

تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل SLEUTH برای شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزاد شهر

*مریم رسولی^۱، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲، حمیدرضا کامیاب^۳

^۱ کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲ دانشیار گروه محیط‌زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳ دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۳

چکیده

رشد سریع شهرها معمولاً با نابودی مناطق کشاورزی و طبیعی همراه است. بنابراین، تحلیل تناسب زمین برای گسترش شهرها فرآیندی است که به ارزیابی‌های همه جانبه نیاز دارد. از گذشته تا کنون، مدل‌های مختلفی توسط محققان توسعه یافته است تا بتوان پیچیدگی پویایی رشد شهر را شبیه‌سازی نمود. در این پژوهش از مدل SLEUTH برای مدل‌سازی رشد شهر استفاده شد. در این مدل به کمک لایه‌های شیب، کاربری اراضی، مناطق مستثنی از توسعه، مناطق شهری در چهار دوره زمانی و جاده‌ها حداقل در دوره زمانی ضرایب رشد شهر با عناوین ضریب انتشار، ضریب زایش، ضریب پخش، ضریب مقاومت به شیب و ضریب گرایش به جاده برای منطقه مطالعاتی تعیین شد. این ضرایب در سه مرحله درشت، ریز و نهایی کالیبراسیون و به کمک ترکیبی از زنجیره‌های مارکوف و شبکه‌های خودکار به دست می‌آیند. پس از تعیین ضرایب رشد شهری در منطقه مورد مطالعه شامل شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزاد شهر در استان گلستان مرحله پیش‌بینی مدل با توجه به داده‌های تاریخی منطقه اجرا شد. خروجی مدل میزان و جهت رشد شهر را برای سال پیش‌بینی در منطقه نشان می‌دهد. ضرایب به دست آمده برای منطقه مطالعاتی نشان داد که با توجه به داده‌های تاریخی، ضریب گرایش به جاده بیشترین تأثیر را در رشد شهری داشته است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که در طول دوره پیش‌بینی مساحت کاربری شهر به طور زیادی افزایش یافته است و با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه مطالعاتی، کاربری عمده این اراضی که به شهر تبدیل شده، کاربری کشاورزی و جنگل است. از ضرایب به دست آمده می‌توان برای مطالعات آینده و پیش‌بینی رشد شهر با توجه معیارهای متفاوت در منطقه استفاده کرد. همچنین، نتایج به دست آمده می‌تواند در پیش‌بینی گسترش شهر و کنترل آن در جهاتی که باعث از بین رفتن اراضی مرغوب کشاورزی و جنگل و مرتع نشود مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، SLEUTH، توسعه شهر، کاربری زمین.

مقدمه

شخصی و توسعه بزرگراه‌ها، بسط فضاهای شهری در آمریکا رونق گرفت (Hess, 2001:1). گسترش افقی شهر به معنای رشد سریع و پراکنده کلان شهرها و حتی شهرهای کوچک که در برخی موارد تا نواحی روستایی کشیده شده می‌شود است (عباس زاده، ۱۳۸۴:۲۴). همچنین به گسترش شهر در حاشیه شهرها، در طول بزرگراه‌ها و یا گسترش بی‌برنامه و کنترل نشده در سطح شهر نیز گفته می‌شود (Hadly, 2000:1).

گسترش افقی شهر واژه‌ای است که در نیم قرن اخیر در قالب اصطلاح اسپرال^۱ در متون پژوهش‌های شهری وارد شده است و امروزه موضوع محوری اکثر سمینارهای شهری در کشورهای توسعه یافته است. سابقه کاربرد این اصطلاح به اواسط قرن بیستم برمی‌گردد، زمانی که در اثر استفاده بیش از حد از اتومبیل

*نویسنده مسئول: mrasouli80@yahoo.com

هنگامی که شهرها از نظر اندازه و تعداد جمعیت رشد می‌کنند، توجه به هماهنگی میان جنبه‌های کالبدی، اجتماعی و محیط‌زیستی آن‌ها بسیار حائز اهمیت است و پایداری شهر در گرو همخوانی میان این عوامل خواهد بود. در این میان محیط‌زیست به عنوان بستر توسعه نقش بسزایی در روند شکل‌گیری شهرها دارد و بهره‌مندی از محیط‌زیست سالم و بوم سازگان‌های پایدار نه تنها تأمین‌کننده نهاده‌های لازم در فرآیند توسعه است، بلکه فراهم‌کننده محیطی مناسب برای زیستن بشر و شرکت مناسب او در این فرآیند خواهد بود (مبرقی، ۱۳۸۹:۴).

توسعه شهری و تغییرات الگوهای کاربری زمین باعث ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و محیط‌زیستی می‌گردد. 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. این‌ها 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 محیط‌زیست، چرخه‌های آبی، زیستگاه‌های طبیعی، حیاتی به نظر می‌رسد (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۰:۱۰۰).

هدف این پژوهش، تعیین ضرایب مؤثر بر رشد شهری در مدل SLEUTH برای شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزادشهر 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 به‌دست آمده برای هدایت توسعه شهر در جهاتی که باعث از بین رفتن زمین‌های مرغوب کشاورزی و جنگل و مرتع نشود.

مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

تحلیل زنجیره مارکوف یک ابزار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین است. بنیان‌گذار این

روش مارکوف^۱، آماردان و ریاضی‌دان روسی است که این روش را در سال ۱۹۰۵ برای توصیف اصل حرکت زنجیره‌ای به‌صورت سلسله آزمایش‌های زنجیره‌ای انجام داده است (احدنزاد روشتی و حسینی، ۱۳۹۰:۱۵). هر فرآیند مارکوف در جایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده سیستم را بتوان به‌صورت کلی بر اساس وضعیت قبل آن سیستم مدل‌سازی کرد. زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان یک به زمان دو انجام می‌گیرد. در تحلیل مارکوف هیچ بحثی از موقعیت‌های جغرافیایی مناطق وجود ندارد. احتمالات انتقال برای هر یک از کاربری‌ها به دست می‌آید اما هیچ اطلاعاتی از توزیع مکانی تغییرات مربوط به هر کدام از طبقات کاربری در آن وجود ندارد. به عبارت دیگر عنصر مکانی در مدل‌سازی وجود ندارد (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۰:۳۴۹). به دلیل اینکه جزئیات مکانی نقش مهمی در فرآیند تغییر کاربری زمین دارند، مدل‌سازی مکانی یکی از مناسب‌ترین روش‌ها به منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین است (Chen et al., 2002:163). اولین مدل‌هایی که برای توصیف اشکال مختلف شهرها مورد استفاده قرار گرفتند در اوایل قرن نوزدهم ابداع شدند. برای اولین بار در سال ۱۸۲۶، مدلی ارائه شد که هدف آن بیان چگونگی گسترش کاربری‌های مختلف تحت تأثیر فرآیندهای مرتبط با بازار بود (Candau, 2002:36). مدل‌های دیگری نیز به دنبال آن‌ها ارائه شد اما این مدل‌ها اغلب مدل‌های توصیفی بودند (Junfeng, 2003:41).

برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل زنجیره مارکوف، از شبکه خودکار (CA) استفاده می‌شود. شبکه خودکار عاملی است که توانایی تغییر وضعیت را بر اساس به کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان

بزرگایا^۳ و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات کاربری زمین و سیمای منظر را در منطقه حفاظت شده‌ای در شمال غرب ترکیه با استفاده از دو مدل stochastic Markov و CA-Markov مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل CA-Markov اطلاعات قابل اطمینان تری را نسبت به stochastic Markov ارائه می‌دهد.

فنگ‌مینگ^۴ 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 اجتناب ناپذیر است اما در میان آن‌ها در مقدار کاهش زمین‌های کشاورزی و الگوهای سیمای سرزمین تفاوت زیادی وجود دارد. سیفارد^۵ 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.

دانگ جی و همکاران (۲۰۱۱) مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف را برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی توزیع کاربری‌ها با تأکید بر فاکتورهای محیطی و اجتماعی - اقتصادی در ژاپن به کار بردند. نتیجه شبیه‌سازی تغییرات منطقه، یک روند رو به کاهش را در زمین‌های کشاورزی و جنگل و همچنین یک روند رو به افزایش را در مناطق ساختمانی نشان داد. نتایج این مطالعه می‌تواند به کارگزاران محلی جهت درک بهتر سیستم پیچیده کاربری زمین کمک کرد و نشان داد که ارتقا استراتژی مدیریت کاربری زمین تعادل بهتری را بین رشد شهری و حفاظت اکولوژیکی برقرار می‌کند. ایگزاکینگ و همکاران (۲۰۱۰) مدل SLEUTH را برای شبیه‌سازی رشد شهری تا سال ۲۰۳۰ و کشف اثرات محیط زیستی رشد شهری تحت سه سناریو در شهر شیانگ چین اجرا کردند. همچنین، مک‌کال و اجت (۲۰۰۷) در پژوهش خود روشی را با به کارگیری

می‌دهد داراست. مدل سلول‌های خودکار به دلیل داشتن ماهیت پویا و همچنین خصوصیات منحصر به فرد آن در مدل‌سازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین و همچنین توسعه زمین‌های شهری پیدا کرده است.

سامات^۱ (۲۰۰۹) با به کارگیری مدل CA-Markov رشد مکانی را در یکی از شهرهای مالزی پیش‌بینی کرد. همچنین لاتی^۲ (۲۰۰۸) برای پیش‌بینی رشد شهر سیدنی از روش سلول‌های خودکار استفاده کرد. مدل‌های CA طراحی شده برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین و گسترش زمین‌های شهری از تنوع زیادی برخوردار است که از آن جمله می‌توان به مدل کلارک و همکاران به نام SLEUTH اشاره کرد (علی محمدی سراب و همکاران، ۱۳۸۷: ۸۳).

مدل SLEUTH در ایران تاکنون برای مدل‌سازی توسعه شهری مشهد، گرگان، چالوس و نوشهر انجام شده است. سلمان ماهینی و کریمی (۲۰۱۱) با هدف پیش‌بینی رشد شهر در حوزه گرگان و علی‌آباد با توجه به دو مورد از خدمات بوم‌سازگان شامل پالایش آب در مقابل رواناب سطحی و تولید و حفاظت خاک در برابر فرسایش از اطلاعات حاصل از مدل L-THIA و RUSLE استفاده کردند. نتایج نشان داد که کاربری‌های زمین در حالت اجرای مدل با داده‌های اصلی و با توجه به موارد خدمات بوم‌سازگان متفاوت است.

سلمان ماهینی و همکاران (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. نتایج، سودمندی و کاربرد مدل‌سازی را در توضیح الگوهای مکانی رشد شهری نشان داد. رفیعی (۱۳۸۶) به منظور مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال مواد زائد جامد با توجه به روند رشد شهر با استفاده از مدل SLEUTH به بررسی رشد شهر مشهد پرداخت.

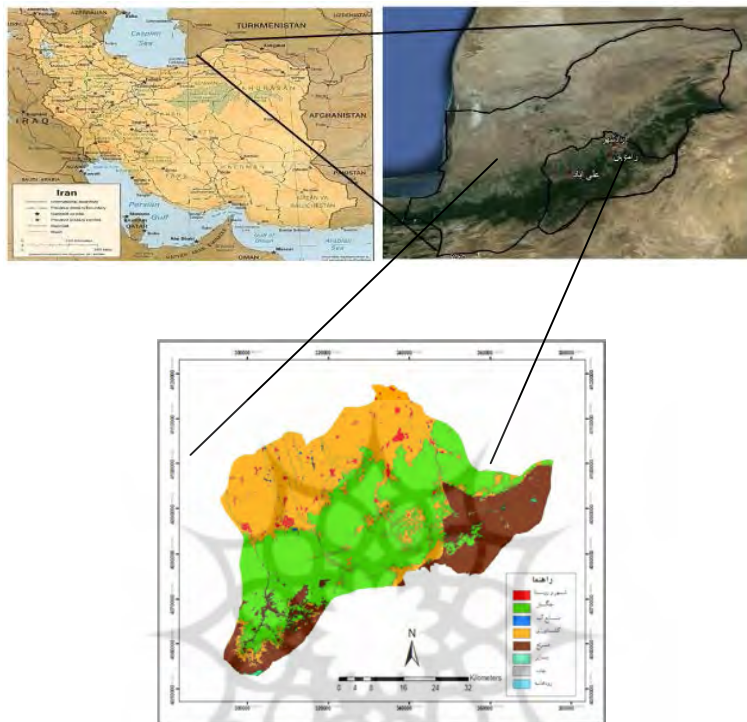
3. Bozkaya
4. Fengming
5. Syphard

1. Samat
2. Lathi

استان گلستان است. در منطقه مورد مطالعه طبقات مختلف کاربری زمین شامل شهر و روستا، جنگل، منابع آب، کشاورزی، مرتع، زمین‌های بایر، جاده و رودخانه وجود دارد.

هم‌زمان مدل پیش‌بینی کاربری زمین و مدل هیدرولوژیکی تخمین رواناب در مقیاس حوزه آبخیز به کار بردند.

قلمرو و محدوده پژوهش: منطقه مورد مطالعه شهرستان‌های علی‌آباد، رامیان و آزادشهر واقع در



شکل ۱: ایران، استان گلستان و شهرستان‌های علی‌آباد و رامیان و آزادشهر به‌عنوان منطقه مطالعاتی در استان.

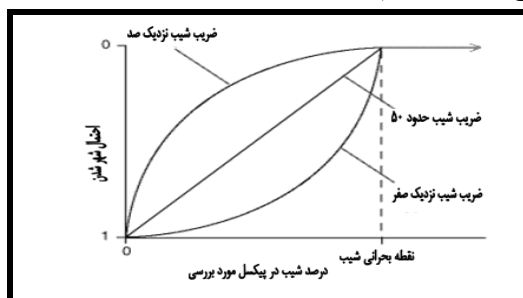
هر یک به‌صورت ضریبی بین صفر تا صد مشخص می‌شود. قوانین انتقال تحت تأثیر ضرایب زیر مشخص و برای شبیه‌سازی اعمال می‌شود.

ضرایب پنج‌گانه

- ضریب انتشار
- ضریب زایش
- ضریب پخش
- ضریب مقاومت به شیب

روش تحقیق

نحوه عملکرد مدل SLEUTH: مدل SLEUTH بر اساس سوابق گذشته شهر، تغییرات و عوامل مؤثر بر رشد و توسعه شهر را شناسایی می‌کند. سپس، وضعیت منطقه در آینده بر اساس ضرایب به‌دست آمده مشخص می‌شود. به این صورت بر اساس سوابق تاریخی، پنج عامل تأثیرگذار بر روند توسعه شهر در مرحله کالیبراسیون تغییر داده می‌شود و سهم تأثیر



شکل ۲: رابطه ضریب شیب و احتمال شهر شدن

ضریب گرایش به جاده (رفیعی، ۱۳۸۶:۳۷). این پنج ضریب در قالب چهار قانون رشد شهر به شکل زیر به دست می‌آیند.

قوانین رشد

رشد خود به خودی: رشد خود به خودی تابعی از ضریب انتشار، ضریب مقاومت به شیب و سلول تصادفی در دسترس است.

رشد زایشی: رشد زایشی تابعی از ضریب زایش، ضریب مقاومت به شیب و سلول‌های تصادفی همسایه است.

رشد انتشاری: رشد انتشاری تابعی از ضریب پخش، ضریب مقاومت به شیب و سلول‌های تصادفی همسایه است.

رشد متأثر از جاده: 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 (Yuanhong and Rick, 2005:18).

چهار گام راه‌اندازی مدل SLEUTH به قرار زیر است:

- آماده‌سازی لایه‌های ورودی
- برگرفتن و تأیید عملکرد مدل
- کالیبراسیون
- پیش‌بینی

آماده‌سازی لایه‌های ورودی

SLEUTH مخفف نام‌های لایه‌های مورد نیاز مدل است. این لایه‌ها عبارتند از شیب^۱، کاربری زمین^۲، نواحی استثنا^۳ که توسعه شهری در آن‌ها ممنوع است، نواحی شهری^۴، شبکه‌های حمل و نقل^۵ و نقشه سایه و روشن پستی‌ها و بلندی‌ها^۶، لایه سایه و روشن پستی‌ها و بلندی‌ها در محاسبات نقشی ندارد و فقط جهت نمایش استفاده می‌شود. تمام داده‌ها برای

اجرای مدل باید در فرمت GIF باشند و سیستم تصویر^۷، اندازه^۸ و وضوح^۹ یکسان داشته باشند. به منظور آماده‌سازی لایه‌های ورودی برای اجرای مدل از لایه‌های رقومی موجود و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. در این مطالعه از نقشه کاربری زمین سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۰ که قبلاً تهیه شده بود (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۹۰:۲۳۱). و نقشه مناطق شهری سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۲، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به‌عنوان سال‌های کنترل استفاده شد. نقشه جاده‌ها از نقشه کاربری زمین ۱۹۸۴ و ۲۰۱۰ استخراج شد. نقشه شیب به درصد و نقشه پستی‌ها و بلندی‌ها با استفاده از نقشه DEM تهیه شد. نقشه مستثنیات که شامل مناطق شهری حاضر، جاده‌ها، رودخانه‌ها و منابع آب است از نقشه کاربری زمین سال ۱۹۸۴ استخراج شد. تمام نقشه‌ها در نرم‌افزار ایدریسی با پالت GreyScale به فرمت BMP تبدیل شدند و سپس با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ به فرمت GIF تبدیل گردیدند.

برگرفتن و تأیید عملکرد مدل: مدل SLEUTH را می‌توان از <http://www.ncgia.ucsb.edu/project> بارگیری کرد. این مدل در محیط یونیکس اجرا می‌شود. نرم‌افزار شبیه‌ساز یونیکس به نام Cygwin محیط ویندوز را برای اجرای مدل آماده می‌کند. دستورات اجرای مدل به زبان برنامه نویسی C است. پس از باز کردن فایل در یک درایو مناسب، جهت اجرای مدل بر روی کامپیوتر باید کدهای آن را کامپایل کنیم. برای بررسی درستی نصب و اجرای مدل، مرحله آزمون با نوشتن دستور مربوطه انجام گردید. با گرفتن پاسخ مناسب، مشخص شد مدل به خوبی ساخته (کامپایل) شده و آماده استفاده است.

کالیبراسیون: کالیبراسیون مدل در سه مرحله درشت، ریز و نهایی انجام می‌شود. در هر مرحله پس از تغییر دامنه ضرایب، به اصلاح آن‌ها پرداخته می‌شود تا در کالیبراسیون نهایی ضرایب خاص منطقه به شکل

1. Slope
2. Land use
3. Exclude
4. Urban
5. Transportation
6. Hillshade

7. Projection
8. Extent
9. Resolution

کاملاً اصلاح شده به دست آید. در مرحله کالیبراسیون، در فایل سناریو نام تمام نقشه‌ها مطابق نام نقشه‌های ورودی تغییر داده شد. در قسمت ورودی و خروجی مدل، پوشه‌ای برای قرار دادن ورودی‌ها و خروجی اجرای مدل با داده‌های منطقه قرار داده و نام این پوشه‌ها در فایل سناریو مطابق با نام داده شده تغییر داده شد. در این مطالعه تاریخ شروع پیش‌بینی ۲۰۱۰ و تاریخ پایان پیش‌بینی ۲۰۴۰ تعیین شد. نام و تعداد طبقات کاربری زمین با توجه به داده‌های ورودی

تنظیم گردید و شیب بحرانی ۴۵ درصد تعیین شد. برای این‌که در فایل سناریو متن‌ها به اشتباه تغییر نکند و کاراکترهای ناخواسته وارد متن نشود برای تنظیم فایل سناریو از نرم‌افزار ویرایشگر متن TextPad استفاده گردید.

نتایج

مشخصات داده‌های مورد استفاده برای مرحله اول کالیبراسیون به صورت جدول (۱) تنظیم گردید.

جدول ۱: اندازه سلول و پارامترهای سناریوی مرحله درشت کالیبراسیون

| ضرایب | دامنه ضرایب | گام افزایش | اندازه سلول | تعداد مونت کارلو |
|--------------------|-------------|------------|-------------|------------------|
| ضریب انتشار | ۰-۱۰۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۴ |
| ضریب زایش | ۰-۱۰۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۴ |
| ضریب پخش | ۰-۱۰۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۴ |
| ضریب مقاومت به شیب | ۰-۱۰۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۴ |
| ضریب گرایش به جاده | ۰-۱۰۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۴ |

پس از اتمام هر مرحله از 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 اجراها طبقه‌بندی گردیدند. برای بررسی صحت و درستی اجرای مدل نمایه OSM اخیراً ارائه گردیده است. مقدار Optimum Sleuth Metric از ضرب کردن هفت نمایه آماری به دست می‌آید (Dietzel and Clarke, 2007).

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

نتایج ۱۰ اجرای اول مرحله اول کالیبراسیون با ۳۱۲۵ اجرا بر اساس بالاترین مقدار OSM به صورت جدول (۲) است. اولین مرحله کالیبراسیون در مدت زمان ۱۹۲ ساعت انجام شد.

در مرحله دوم کالیبراسیون، دامنه ضرایب با توجه به نتایج به دست آمده از مرحله اول با دقت نظر کاربر در تعیین دامنه ضرایب و تعداد مونت کارلو و با توجه به مطالعات گذشته در تعیین گام افزایش به شکل جدول (۳) تعیین گردید.

نتایج مرحله دوم کالیبراسیون با ۵۴۰۰ اجرا بر اساس بالاترین مقدار OSM به صورت جدول (۴) است. دومین مرحله کالیبراسیون در مدت زمان ۹۶ ساعت انجام شد.

در مرحله سوم کالیبراسیون، دامنه ضرایب را با توجه به نتایج به دست آمده از مرحله دوم مشخص گردید و در این مرحله گام افزایشی برای تمام ضرایب یک در نظر گرفته شد جدول (۵).

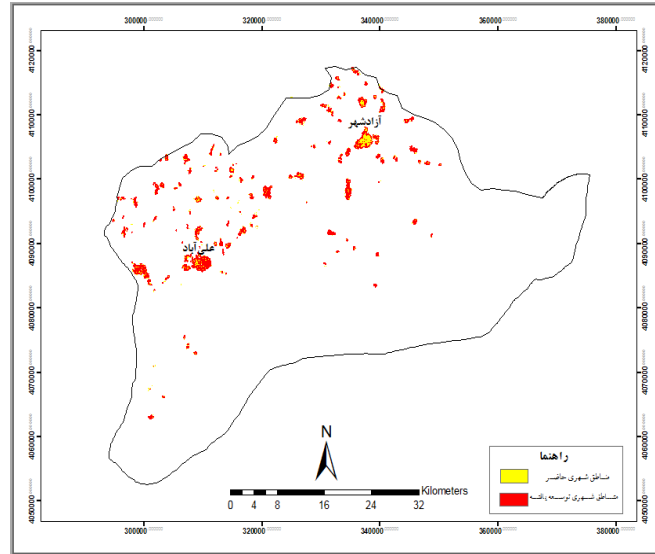
جدول ۲: نتایج ۱۰ اجرای اول کالیبراسیون درشت بر اساس Optimum Sleuth Metric

| Run | Product | Compare | Pop | Edges | Cluster | Clustersize | Leesalee | Slope | %Urban | Xmean |
|-----|---------|---------|------|-------|---------|-------------|----------|-------|--------|-------|
| ۴۰۷ | ۰/۸۳ | ۰/۶۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۶ | ۰/۷۵ | ۰/۳۱ | ۰/۷۷ | ۰/۹۹ | ۰/۸۷ |
| ۲۸۰ | ۰/۰۹ | ۰/۷۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۴ | ۰/۹۶ | ۰/۸۴ | ۰/۳۲ | ۰/۶۹ | ۰/۹۹ | ۰/۸۴ |
| ۲۸۶ | ۰/۰۹ | ۰/۷۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۴ | ۰/۹۸ | ۰/۸۲ | ۰/۳۳ | ۰/۶۴ | ۰/۹۹ | ۰/۸۵ |
| ۲۹۳ | ۰/۰۹ | ۰/۸۰ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۹۴ | ۰/۸۱ | ۰/۳۳ | ۰/۶۵ | ۰/۹۹ | ۰/۸۶ |
| ۱۵۵ | ۰/۰۹ | ۰/۸۴ | ۰/۹۴ | ۰/۹۲ | ۰/۹۴ | ۰/۸۱ | ۰/۳۴ | ۰/۷۹ | ۰/۹۹ | ۰/۶۶ |
| ۴۱۳ | ۰/۰۸ | ۰/۶۹ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۴ | ۰/۸۱ | ۰/۳۱ | ۰/۷۱ | ۰/۹۹ | ۰/۸۶ |
| ۲۹۱ | ۰/۰۹ | ۰/۸۱ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۹۹ | ۰/۸۴ | ۰/۳۳ | ۰/۶۲ | ۰/۹۹ | ۰/۸۲ |
| ۶۵۹ | ۰/۰۰ | ۰/۵۷ | ۰/۹۳ | ۰/۹۰ | ۰/۸۳ | ۰/۰۰ | ۰/۲۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۷ |
| ۲۹۵ | ۰/۰۹ | ۰/۸۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۹۷ | ۰/۸۱ | ۰/۳۳ | ۰/۵۸ | ۰/۹۹ | ۰/۸۱ |
| ۶۵۷ | ۰/۰۰ | ۰/۵۶ | ۰/۹۳ | ۰/۹۰ | ۰/۸۳ | ۰/۰۰ | ۰/۲۵ | ۰/۹۶ | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ |

| Run | Ymean | Rad | Fmatch | OSM | Diff | Brd | Sprd | Slp | RG |
|-----|-------|------|--------|------|------|-----|------|-----|-----|
| ۴۰۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۳۹ | ۱ | ۷۵ | ۲۵ | ۲۵ | ۵۰ |
| ۲۸۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۳۸ | ۱ | ۵۰ | ۲۵ | ۲۵ | ۱ |
| ۲۸۶ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۳۸ | ۱ | ۵۰ | ۲۵ | ۵۰ | ۲۵ |
| ۲۹۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۳۸ | ۱ | ۵۰ | ۲۵ | ۷۵ | ۷۵ |
| ۱۵۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۳ | ۰/۹۵ | ۰/۳۷ | ۱ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵ | ۱ |
| ۴۱۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۳۶ | ۱ | ۷۵ | ۲۵ | ۵۰ | ۷۵ |
| ۲۹۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۳۶ | ۱ | ۵۰ | ۲۵ | ۷۵ | ۲۵ |
| ۶۵۹ | ۰/۹۳ | ۰/۹۱ | ۰/۹۵ | ۰/۳۶ | ۲۵ | ۱ | ۲۵ | ۲۵ | ۱۰۰ |
| ۲۹۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۳۵ | ۱ | ۵۰ | ۲۵ | ۱۰۰ | ۱ |
| ۶۵۷ | ۰/۹۳ | ۰/۹۲ | ۰/۹۵ | ۰/۳۵ | ۲۵ | ۱ | ۲۵ | ۲۵ | ۵۰ |

جدول ۳: اندازه سلول و پارامترهای سناریوی مرحله ریز کالیبراسیون

| تعداد مونت کارلو | اندازه سلول | گام افزایش | دامنه ضرایب | ضرایب |
|------------------|-------------|------------|-------------|--------------------|
| ۴ | ۳۰ | ۵ | ۱-۲۵ | ضریب انتشار |
| ۴ | ۳۰ | ۵ | ۵۰-۷۵ | ضریب زایش |
| ۴ | ۳۰ | ۵ | ۱-۲۵ | ضریب پخش |
| ۴ | ۳۰ | ۵ | ۵۰-۷۵ | ضریب مقاومت به شیب |
| ۴ | ۳۰ | ۵ | ۵۰-۷۵ | ضریب گرایش به جاده |



شکل ۳: نقشه مدل سازی شده توسعه شهری در سال ۲۰۴۰.

جدول ۴: نتایج ۱۰ اجرای اول کالیبراسیون ریز براساس Optimum Sleuth Metric

| Run | Product | Compare | Pop | Edges | Cluster | Clustersize | Leesalee | Slope | %Urban | Xmean |
|------|---------|---------|--------|-------|---------|-------------|----------|-------|--------|-------|
| ۴۷۱۳ | ۰/۱۰۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۳ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۷ | ۰/۶۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۴۴۳۱ | ۰/۱۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ | ۰/۸۹ | ۰/۷۵ | ۰/۳۳ | ۰/۶۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ |
| ۴۷۱۰ | ۰/۱۰۰ | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۳ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۷ | ۰/۶۶ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۴۰۶۹ | ۰/۱۱ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ | ۰/۹۲ | ۰/۸۱ | ۰/۳۳ | ۰/۶۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ |
| ۴۹۰۲ | ۰/۱۰۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۷ | ۰/۶۲ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۵۰۶۹ | ۰/۱۰۰ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۶ | ۰/۶۶ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۴۲۵۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ | ۰/۸۴ | ۰/۷۵ | ۰/۳۳ | ۰/۶۴ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ |
| ۴۷۲۶ | ۰/۱۰۰ | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۷ | ۰/۶۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۴۷۱۵ | ۰/۱۰۰۰ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۱۰۰ | ۰/۲۷ | ۰/۶۲ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ |
| ۴۴۲۲ | ۰/۱۱ | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ | ۰/۸۶ | ۰/۸۵ | ۰/۳۳ | ۰/۶۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ |
| Run | Ymean | Rad | Fmatch | OSM | Diff | Brd | Sprd | Slp | RG | |
| ۴۷۱۳ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۹ | ۶ | ۵۵ | ۶ | ۵۰ | ۷۰ | |
| ۴۴۳۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۹ | ۱ | ۷۵ | ۱۶ | ۵۵ | ۷۰ | |
| ۴۷۱۰ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۷ | ۶ | ۵۵ | ۶ | ۵۰ | ۵۵ | |
| ۴۰۶۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۶ | ۱ | ۶۵ | ۱۶ | ۵۵ | ۶۰ | |
| ۴۹۰۲ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۵ | ۶ | ۶۰ | ۶ | ۶۰ | ۵۵ | |
| ۵۰۶۹ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۵ | ۶ | ۶۵ | ۶ | ۵۰ | ۵۰ | |
| ۴۲۵۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۵ | ۱ | ۷۰ | ۱۶ | ۵۵ | ۷۰ | |
| ۴۷۲۶ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۴ | ۶ | ۵۵ | ۶ | ۶۰ | ۷۵ | |
| ۴۷۱۵ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۴ | ۶ | ۵۵ | ۶ | ۵۵ | ۵۰ | |
| ۴۴۲۲ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۴۴ | ۱ | ۷۵ | ۱۶ | ۵۰ | ۵۵ | |

جدول ۵: اندازه سلول و پارامترهای سناریوی مرحله نهایی کالیبراسیون

| تعداد مونت کارلو | اندازه سلول | گام افزایش | دامنه ضرایب | ضرایب |
|------------------|-------------|------------|-------------|--------------------|
| ۴ | ۳۰ | ۱ | ۴-۴ | ضریب انتشار |
| ۴ | ۳۰ | ۱ | ۶۵-۶۵ | ضریب زایش |
| ۴ | ۳۰ | ۱ | ۱۰-۱۰ | ضریب پخش |
| ۴ | ۳۰ | ۱ | ۵۰-۵۰ | ضریب مقاومت به شیب |
| ۴ | ۳۰ | ۱ | ۶۵-۶۵ | ضریب گرایش به جاده |

نتایج مرحله سوم کالیبراسیون با ۷۲۰ اجرا بر اساس OSM به صورت جدول (۶) است.

جدول ۶: نتایج ۱۰ اجرای اول کالیبراسیون نهایی بر اساس Optimum Sleuth Metric

| Run | Product | Compare | Pop | Edges | Cluster | Clustersize | Leesalee | Slope | %Urban | Xmean |
|-----|---------|---------|--------|-------|---------|-------------|----------|-------|--------|-------|
| ۳۷۰ | ۰/۰۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۹ | ۰/۷۲ | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ |
| ۳۸۴ | ۰/۱۳ | ۰/۹۰ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۳ | ۱/۰۰ | ۰/۲۸ | ۰/۸۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۲۵۳ | ۰/۰۳ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۹ | ۰/۷۱ | ۱/۰۰ | ۰/۹۷ |
| ۲۳۳ | ۰/۱۱ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۶ | ۰/۷۵ | ۰/۳۳ | ۰/۷۱ | ۱/۰۰ | ۰/۹۳ |
| ۳۰۰ | ۰/۰۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۳ | ۰/۲۵ | ۰/۲۹ | ۰/۶۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۴۳۲ | ۰/۱۲ | ۰/۹۳ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۳ | ۱/۰۰ | ۰/۲۸ | ۰/۷۱ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ |
| ۳۵۳ | ۰/۳۱ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۵ | ۰/۲۵ | ۰/۲۸ | ۰/۶۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ |
| ۲۵۸ | ۰/۳۱ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۹ | ۰/۶۶ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ |
| ۴۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۸ | ۰/۶۵ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| ۳۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۳ | ۰/۸۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲۹ | ۰/۶۴ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ |
| Run | Ymean | Rad | Fmatch | OSM | Diff | Brd | Sprd | Slp | RG | |
| ۳۷۰ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۶۲ | ۴ | ۶۰ | ۹ | ۵۵ | ۷۰ | |
| ۳۸۴ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۶۲ | ۴ | ۷۰ | ۶ | ۵۰ | ۵۵ | |
| ۲۵۳ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۹ | ۴ | ۵۵ | ۹ | ۵۰ | ۶۰ | |
| ۲۳۳ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۷ | ۱ | ۷۵ | ۱۵ | ۵۵ | ۶۰ | |
| ۳۰۰ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۶ | ۴ | ۶۰ | ۹ | ۵۰ | ۵۵ | |
| ۴۳۲ | ۰/۹۵ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۶ | ۴ | ۷۵ | ۶ | ۵۰ | ۵۵ | |
| ۳۵۳ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۶ | ۴ | ۶۵ | ۹ | ۵۵ | ۶۰ | |
| ۲۵۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۵ | ۴ | ۵۵ | ۹ | ۵۵ | ۶۵ | |
| ۴۰۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۵ | ۴ | ۷۰ | ۹ | ۵۵ | ۵۵ | |
| ۳۰۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۰/۵۴ | ۴ | ۶۰ | ۹ | ۵۰ | ۶۰ | |

سومین مرحله کالیبراسیون در مدت زمان ۳۰ ساعت انجام شد. در نهایت ضرایب به دست آمده از کالیبراسیون در منطقه مطالعاتی به صورت جدول (۷) است.

جدول ۷: ضرایب به دست آمده برای منطقه مطالعاتی

| ضرایب | ضریب انتشار | ضریب زایش | ضریب پخش | ضریب مقاومت به شیب | ضریب گرایش به جاده |
|-------------|-------------|-----------|----------|--------------------|--------------------|
| مقدار ضرایب | ۴ | ۶۵ | ۱۰ | ۵۰ | ۶۵ |

با توجه به ضرایب به دست آمده مرحله پیش‌بینی مدل اجرا گردید. تصویر cumulate-urban در پوشه خروجی مدل، احتمال توسعه مناطق شهری را تا سال مورد نظر پیش‌بینی نشان می‌دهد. محدوده احتمال بین صفر تا ۱۰۰ است. عدد بیشتر نشان‌دهنده احتمال بیشتر تبدیل سلول به کاربری شهر است. در این مطالعه سلول‌های با احتمال بیشتر از ۷۰ درصد، به‌عنوان مناطق شهری در نظر گرفته شد شکل (۳).

بررسی مناطق شهری توسعه یافته نشان داد که با در نظر گرفتن سلول‌های با احتمال ۷۰ درصد که قابلیت تبدیل به کاربری شهر را دارند مساحت مناطق شهری در سال ۲۰۴۰ در مقایسه با سال ۲۰۱۰، ۴۰

کیلومترمربع افزایش یافته است. نتایج این پژوهش تنها یک سناریو از میان سناریوهای متعددی است که در مدل قابل اجرا است. سناریوهای سخت‌گیرانه، آسان‌گیرانه، بینابینی و نظایر آن‌ها پس از کالیبراسیون به راحتی قابل اجرا هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

ضریب انتشار تعداد دفعاتی را که یک سلول به صورت تصادفی به‌عنوان سلول قابل شهرسازی در رشد خود به خودی انتخاب خواهد شد کنترل می‌کند. این شکل رشد نشان‌دهنده ساخت و سازهای خارج از کانون‌های شهری حاضر است. بنابراین، پایین بودن

مقدار ضریب انتشار در منطقه مطالعاتی بیان کننده احتمال کم پراکنش شهر، خارج از کانون‌های شهری کنونی است. ضریب زایش احتمال این را که سلول شهر شده طی رشد خود به خودی مرکز جدید توسعه و شهرسازی شود تعیین می‌کند. در منطقه مطالعاتی مقدار این ضریب بالا به دست آمده است. ضریب پخش احتمال این را که هر سلول که به عنوان مرکز جدید انتشار مشخص شده، سلول اضافی شهر در همسایگی ایجاد کند مشخص می‌کند. مقدار این ضریب در منطقه مطالعاتی پایین به دست آمده است. ضریب مقاومت به شیب نشان‌دهنده 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. برای منطقه مطالعاتی این ضریب ۵۰ به دست آمده است، بنابراین رابطه پستی و بلندی و احتمال شهر شدن رابطه‌ای خطی است. ضریب گرایش به جاده نشان‌دهنده احتمال توسعه شهر در مسیر شبکه حمل و نقل است. بالا بودن این ضریب نشان می‌دهد که توسعه انجام شده شهر تاکنون به طور زیادی متأثر از شبکه حمل و نقل در منطقه است و رشد شهری در منطقه مطالعاتی بیش از همه عوامل به شبکه حمل و نقل وابسته است. بررسی نتایج نشان می‌دهد به طور متوسط در هر ۱۰ سال مساحت کاربری شهر در منطقه مطالعاتی تقریباً ۲ برابر شده است. با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه مطالعاتی، کاربری عمده این زمین‌ها که به کاربری شهر تبدیل شده مناطق جنگلی و زمین‌های کشاورزی است. جنگل‌ها نقشی بسیار مهم در رفاه جامعه از طریق تأمین کالاهای خدماتی که به طور مستقیم و غیر مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، ایفا می‌کنند و به همین دلیل دارای ارزش هستند. خاک‌های جنگل با ذخیره حدود ۷۰۰ میلیارد تن، بزرگترین مخزن ذخیره کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی جهان هستند. جنگل‌زدایی‌های پیاپی سبب کاهش چشم‌گیر ظرفیت ذخیره کربن آلی خاک به میزان سالیانه ۲ میلیون تن شده است (روستا و حجتی، ۱۳۸۹: ۱). زمین‌های حاصل‌خیز

کشاورزی منابع با ارزش اما محدودی هستند. بخش کشاورزی نیازهای غذایی را فراهم می‌کند. تولید غذا در سطح محلی نیاز ما را به واردات و به دنبال آن هزینه‌های وابسته به واردات کاهش می‌دهد. زمین‌های کشاورزی زیستگاه‌های متفاوتی را برای گونه‌های حیات وحش به وجود می‌آورند و از تنوع زیستی حمایت می‌کنند. این زمین‌ها فضاهای سبزی در اطراف شهر به وجود می‌آورند که از لحاظ زیبایی بصری و ایجاد فرصت‌های تفریحی دارای اهمیت است (Lamdal and et al., 436:2009).

با توجه به اهمیت و نقش مهم جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی در اکوسیستم زمین و اثرات انسان روی بوم‌سازگان‌ها، تلاش برای حفظ و بازیابی بوم‌سازگان‌ها نیازمند افزایش دانش ما در مورد چگونگی بهره‌مندی و استفاده انسان از آن‌ها است. فرآیندهای مکانی و زمانی توسعه شهری و پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی چنین توسعه‌ای به خاطر اثرات مستقیم و عمیق بر زندگی انسان، شایسته مطالعات جدی توسط جغرافی‌دانان و طراحان شهری و سیاست‌گذاران است.

پیشنهادها

پیشنهادهای اجرایی: استفاده از نتایج این تحقیق همراه با خدمات و کارکردهای بوم‌سازگان می‌تواند در تصمیم‌گیری در زمینه طرح‌ریزی سرزمین، مدیریت منابع طبیعی و هدایت توسعه شهری نقش داشته باشد. **پیشنهادهای پژوهشی:** به منظور بهبود نتایج در مطالعات آینده ملاحظات زیر پیشنهاد می‌شود.

بازدید میدانی و مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل با مساحت و توسعه مکانی کاربری‌های زمین در سال‌های پیش‌بینی توصیه می‌شود. ارتقاء مدل با توجه به ویژگی منطقه و شناسایی مشکلات محیط‌زیستی موجود در منطقه و همچنین کاربرد مدل‌های ویژه پیش‌بینی خدمات و کارکردهای بوم‌سازگان و مقایسه اختلاف موجودی بوم‌سازگان در سال‌های مختلف جهت دستیابی به میزان هدررفت یا جبران آن‌ها پیشنهاد می‌شود.

منابع

- ۱- احدنژادروشتی، محسن. سیداحمد حسینی. ۱۳۹۰. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۸۹-۱۳۶۳). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، شماره چهارم.
- ۲- رفیعی، رضا. ۱۳۸۶. مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند جامد شهری با توجه به روند رشد شهر (مطالعه موردی: شهر مشهد). استاد راهنما: نعمت‌اله خراسانی و عبدالرسول سلمان ماهینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی.
- ۳- روستا، طوبی. سیدمحمد حجتی. ۱۳۸۹. مدیریت خاک‌های جنگلی در ارتباط با ترسیب کربن، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست.
- ۴- سلمان ماهینی، ع. فضلی، ح. دریانبرد، ر. کامیاب، ح. فندرسکی، ف. داور، ل. آذرم دل، ح. مهری، الف. و خیرآبادی، و. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی و تعیین درجه حساسیت اکولوژیکی نواحی ساحلی، سازمان حفاظت محیط‌زیست.
- ۵- سلمان ماهینی، عبدالرسول. حمیدرضا کامیاب. ۱۳۹۰. سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی. چاپ دوم، انتشارات مهرمهدیس.
- ۶- عباس‌زاده، غلامرضا. ۱۳۸۴. الگوسازی رشد کالبدی بافت شهری در راستای توسعه پایدار (نمونه موردی: شهر مشهد). استاد راهنما: محمدرحیم رهنما. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۷- علیمحمدی سراب، عباس. علی اکبر متکان و بابک میرباقری. ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران.
- ۸- کامیاب، حمیدرضا. عبدالرسول سلمان ماهینی و سیدمحسن حسینی و مهدی غلامعلی فرد. ۱۳۹۰. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی توسعه شهری (مطالعه موردی: شهر گرگان). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۶.
- ۹- میرقی، نغمه. ۱۳۸۹. لزوم تحقق مدیریت یکپارچه محیط‌زیست شهری. نخستین همایش توسعه شهری پایدار.
10. Bozkaya, A. Gonca., Balcik, Filiz Bektas., Goksel, Cigdem., and Esban, Hayria. 2015. Forecasting land-cover growth using remotely sensed data: a case study of the Igneada protection area in Turkey, Environ. Monit. Assess, DOI:11.1007/s10661-0154322-z.
12. Candau, Jeannette Therese. 2002. Temporal calibration senility of the SLEUTH urban growth model, University of California, Santa Barbara, 1-130.
13. Chen, J.P., Gong, C., He, W., Luo, M., Torrens, P.M., and Osullivan, D. 2002. Cellular automata and urban simulation: where do we go from here, Environment and planning B-Planning & Design, 28(2): 163-168.
14. Dietzel, Charle, and Clarke, Keith. C. 2007. Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model, Transactions in GIS, 11(1): 29-45.
15. DongJie, Guan, HaiFeng, Li, Takuro, Inohae, Weici, Su, Tadashi, Nagaie, and Kazunori, Hokao. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov mode, Ecological Modelling, 222 (20-22): 3761-3772.
16. Fengming, Xi, He, Hong S., He, Clark, Keith C., Hu, Yuanman, Wu, Xiaoqing; Miao, Lia, Tiemao, Shi, Yong, Geng, and Chang, Gao. 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.
17. Hadly, C.C. 2000. Urban sprawl indicators, causes and solution. www.city.blomington.
18. Hess, G.R. 2001. Just what is Sprawl, Anyway? www4.ncsu.edu/grhess.
19. Junfeng, Jiao. 2003. Transition rule elicitation for urban cellular automata models, Case study: Wuhan, China: master's thesis, Institute for Geo-Information Science and Earth, 1-121.
20. Lamdal, S., Bliss, C.M. and Graetz, D.A. 2009. Geospatial Mapping of Soil Nitrate-Nitrogen Distribution under a

- Mixed-Land Use System. Soil Science Society of China. 19(4):434-445.
21. Lathi, J. 2008. Modelling urban growth using cellular automata: a case study of Sydney, Australia, Master Thesis, Geo-information Science and Earth Observation for Environmental Modelling and Management, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
22. Mahiny, Abdolrassoul, and Gholamalifard, Mehdi. 2007. Dynamic Spatial Modeling of Urban Growth through Cellular Automata in a GIS Environ. Int. J. Environ. Res. 1(3): 272-279.
23. Mccol, Chris. and Aggett, Graeme. 2007. Land use forecasting and hydrologic model integration for improved land use decision support, J. Environ Manage, 84(4): 494-512.
24. Salmanmahiny, Abdolrassoul and Karimi, Sahebe. 2011. Linking Urban Sprawl to Surface Runoff Potential for Soil Erosion through SLEUTH, L-THIA and RUSLE models-The Case of Gorgan Township in North East of Iran, Ecosystem Services: integrating science and practice, 4th ESP International Conference. Wageningen, the Netherlands.
25. Samat, N. 2009. Integrating GIS and CA-Markov Model in Evaluating Urban Spatial Growth. Malaysian Journal of Environmental Management, 10(1):83-99.
26. Syphard, A.D., Clarke, K.C., Franklin, J., Regan, H.M. and McGinnis, M. 2011. Forecasts of habitat loss and fragmentation due to urban growth are sensitive to source of input data, J. Environ Manage, 92: 1882-1893.
27. Xiaoqing, Wu., Yuanman, Hu., Hong, He., Fengming, Xi. and Rencang, Bu. 2010. Future Urban Growth in Shenyang City Based on SLEUTH Model. Geospatial Information Science. 13(1):32-39.
28. Zhu, Yuanhong and Day, Rick. 2005. Using SLEUTH Model for Forecastin Urban Growth, Department of Crop and Soil Sciences, the Pennsylvania State University. 1-20.

