

Dietzel, C., & Clarke, K. C. (2007). Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model. *Journal of Transactions in GIS*, 11, 29-45.

Feixue, L., Wang, L., Zhenjie, K., Clarke, K. C., Manchun, L., & Penghui, J. (2018). Extending the SLEUTH model to integrate habitat quality into urban growth simulation. *Journal of Environmental Management*, *217*, 486-498.

Fengming, X., Hong, H., Clarke, K. C., Yuanman, H,. Xiaoqing, W,. Tiemao, M. Lia., Yong, Sh., & Chang, G. (2012). The potential impacts of sprawl on farmland in Northeast China—Evaluating a new strategy for rural development : Landscape and urban planning. an international. *Journal of landscape ecology*, 104(1), 34-47.

Hadly, C. C. (2000). Urban Sprawl: Indicators, Causes , and Solutions, Prepared for the Bloomington Environmental Commission, http://www.city.bloomington

http://www.necgia.ucsb.edu/project. (2018, December 20)

Hui, H., Hui-Ping, L., & Ying, LÜ. (2012). Scenario Prediction and Analysis of Urban Growth Using SLEUTH Model. *Journal of Pedosphere*, 22(2), 206-216.

Jafarnezhad, J., Salmanmahiny, A., & Sakieh, Y. (2015). Subjectivity versus objectivity: comparative study between brute force method and genetic algorithm for calibrating the SLEUTH urban growth model. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(3), 1-12.

Kirtland, D., Gaydos, L., Clarke, K. C., Decola, L., Acevedo,W., & Bell, C. (1994). Ananalysis of human-induced land

transformations in the San Francisco Bay/Sacramentoarea. *Journal of World Resources Review*, 6, 206-217.

Kumar, M., Choudhary, M., & Saxena, A. (2017). Application of geo-spatial techniques and cellular automata for modeling urban growth of a heterogeneous urban fringe. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20, 223-241.

Lauer, C. & Clarke, K. C. (2011). Evolving Simulation Modeling: Calibrating SLEUTH Using a Genetic Algorithm. *Journal of Geo Computation*, 24, 25- 29.

Lu, D., Mausel, P. E., zio, B., & Moran, E. (2004) .Change detection techniques. International. *Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2407.

Rafiee, R., Salmanmahini, A., khorasani, N., Darvishsefat, A., & Danekar, A. (2009). Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM) . *Journal of Cities*, 26(1), 19-26.

Salmanmahini, A., & Gholamalifard, M. (2007). Dynamic Spatial Modeling of Urban Growth through Cellular Automata in a GIS Environ. *Journal of Environmental Research*. 1(3), 272-279.

Silva, E.A., & Clarke, K. C. (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal, Computers. *Journal of Environment and Urban systems*. 26, 525–552.

Syphard, A.D., Clarke, K. C., Franklin, J., Regan, H.M., & Mcginnis, M. (2011). Forecasts of habitat loss and fragmentation due to urban growth are sensitive to source of input data. *Journal of Environmental Management*, 92, 1882-1893.

Veldkamp, A., & Lambin, E. F. (2001). Predictiong land-use chang. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 1-6.

Xiaoqing, W., Yuanman, H., Hong, H., Fengming, X., & Rencang, B. (2010). Future Urban Growth in Shenyang City Based on SLEUTH Model. *Journal of Geospatial Information Science*. 13(1), 32-39.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی