اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

پیش‌بینی رشد مجموعه شهری تهران با استفاده از اتوماتای سلولی لجستیکی

ساناز علائی مقدم[۱]، محمد کریمی[۲]

۱- دانشجوی دوره‌ی دکتری GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (قطب علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی)

چکیده :

مجموعه‌های شهری نوع جدیدی از سکونتگاه‌های شهری هستند که در دهه‌های اخیر با رشد چشمگیر شهرنشینی بوجود آمده‌اند. رشد این مجموعه ها که متاثر از عوامل گوناگونی شامل فاکتورهای دسترسی، تناسب محیطی و همسایگی می باشد، یکی از چالشهای برنامه‌ریزان شهری در قرن ۲۱ است. مدل‌سازی رشد مجموعه های شهری در گذشته کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این تحقیق، هدف شناسایی و تحلیل تغییرات کاربری شهری و مدلسازی رشد مجموعه شهری تهران با استفاده از مدل اتوماتای سلولی لجستکی در دوره‌های زمانی ۱۳۷۹-۱۳۸۵-۱۳۹۱-۱۳۹۷ می‌باشد. ضرایب مدل فوق، بیانگر وزن بالای فاکتور فاصله از آزادراه‌ها، فاصله از خیابان‌های اصلی و ارتفاع است. دقت کلی و شاخص سازگاری نتایج مدل‌سازی برابر با ۸۹/۹۳ و ۳۷/۴۸ می‌باشد که حاکی از دقت بالای مدل‌سازی می‌باشد. مطابق پیش‌بینی انجام شده، در سال ۱۳۹۷، با ادامه روند موجود بخش‌های جنوب شرقی کرج و جنوب غربی تهران رشد قابل توجهی را تجربه خواهند نمود و افزایش شاخص تعداد و چگالی قطعات و کاهش شاخص فاصله بین قطعات شهری بیانگر فرایند پراکنده‌رویی در مجموعه شهری است.

واژه‌های کلیدی : رشد شهری، مدل‌سازی مکانی، شاخص مکانی، تصاویر ماهواره‌ای، مجموعه شهری تهران

نویسنده مکاتبه کننده : ساناز علائی مقدم
آدرس پستی : تهران، بالاتر از ونک، تقاطع میرداماد و ولیعصر، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
تلفن : ۰۹۱۲۳۴۲۲۳۸۸
آدرس پست الکترونیک : s.alaei@mail.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

طی چند دهه گذشته، بیشتر شهرهای جهان، به خصوص در کشورهای در حال توسعه، رشد شهری را تجربه نموده و شهر نشینی به یک پدیده جهانی مبدل شده است (Zhang et al 2013). هر چند این رشد منجر به افزایش کیفیت زندگی و فعالیت‌های اقتصادی گردیده است ولی از طرف دیگر انواع مشکلات محیطی و اجتماعی را بدنبال داشته است (Herold et al 2005; Achmad et al 2015) .

یکی از مفاهیمی که در سال‌های اخیر همراه با رشد چشمگیر کلانشهرها، وارد حوزه برنامه‌ریزی شهری گردیده است، مفهوم مجموعه شهری[۱] می‌باشد. محدوده مجموعه شهری، در برگیرنده تعداد قابل توجهی خوشه شهری است که اطراف هسته اقتصادی یک یا دو کلانشهر تجمع یافته‌اند (He et al 2013). در سرتاسر کره زمین، مجموعه‌های شهری بالاترین نرخ توسعه را در بین محدوده‌های شهری به خود اختصاص داده و توجهات بسیاری را جلب نموده‌اند (Gu et al 2011). قیمت زمین‌های این مجموعه بر سایر زمین‌های کشور پیشی می‌گیرند و در هسته‌های اصلی آنها زمین قیمت فوق‌العاده‌ای پیدا می‌کند. طبق بیان پاتسن (۲۰۰۸)، ناحیه مجموعه شهری دربرگیرنده یک دهم فعالیت‌های تجاری و صنعتی کل دنیاست. رشد بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی مجموعه‌های شهری، تخریب چشم‌اندازهای طبیعی و ایجاد مشکلات محیطی و بیولوژیکی مانند تغییر دما، مصرف بی‌رویه منابع، کمبود آب، آلودگی هوا، ترافیک و معظلات اجتماعی مانند افزایش زمان سفرهای روزمره را در محدوده‌ای وسیع به همراه دارد (Li et al 2004; Liu et al 2007).

مجموعه شهری تهران شامل استان‌های تهران و البرز، با وسعتی معادل ۱۸۸۰۰ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۱۵ میلیون نفر، شامل ۵۳ شهر بزرگ و کوچک است. پس از وقایع جنگ جهانی دوم، اهنگ رشد و گسترش شهر تهران شدت بسیار بیشتری پیدا کرد و جمعیت آن در فاصله ۴۵-۱۳۰۰ حدود ۱۳ برابر شده و به ۲/۷۲ میلیون نفر رسید. اما این رشد بیشتر در داخل شهر تهران بوده، طوریکه در سال ۱۳۴۵ بزرگترین کانون جمعیتی اطراف تهران، شهر کرج با جمعیتی حدود ۴۴ هزار نفر بود. از این زمان به بعد، به دلیل توسعه راه‌ها و صنایع اطراف تهران و همچنین سیاست‌های طرح‌های شهرسازی مانند طرح جامع شهر تهران و طرح مجموعه شهری تهران مبنی بر تمرکز زدایی از شهر تهران، شهرها و آبادی‌های اطراف آن به سرعت رو به گسترش نهادند.

آمار چند دهه گذشته نشان می‌دهد، در حالیکه جمعیت محدوده قانونی شهر تهران حدود ۲/۵ برابر شده، جمعیت بقیه استان ۴/۹ برابر شده است. در این دوره با کاهش نرخ رشد جمعیت ایران بین سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۷، نرخ رشد شهر تهران نیز کاهش یافته، در حالی که نرخ رشد شهرهای پیرامون تهران افزایش یافته است. نرخ رشد ظ تهران در دوره زمانی فوق ۱۵٪ است در حالی که نرخ رشد استان تهران در آن دوره ۳۰٪ بوده است (Sorensen & Okata 2011) . لذا این تحقیق جهت نیل به هدف مشترک طرح های شهرسازی در محدوده مجموعه شهری تهران مبنی بر مدیریت یکپارچه و کل‌نگری، به تحلیل رشد شهری و مدلسازی رشد آن در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۱ و هم چنین مدلسازی و پیشبینی یکپارچه رشد مجموعه شهری تهران پرداخته است.

هرچند تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه رشد شهری و مدل‌سازی آن صورت گرفته است (Barredo et al 2003; White et al 2012) اما محققان کمتر به موضوع مجموعه شهری و مدلسازی رشد در مقیاس ناحیه‌ای توجه نموده‌اند. تغییرات کاربری در محدوده مجموعه شهری به منظور ایجاد تعادل بین تقاضای منطقه برای زمین شهری و پتانسیل تغییر کاربری غیر شهری به شهری است. این پتانسیل تابعی از فاکتورهای محلی و تعاملات بین شهرهای منطقه می‌باشد (He et al 2013). به منظور مدل‌سازی رابطه بین فاکتورهای موثر بر رشد و پتانسیل رشد شهری، تاکنون

[۱] مجموعه شهری (Megalopolis) یا مگاشهر اولین بار توسط پاتریک گدس، جامعه‌شناس اسکاتلندی، در کتاب "شهرهای در حال تغییر" او در سال ۱۹۱۵ و سپس توسط اوسوالد اسپنگلر و لوئیس مامفورد استفاده گردید.

مدل‌های متنوعی ارائه شده است. سلول‌های خودکار[۲] (CA) (He et al 2008; Gonzalez et al 2015)، رگرسیون لجستیکی مکانی (Puertas et al 2014; Achmad et al 2015)، سیستم‌های عامل‌مبنا (Tian et al 2011; Hoseinali et al 2013)، شبکه عصبی مصنوعی (Pijanowskia et al 2002; Kuang 2011) و مدل‌های بهینه‌سازی مکانی (Liu et al 2008; 2010) از پرکاربردترین مدل‌های مورد استفاده در این زمینه هستند.

CA متداول‌ترین مدل مورد استفاده در مدل‌سازی رشد شهری محسوب می‌شود (Batty et al 1999; White & Engelen 2000; Barredo et al 2003; White et al 2012). در این مدل پویایی شهر با در نظر گرفتن تعاملات محلی شبیه‌سازی و الگوهای منطقه‌ای به صورت تابعی تجمعی از تغییرات محلی تعریف می‌شود (Qi et al 2004). هرچند در تحقیقات بسیاری از این مدل به منظور مدلسازی رشد شهری استفاده شده است ولی اغلب مدل‌های موجود تنها بر یک شهر متمرکز بوده و دقت آنها در مدل‌سازی رشد مجموعه‌شهری ارزیابی نگردیده است.

در این تحقیق، به منظور مدل‌سازی، ارزیابی و پیش‌بینی رشد مجموعه شهری تهران از مدل اتوماتای سلولی لجتسیکی در دوره زمانی ۱۳۷۹- ۱۳۸۵- ۱۳۹۱- ۱۳۹۷ استفاده شده است. به منظور مدل‌سازی، ابتدا فاکتورهای موثر بر مجموعه شهری تهران استخراج و نقشه های فاکتور تهیه و آماده‌سازی می‌گردد، در مرحله بعد ضرایب مدل اتوماتای سلولی لجستیکی تعیین و سپس نقشه پتانسیل رشد شهری تهیه می‌گردد. در مرحله با بدست آوردن میزان تقاضای سال ۱۳۹۱، نقشه رشد شهری در این سال پیش‌بینی می‌گردد و نتایج با نقشه رشد واقعی این سال مقایسه میشود. پس از ارزیابی نتایج تحقیق، مدل فوق به منظور پیش‌بینی رشد مجموعه شهری تهران در سال ۱۳۹۷، استفاده می‌گردد.

۲- محدوده مورد مطالعه

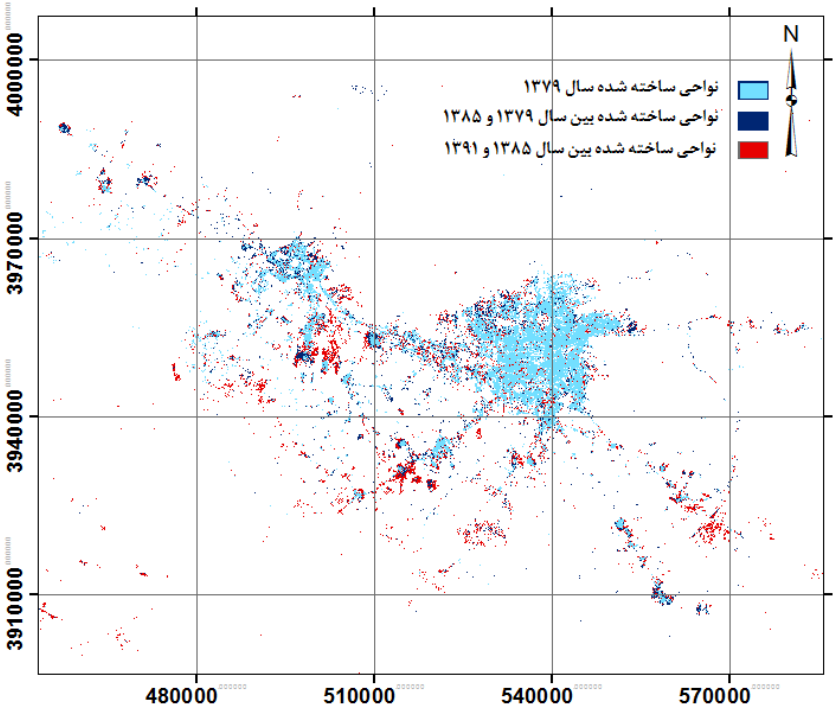
منطقه مورد مطالعه محدوده مجموعه شهری تهران می‌باشد که در عرض جغرافیایی ۵۰/۴۸ و ۵۱/۰۵ درجه و طول جغرافیایی ۳۵/۲۷ و ۳۶/۰۵ درجه واقع شده است (شکل۱). تهران بزرگ، شامل استان‌های تهران و البرز با تاثیرگذاری بر استان قم، قزوین و مازندران و با جمعیتی بالغ بر ۱۵ میلیون نفر و وسعتی معادل ۱۸۸۰۰ کیلومتر مربع یکی از مهمترین نواحی شهری در خاورمیانه و مرکز فعالیت‌های اقتصادی، تجاری، آموزشی و فرهنگی ایران است (Tayyebi et al 2011). به دلیل فراهم کردن زمینه‌های اشتغال‌زایی و ارائه خدمات رفاهی، آموزشی، درمانی و هم چنین تمرکز فعالیت‌های دولت، شهر تهران و محدوده‌های پیرامون آن به عنوان بزرگترین مقصد مهاجرت از اقصی نقاط کشور، با سرعت بالایی گسترش یافته‌اند (Arsanjani et al 2013). سطله و نفوذ شهر تهران نه تنها بر شهرها و روستاهای پیرامون خود، بلکه بر سراسر کشور گسترش یافته‌است (رضایی و وسعت ۱۳۸۹).

۳- تحلیل رشد مجموعه شهری تهران

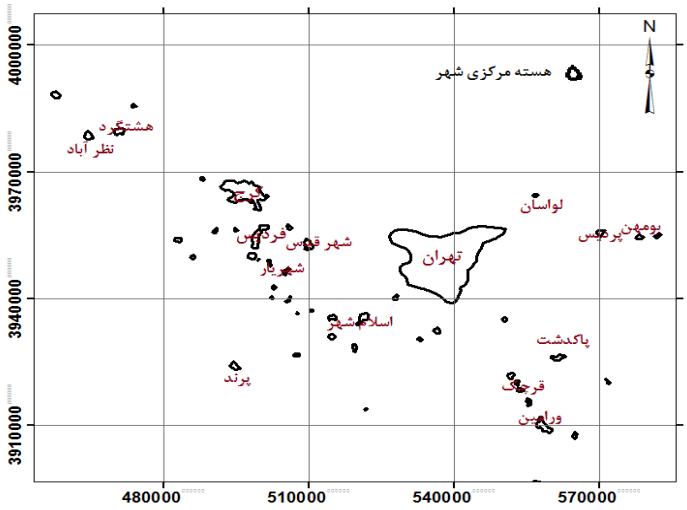
تصاویر ماهواره‌های Landsat 4,5,8، به منظور پایش رشد گذشته و استخراج کلاس‌های کاربری در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ استفاده گردیده‌است. کلاس‌بندی تصاویر در نرم افزار ENVI 4.**0** با استفاده از روش Maximum Likelihood انجام شده‌است. ابتدا تصاویر به ۸ کلاس بلوک ساختمانی، کشاورزی، راه، بایر، کوهستانی، آب، پارک و فضای سبز و صنعتی کلاسبندی شده و به منظور اعتبار سنجی ضریب کاپای کلاسبندی محاسبه گردید. این ضریب برای تصاویر سال های ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ به ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۸۰ و ۰/۸۶ است. در مرحله بعد سلولها به دو کلاس ساخته شده شامل بلوک ساختمانی، صنعتی و راه و ساخته نشده شامل باقی کلاسها، تقسیم گردیدند. با توجه به ابعاد منطقه، مطالعات گذشته و همچنین بررسی پیکسل سایزهای مختلف، ابعاد سلولها ۱۰۰*۱۰۰ متر در نظر گرفته شده‌است.

[2]Cellular Automata

نقشه رشد شهری بین سالهای ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است (شکل ۱). همچنین هسته مرکزی شهرها (شکل ۲) به صورت دستی با استفاده از نقشه چگالی کاربری های ساخته شده، بطوریکه نواحی با چگالی بالا را در بر داشته باشد، استخراج شده است. رشد نواحی شهری در دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۵ بیشتر در نواحی حاشیه تهران و کرج به خصوص مناطق شمالی این دو شهر بوده و در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۱ نواحی به نسبت دورتر از تهران مانند مناطق جنوب غربی اسلام شهر، اطراف پاکدشت، ماهدشت و شرق کرج رشد نموده اند. نرخ رشد سالانه در دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۱ تقریبا ۱/۴ برابر دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۵ می باشد.



شکل ۱: رشد نواحی ساخته شده بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۱ در محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: هسته مرکزی شهرها

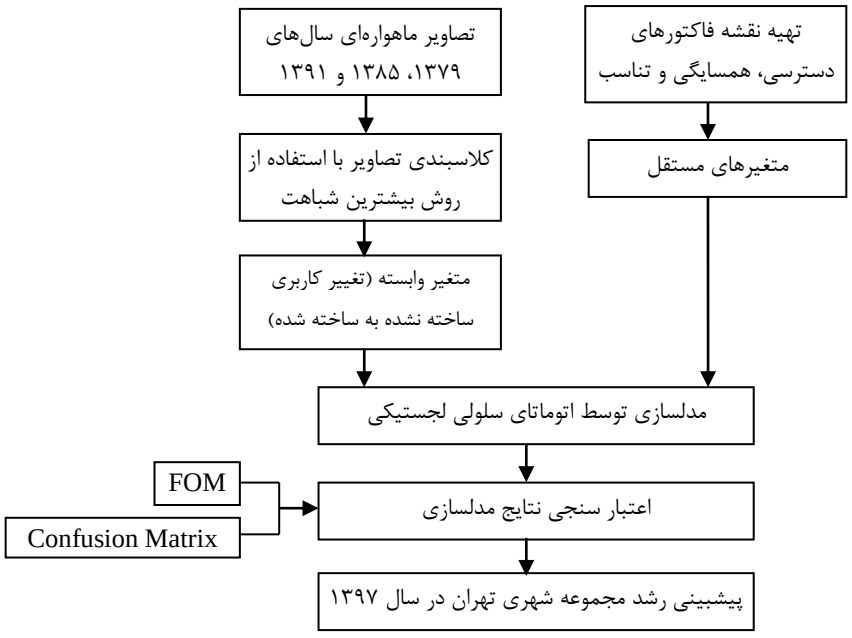
رشد جمعیت در مجموعه شهری تهران بیشتر تحت تاثیر شهرهای حاشیه تهران و کرج است. به عنوان مثال نرخ رشد جمعیت شهریار ۹/۶ درصد است، در حالی که نواحی داخلی تهران رشد جمعیت ۲/۲ درصد را تجربه کرده‌اند (Gazetteer 2012). نواحی جنوب غرب تهران و بخصوص جنوب شرق کرج، رشد قابل ملاحظه‌ای را تجربه نموده‌اند.

نرخ رشد شهری در هسته مرکزی تهران ۴/۹۱٪، کرج ۴/۸۲٪، شهرهای اصلی ۸/۴۹ ٪ و سایر شهرها ۷/۳۶٪ و رشد شهری در حاشیه هسته مرکزی تهران ۵/۸٪ ، کرج ۷/۷۹٪، شهرهای اصلی ۳/۶۵٪ و سایر شهرها ۴/۳۱٪ است (شکل ۳). نرخ رشد در هسته مرکزی شهرهای اصلی نسبت به نواحی مادرشهر و کلانشهر، بیشتر بوده، در حالی که رشد حاشیه‌ای اطراف تهران و کرج بیشتر از شهرهای دیگر محدوده است.

شکل ۳: نرخ رشد داخلی و حاشیه‌ای در هر گروه از شهرها از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵

۴- مواد و روشها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های شبکه راه‌ها (شامل بزرگراه‌ها، آزادراه‌ها، راه‌های اصلی و خیابانها)، کاربری زمین‌های مجموعه شهری تهران، مدل رقومی زمین و ایستگاه‌های مترو می‌باشد. شبکه راه ها و مدل رقومی زمین توسط سازمان نقشه برداری کشور و کاربری پارسل‌ها محدوده مجموعه شهری توسط شهرداری تهران تهیه شده است. در تحقیق پیشرو، تصاویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه کلاسبندی، نقشه‌های فاکتور تهیه می‌شوند و سپس با استفاده از مدل اتوماتای سلولی لجستیکی با یکدیگر تلفیق شده و نقشه پتانسیل رشد مجموعه شهری تهیه می‌گردد. در مرحله بعد میزان تقاضای رشد تعیین و کاربری های شهری تخصیص می‌گردد. دقت نقشه رشد مجموعه شهری تهیه شده با استفاده از دو شاخص دقت کلی و میزان سازگاری (FOM) ارزیابی و در آخر بار دیگر مدل برای سال افق اجرا شده، و نقشه رشد شهری در آن سال پیش‌بینی و توسط شاخص‌های مکانی تحلیل می‌شود. مراحل انجام تحقیق در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴: مراحل مدلسازی رشد مجموعه شهری با استفاده از مدل اتوماتای سلولی لجستیکی

۴-۱- اتوماتای سلولی لجستیکی

فاکتورهای موثر بر رشد مجموعه شهری تهران، با توجه به مطالعات انجام شده در مقیاس ناحیه‌ای، طرح‌های شهرسازی محدوده مورد مطالعه و داده‌های موجود انتخاب شده‌اند. این فاکتورها شامل شیب، ارتفاع، تراکم کاربریهای ساخته شده، فاصله از هسته اصلی شهرها، فاصله از ایستگاه مترو، فاصله از نواحی عمده صنعتی، فاصله از بزرگراه ها و فاصله از جاده‌ها اصلی می‌باشند (Al-ahmadi et al 2009; He et al 2013; Shafizadeh-Moghadam 2015; Gonzales et al 2015).

در این تحقیق مدل رگرسیون لجستیکی به منظور مدل‌سازی رابطه بین رشد شهری و فاکتورهای موثر استفاده شده‌است (Wu 2002; Achmad et al 2015). در این مدل احتمال رشد با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد:

$$p_i^0 = \frac{e^z}{1+e^z} \qquad z_i = b_0 + b_1 x_i^1 + b_2 x_i^2 + \cdots . b_n x_i^n \qquad (۱)$$

p_i^0 احتمال تبدیل سلول از یک سلول ساخته نشده به ساخته شده و بین ۰ و ۱ متغیر می‌باشد. zi ترکیب خطی از مقادیر فاکتورهای موثر (x_i^n) و b_i ضرایب تاثیر فاکتورهای فوق هستند. رابطه ۱، با در نظر گرفتن محدودیت های رشد به صورت باینری و متغیر تصادفی به صورت زیر به کار گرفته می‌شود:

$$P_i = p_i^0 * (1 + (-ln\gamma)^\alpha) * \Omega_i \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، Ω_i ۰ یا ۱ است (عدد صفر محدودیت رشد در سلول i را نشان می دهد). γ پارامتر تصادفی است که بین ۰ و ۱متغیر می‌باشد. α نیز پارامتری به منظور کنترلمیزان اثر γ است.

۴-۲- تخصیص کاربری شهری و ارزیابی مدل

میزان تقاضای رشد نواحی ساخته شده، با استفاده از مدل رگرسیون خطی و مساحت نواحی ساخته شده دوره‌های زمانی گذشته تعیین می‌گردد. سپس میزان تقاضا به ازای یک سال تعیین و در هر گام از CA با استفاده از نقشه پتانسیل رشد شهری تهیه شده در بخش قبل، نقشه رشد شهری طبق رابطه زیر تهیه می‌شود (Lin & Li 2015):

$$S_i^t = \begin{cases} 1 & p_i \geq Threshold \\ 0 & p_i \leq Threshold \end{cases} \qquad (۳)$$

S_i^t در صورتی که برابر با ۱ باشد، سلول تبدیل به سلول ساخته شده می‌گردد و در غیر این صورت، کاربری قبلی خود را حفظ می‌کند. میزان Threshold هر گام با توجه به مساحت تقاضا، تعیین می‌گردد. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی جریانات شهری، از ماتریس انتقال[3] و همچنین شاخص FOM (Pontius et al. 2008) مطابق رابطه ۴ استفاده شده‌است:

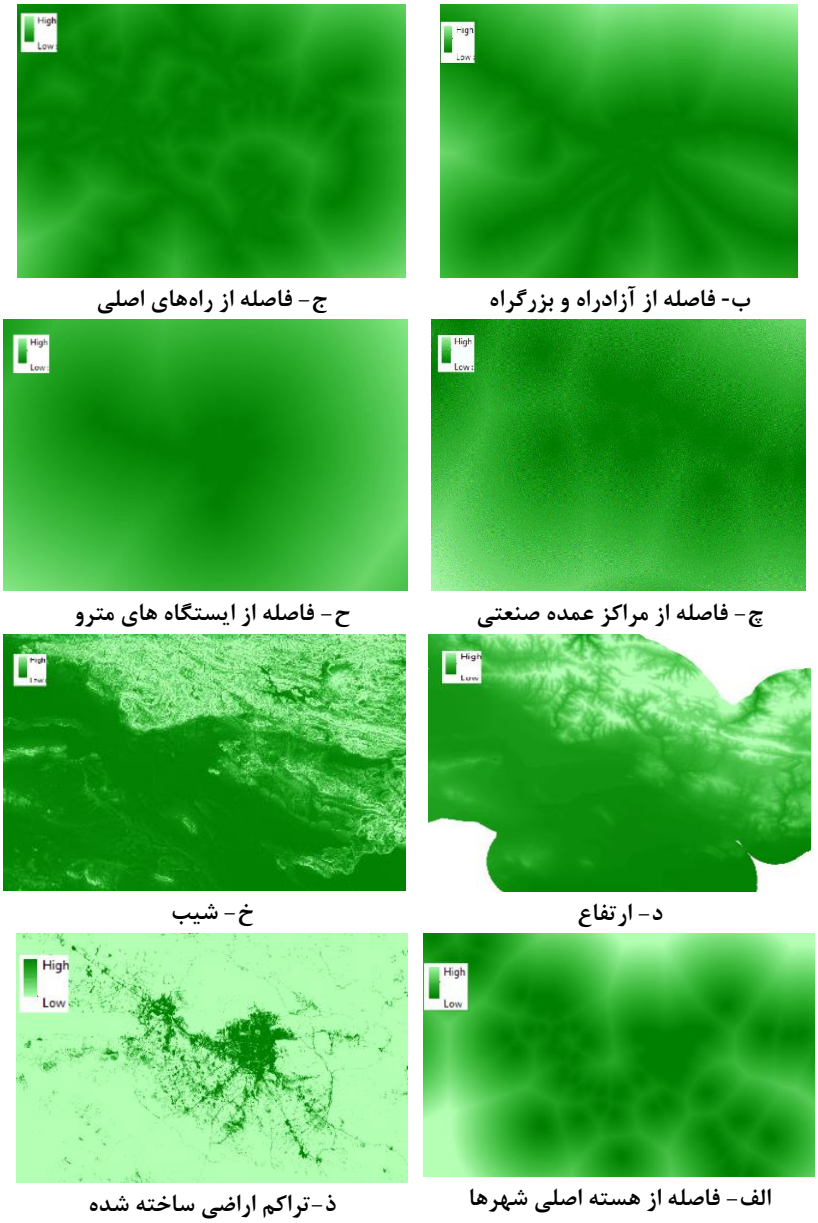
$$FOM = \frac{UrUr}{UrNUr + NUrNUr + UrUr} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق $\boldsymbol{UrUr}$ مساحت نواحی است که در واقعیت کاربری شهری داشته و طبق مدل نیز شهری پیش‌بینی گردیده، $\boldsymbol{UrNUr}$ نواحی که در واقعیت غیرشهری و طبق مدل شهری پیش‌بینی شده و $\boldsymbol{NUrNUr}$ نواحی که در واقعیت شهری و طبق مدل غیرشهری پیش‌بینی شده‌اند. به منظور ارزیابی نقش فاکتور جریانات شهری در مدل‌سازی رشد شهری، مدل ارائه شده در این تحقیق ($\boldsymbol{CA_LR_{CGII}}$) با مدل مشابهی که فاکتور جریانات شهری از آن حذف گردیده (**CA_LR**) مقایسه شده‌است.

[3] Confusion Matrix

۵- پیاده‌سازی و نتایج

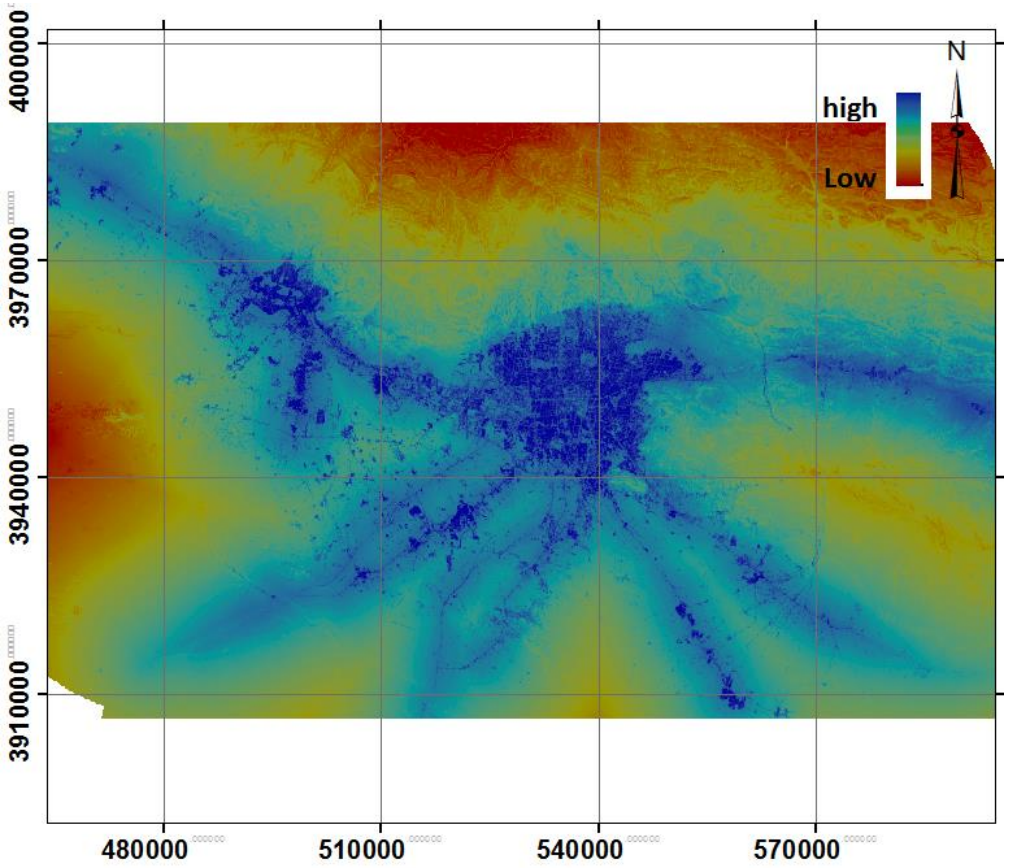
پس از انجام پردازش‌های مکانی بر روی داده‌ها با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10، نقشه‌های فاکتور همانند شکل ۵ تهیه شده‌اند. نقشه محدودیت‌های رشد شامل محدوده‌های آبی، نظامی، تاریخی و مذهبی، از نقشه کاربری‌های مجموعه شهری استخراج گردیده‌است. فاکتور شیب و ارتفاع با استفاده از نقشه DEM، فاکتور تراکم نواحی ساخته شده با استفاده از تحلیل Focal و با در نظر گرفتن کاربری‌های ۳ سلول پیرامون تهیه گردیده‌است. هسته اصلی شهرها، محدوده‌های با تراکم بالای نواحی ساخته شده در نظر گرفته شده و از طریق نقشه تراکم نواحی ساخته شده بدست آمد. فاکتور فاصله از هسته اصلی شهرها، مترو، نواحی صنعتی عمده، جاده و بزرگراه به ترتیب از نقشه هسته اصلی شهرها، ایستگاه‌های مترو، کاربری محدوده مجموعه شهری و شبکه راه‌ها و با استفاده از تحلیل Euclidean distance تهیه شده‌است.



ب- فاصله از آزادراه و بزرگراه
ج- فاصله از راه‌های اصلی
چ- فاصله از مراکز عمده صنعتی
ح- فاصله از ایستگاه های مترو
د- ارتفاع
خ- شیب
الف- فاصله از هسته اصلی شهرها
ذ-تراکم اراضی ساخته شده

شکل ۵: نقشه فاکتورهای موثر بر رشد شهری

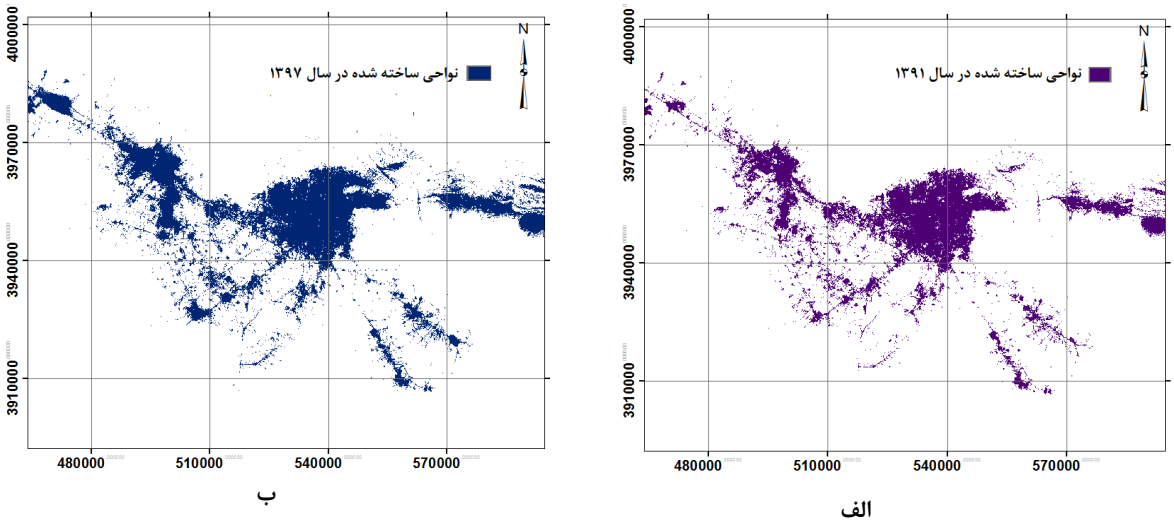
به منظور اجرای مدل ابتدا فاکتورهای موثر بر رشد شهر به فاصله ۰ و ۱ نرمال و ۱۰۰۰۰ نقطه نمونه شامل سلول‌های ساخته شده و ساخته نشده جهت محاسبه پارامترهای مدل انتخاب می‌شوند. پارامترهای مدل CA_LR در جدول ۱ نشان داده شده‌است. بیشترین وزن مربوط به فاکتور فاصله از راه‌های اصلی و کمترین وزن مربوط به فاکتور فاصله از مترو است. نقشه پتانسیل رشد شهری حاصل از رابطه ۱ در شکل ۶ نمایش داده شده‌است. با محاسبه میزان تقاضا به روش بیان شده، نقشه رشد مجموعه شهری همانند شکل ۷.الف تهیه می‌گردد.



شکل ۶: نقشه پتانسیل رشد شهری در سال ۱۳۹۱ با استفاده از مدل *CA_LR*

جدول ۱: پارامترهای مدل اتوماتای سلولی لجستیکی

متغیر وابسته	b۰	فاصله از هسته مرکزی شهرها	فاصله از آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها	فاصله از راه های اصلی	فاصله از مراکز صنعتی	فاصله از ایستگاه‌های مترو	شیب	ارتفاع	چگالی اراضی ساخته شده
ضریب	۰.۴۴	-۰.۶۹	-۱.۱۰	-۱.۹۷	-۰.۰۴	۰.۰۷	-۰.۶۵	۰.۸۹	۰.۶۰



شکل ۷: نقشه نواحی ساخته شده مجموعه شهری تهران با استفاده از مدل *CA_LR* در سال الف) ۱۳۹۱ و ب) ۱۳۹۷

مدلسازی با استفاده از ماتریس انتقال و FOM ارزیابی و نتایج در جدول ۲ نمایش داده شده‌است. دقت کلی مدل برابر با ۸۹/۹۳ است. دقت مدلسازی کاربری‌های ساخته شده برابر با ۴۵/۹۴ می‌باشد. همچنین FOM مدل *CA_LR* به ترتیب برابر است با ۳۷/۴۸. نتایج فوق حاکی از قابل قبول بودن و دقت نسبتا بالای مدل‌سازی رشد مجموعه شهری تهران با استفاده از مدل پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۲: ماتریس انتقال و FOM نتایج مدلسازی

		در واقعیت				
		نواحی ساخته شده	نواحی ساخته نشده	∑	Accuracy	FOM
شبیه سازی	نواحی ساخته شده	۵۸۰۴۰	۶۸۳۰۹	۱۲۶۳۴۹	۴۵/۹۴	
	نواحی ساخته نشده	۲۸۴۹۸	۸۰۶۷۱۵	۸۳۵۲۱۳	۹۶/۵۹	
	Total Accuracy			۹۶۱۵۶۲	۸۹/۹۳	۳۷/۴۸

به منظور پیش‌بینی رشد مجموعه شهری در سال ۱۳۹۷، با مبنا قرار دادن نقشه نواحی ساخته شده سال ۱۳۹۱، مدل پیشنهادی (با ضرایب محاسبه شده همانند جدول ۱) اجرا می‌گردد. نقشه رشد مجموعه شهری در سال ۱۳۹۷، در شکل ۷.ب نمایش داده شده است. مطابق این شکل، محدوده شهرهای مابین تهران و کرج و محدوده جنوب کرج، با رشد نواحی شهری بیشتری مواجه خواهند شد. به منظور تحلیل فرم و الگوی رشد قطعات شهری، شاخص‌های مکانی تعداد قطعات شهری، چگالی قطعات (تعداد قطعات نسبت به مساحت منطقه)، اندکس بزرگترین قطعه (مساحت بزرگترین قطعه نسبت به مساحت محدوده ضربدر ۱۰۰)، میانگین مساحت قطعات، میانگین بعد فرکتالی قطعات و متوسط فاصله قطعات برای نقشه نواحی شهری سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۷ میلادی محاسبه شد. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. افزایش تعداد و چگالی قطعات و کاهش فاصله بین قطعات شهری بیانگر وجود فرایند پراکنده‌رویی در مجموعه شهری می‌باشد. همچنین در سال ۱۳۹۷ قطعات، ابعاد بزرگتر و شکل ساده‌تری خواهند داشت.

جدول ۳: مقادیر شاخص‌های مکانی

سال			
2018	2012	نماد شاخص مکانی	شاخص مکانی
3266	2834	NP	قطعات شهری تعداد
0.25	0.21	PD	قطعات چگالی
7.37	4.94	LPI	بزرگترین قطعه اندکس
51.08	38.80	Area_MN	میانگین مساحت قطعات
1.026	1.029	FRAC_MN	فرکتالی بعد میانگین
368.80	379.77	Enn_MN	فاصله قطعات متوسط

۶- نتیجه‌گیری

در مدل پیشنهادی نقشه‌های فاکتور رشد شامل دسترسی، تناسب فیزیکی و همسایگی با استفاده از اتوماتای سلولی لجستیکی به منظور مدلسازی رشد مجموعه شهری تهران در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۱ تلفیق شده‌است. پارامترهای مدل فوق که با استفاده از ۱۰۰۰۰ نمونه آموزشی تهیه گردیده، بیانگر وزن بالای فاکتور فاصله از بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی و رابطه منفی آنها با رشد شهری و اهمیت کم فاکتور فاصله از نواحی عمده صنعتی می‌باشد. دقت کلی و FOM بدست آمده از اجرای مدل فوق به ترتیب٪ ۸۹/۹۳ و ٪ ۳۷/۴۸ است. نتایج فوق حاکی از قابل قبول بودن و دقت نسبتا بالای مدل‌سازی رشد مجموعه شهری تهران با استفاده از مدل پیشنهادی می‌باشد.

مطابق نقشه پیش‌بینی رشد مجموعه شهری تهران در سال ۱۳۹۷، محدوده شهرهای مابین تهران و کرج و محدوده جنوب کرج، با رشد نواحی شهری بیشتری مواجه خواهند شد. همچنین گرایش بالای رشد شهری در اطراف شبکه حمل و نقلی کلان محدوده، نقش پراهمیت این فاکتور را در روند رشد مجموعه شهری نشان می‌دهد. شهرهای نزدیک به یکدیگر مانند بوهمن و رودهن، شهریار و اندیشه و ملارد، شهر جدید هشتگرد و هشتگرد تقریبا به یکدیگر پیوسته شده، از طرف دیگر میزان رشد پراکنده قطعات شهری ما بین کلان شهرها و شهرهای اصلی مجموعه افزایش یافته است. افزایش تعداد و چگالی قطعات و کاهش فاصله بین قطعات شهری بیانگر فرایند پراکنده‌رویی در مجموعه شهری می‌باشد. با دستیابی به دقت قابل قبول در این مدلسازی، نقشه پیش‌بینی رشد مجموعه شهری ابزاری مناسب برای برنامه ریزان شهری جهت تحلیل چگونگی رشد شهر در صورت ادامه سناریوی موجود می‌باشد.

به منظور انجام تحقیقات آینده در این زمینه، ترکیب مدل های پایین به بالا مانند **CA** با مدل‌های بالا به پایین به منظور مدل‌سازی رشد مجموعه شهری، بررسی نقش تعاملات شهری در رشد مجموعه های شهری و چگونگی تاثیر فاکتورهای کلان و محلی بر رشد شهری، بررسی شاخص‌های مکانی به صورت محلی، همچنین چگونگی لحاظ نمودن الگوهای رشد شهری در روند مدل‌سازی آن و ارزیابی مدل این تحقیق در مجموعه‌های شهری دیگر در کشور پیشنهاد می‌گردد.

مراجع و منابع

ر، رضایی و ا، اوغلی وسعت، "بررسی حوزه نفوذ کلان شهر تهران با روش زمانی و مدل جاذبه (گرانشی)،" *آمایش سرزمین*, ۱۳۸۹، (۳)۵-۲۸.

طرح مجموعه شهری تهران و شهرهای اطراف، وزارت مسکن و شهرسازی، شورای عالی شهرسازی و معماری ایران، ۱۳۸۲.

As. Achmad, et al., "Modeling of urban growth in tsunami-prone city using logistic regression: Analysis of Banda Aceh, Indonesia", Applied Geography, 62, 237-246, 2015.

Kh. Al-Ahmadi, et al, "Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia. ecological complexity", 6, 80–101, 2009.

J.J. Arsanjani, M. Helbich, and E.N. Vaz, "Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: The case of Tehran." Cities, 32, 33–42, 2013.

M. Batty, Y. Xie, Z. Sun, "Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata." Computer, Environment & Urban System, 23, 205–233, 1999.

J. Barredo, et al., "Modelling dynamic spatial processes: Simulation of urban future scenarios through cellular automata." Landscape and Urban Planning, 64, 145–160, 2003.

CH. He, et al., "Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata", Landscape and Urban Planning, 86, 71-91, 2008.

Ch. He, et al., "Modeling the urban landscape dynamics in a megalopolitan cluster area by incorporating a gravitational field model with cellular automata.", Landscape and Urban Planning, 113, 78– 89, 2013.

M. Herold, H. Couclelis, and K. C. Clarke, "The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change.", Computers, Environment and Urban Systems, 29, 369–399, 2005.

F. Hosseinali, A.A. Alesheikh, and F. Nourian, "Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city.", Cities, 31, 105–113, 2013.

X. Li, and A.G.O., Yeh, "Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. Landsc.", Urban Plan, 69, 335–354, 2004.

J. Lin, and X. Li, "Simulating urban growth in a metropolitan area based on weighted urban flows by using web search engine.", International Journal of Geographical Information Science, 29, 10, 1721-1736, 2015.

Y. Liu, et al. "An integrated GIS based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe.", Landscape Urban Planing, 82, 233–246, 2007.

X.P. Liu, et al. "A bottom-up approach to discover transition rules of cellular automata using ant intelligence.", International Journal of Geographical Information Science, 22, 1247–1269, 2008.

X. Liu, et al., "A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data.", Landscape Ecol, 25, 671–682, 2010.

X. Liu, et al., "Simulating urban growth by integrating landscape expansion index (LEI) and cellular automata.", International Journal of Geographical Information Science, 28, 1, 148–163, 2014.

Gazetteer, World." <http://www.world-gazetteer.com/>." 2012.

P.B. Gonzalez, F. Aguilera-Benavente, and M. Gomez-Delgado, "Partial validation of cellular automata based model simulations of urban growth: An approach to assessing factor influence using spatial methods.", Environmental Modeling & Software, 69, 77_89, 2015.

C. Gu, et al., "Climate change and urbanizationin the Yangtze River Delta.", Habitat International, 35, 544–552, 2011.

W. Kuang, "Simulating dynamic urban expansion at regional scale in Beijing–Tianjin–Tangshan Metropolitan Area.", Journal of Geographical Science, 21, 1, 317–330, 2011.

R.G. Pontius, et al. “Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change.”, The Annals of Regional Science, 42, 1, 11–37, 2008.

B.C. Pijanowskia, et al. “Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model.”, Computers, Environment and Urban Systems, 26, 6, 553–575, 2002.

O.L. Puertas, Henríquez, and F.J. Meza, “Assessing spatial dynamics of urban growth using an integrated land use model.Application in Santiago Metropolitan Area, 2010–2045.”, Land UsePolicy, 38, 415–425, 2014.

Y. Qi, et al. “Evolving core coreperiphery interactions in a rapidly expanding urban landscape: The case of Beijing.”, Landscape Ecology, 19, 375–388, 2004.

H. Shafizadeh-Moghadam, and M. Helbich, “Spatiotemporal variability of urban growth factors: A global and local perspective on the megacity of Mumbai.”, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 35, 187–198, 2015.

A. Sorensen, and J. Okata, “Megacities: Urban Form, Governance, and Sustainability”, springer, 84-87, 2012.

A. Tayyebi, B.Ch. Pijanowski, and B. Pekin, “Two rule-based Urban Growth Boundary Models applied to the Tehran.”, Applied Geography, 31, 908-918, 2011.

R. White, I. Uljee, and G. Engelen, “Integrated modelling of population, employment and land-use change with a multiple activity-based variable grid cellular automaton.”, International Journal of Geographical Information Science, 26, 7, 1251–1280, 2012.

J. Wu, and J.L. David, “A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: Theory and applications.”, Ecological Modelling, 153, 7–26, 2002.

J.Y. Xiao, et al. “Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. Landsc.” Urban Planning, 75, 69–80, 2006.

Zh. Zhang et al., “Identifying determinants of urban growth from a multi-scale perspective: A case study of the urban agglomeration around Hangzhou Bay, China “, Applied Geography, 45, 193-202, 2013.