

فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی  
دوره ۱۴، شماره ۴ (پیاپی ۴۹)، زمستان ۱۳۹۸  
شاپای چاپی ۵۹۶۸-۲۵۳۸ شاپای الکترونیکی ۵۹۵۵X-۲۵۳۸  
<http://jshsp.iaurasht.ac.ir>

مقاله پژوهشی  
صص. ۸۹۱-۹۱۲

## شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و دینامیک شهری (مطالعه مورد: شهر مراغه)

هوشنگ سرور\* - استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰

### چکیده

در دهه‌های اخیر همگام با رشد شهرنشینی، مدل‌های مختلفی جهت بررسی و پیش‌بینی رشد شهری وارد مباحث شهری شده است. در این زمینه، ماشین‌های خودکار سلولی در چهارچوب رویکرد سیستمی وارد مباحث جغرافیایی شد. مدل‌های مختلفی به منظور ایجاد قوانین گذار در ماشین‌های خودکار سلولی ترکیب می‌شوند که در این زمینه می‌توان به زنجیره مارکوف اشاره کرد. در زنجیره مارکوف، حالت آینده یک سیستم تنها وابسته به حالت پیشین سیستم است، درحالی‌که در ماشین‌های خودکار سلولی، حالت آینده یک سیستم نه تنها وابسته به حالت سابق، بلکه وابسته به حالت همسایگان نیز می‌باشد و همین ویژگی است که به آن ماهیت فضایی یا جغرافیایی می‌بخشد. در این تحقیق، گسترش فضایی شهر مراغه همراه با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی- زنجیره مارکوف شبیه‌سازی می‌شود. به منظور تهیه نقشه‌های پوشش زمین، پایش رشد شهری و مدل‌سازی تغییرات پوشش-های زمین، از تصاویر چندزمانه سنجنده‌های ماهواره‌های لندست در قالب نرم‌افزارهای Arc GIS، IDRISI و ENVI استفاده شد. پایش الگوی رشد شهر در طی تقریباً ۳۰ سال گذشته نشان می‌دهد که روند توسعه شهر مراغه عمدتاً در جهات شرقی و بر روی زمین‌های بایر این مناطق صورت گرفته است. شهر مراغه در بین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹ ه.ش یک رشد نسبتاً سریعی را تجربه کرده است و پس از آن نیز به صورت پیوسته عمدتاً به سمت شرق توسعه یافته است. شبیه‌سازی فضایی الگوی رشد شهر نشان می‌دهد که در سال‌های آتی این روند همچنان تداوم خواهد یافت. بطوریکه در طی ۱۷ سال آینده در حدود ۷۷۴ هکتار از اراضی بایر و در حدود ۴۱۷ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات به اراضی ساخته شده (عمدتاً شهر مراغه) تبدیل خواهند شد. همپوشانی فازی لایه‌های کاربری اراضی، شیپ، فاصله از شهر، فاصله از جاده‌های اصلی، حریم رودخانه و زمین‌شناسی نشان می‌دهد که مکان‌یابی اولیه توسعه فیزیکی شهر مراغه به طور مناسبی صورت گرفته و بهتر است روند فعلی توسعه با تمایل بیشتر به سمت جنوب شرق، اجتناب از ساخت و ساز در شیپ‌های تند و همچنین جلوگیری از تغییر کاربری اراضی کشاورزی به شهری تداوم یابد.

واژه‌های کلیدی: دینامیک شهری، ماشین‌های خودکار سلولی، زنجیره مارکوف، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، شهر مراغه

#### نحوه استناد به مقاله:

سرور، هوشنگ. (۱۳۹۸). شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و دینامیک شهری (مطالعه مورد: شهر مراغه). مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، ۱۴(۴)، ۸۹۱-۹۱۲. [http://jshsp.iaurasht.ac.ir/article\\_672121.html](http://jshsp.iaurasht.ac.ir/article_672121.html)

## مقدمه

در طی ۱۰۰ سال گذشته، دو تغییر عمده در جوامع انسانی صورت گرفت. نخست، جمعیت جهان چهار برابر شده و به ۶/۳ میلیارد نفر رسید و دوم اینکه انسان به یک گونه شهرنشین تبدیل شد. بطوریکه در سال ۲۰۰۶ افزون بر ۵۰ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند. علاوه بر آن، تعداد شهرهای بزرگ در سراسر دنیا به صورت ناگهانی افزایش یافت (Anderson et al., 2008: 3). در دهه‌های پیش‌رو، افزایش سریع شهرهای بزرگ در کشورهای در حال توسعه و دگرگونی چشم‌اندازهای شهری در کشورهای توسعه یافته از زمره بزرگترین چالش‌ها در رابطه با رفاه جوامع انسانی و محیط زیست جهانی خواهد بود (Netzband et al., 2007: 1). الگوهای رشد و سرعت توسعه شهری عمدتاً توسط رشد جمعیت و شرایط اقتصادی تعیین می‌شود (Yang and Li, 2013: 186). در این زمینه رویکردهای مختلفی برای مدل‌سازی توسعه شهری وجود دارد. لی‌یو (۲۰۰۹) این رویکردها را در قالب پنج رویکرد مورد بحث قرار می‌دهد: (۱) رویکرد اکولوژیکی شهری: این رویکرد مبتنی بر این عقیده است که رفتار انسان می‌تواند از طریق اصول اکولوژیکی از قبیل رقابت، گزینش، توالی و سلطه تعیین شود. این رویکرد، به مکتب اکولوژی انسانی شیکاگو در دهه ۱۹۲۰ برمی‌گردد. (۲) رویکرد فیزیکی اجتماعی: که مبتنی بر مفهوم تعامل انسان در فضا می‌باشد و اولین بار به عنوان قیاسی مستقیم به فیزیک توسعه پیدا کرد. به عبارت دیگر، قانون جاذبه نیوتن را به عنوان قیاسی برای تعامل اجتماعی بین فضاها بکار می‌گیرد و بیان می‌دارد که تغییر فعالیت‌های انسانی از قبیل تغییرات در مسکن و اشتغال بین مکان‌ها رابطه مستقیمی با حجم فعالیت در مبدا و مقصد، و رابطه معکوسی با هزینه جداکننده آنها (برحسب فاصله یا زمان) دارد. (۳) رویکرد نئوکلاسیک: رویکرد تعادل اقتصادی یا نئوکلاسیک ریشه در سنت نظریه‌های اقتصادی دارد. مدل مکان کشاورزی فون تونن می‌تواند به عنوان اولین مدلی در نظر گرفته شود که تحت این رویکرد توسعه یافته است. رویکرد نئوکلاسیک بر این باور است که فرایند توسعه شهری اساساً یک پدیده اقتصادی است که توسط مکانیزم‌های بازار و نیروهای طبیعی رقابت از جمله فعالیت‌های اقتصادی و گروه‌های اجتماعی در یک ناحیه شهری هدایت می‌شود. (۴) رویکرد رفتاری: این رویکرد در نتیجه انتقاد از مفاهیم بسیار ساده‌انگارانه رفتار انسانی در رویکردهای اکولوژیکی شهری و نئوکلاسیک توسعه پیدا کرد. برخلاف رویکردهای اثبات‌گرای آنان که تنها یک جنبه محدود از رفتار انسانی را مورد بررسی قرار می‌دهند، رویکرد رفتاری به دنبال تمرکز بر روی انگیزه‌های در پس رفتار فردی است و (۵) رویکرد سیستم‌ها: این رویکرد بر مفاهیم تئوری سیستم‌های عمومی استوار است. تمامی عناصر درون سیستم از طریق مکانیزم‌های اجتماعی، اقتصادی و فضایی در تعامل با یکدیگر هستند در حالیکه با عناصر محیط نیز در تعامل می‌باشند. اهمیت هر یک از عناصر تنها وابسته به خود نیست بلکه روابط آن با دیگران نیز دارای اهمیت است.

اگرچه تحلیل سیستم‌ها براساس تئوری سیستم‌های عمومی باعث شد که به شهرها به شیوه‌های پیچیده نگریسته شود اما این رویکرد اساساً استاتیک بوده و توانایی آن در رابطه با پدیده‌های با رشد دینامیک محدود می‌شود. از اینرو، در سه دهه گذشته، مطالعه فرایندهای غیرخطی و سیستم‌های باز منجر به برداشت‌های جدیدی از سیستم‌های پیچیده و تکامل آنها گردید. بر این اساس، شهرها به عنوان سیستم‌های پیچیده و باز در نظر گرفته می‌شوند که توانایی خودسازماندهی دارند (Liu, 2009: 16). در همین چارچوب، مدل‌های شهری مبتنی بر تکنیک اتوماتا (ماشین‌های خودکار) پدید آمدند که در عمل، ماشین‌های خودکار سلولی<sup>۱</sup> ساده-ترین و در عین حال متداول‌ترین آنها می‌باشند. یک ماشین خودکار، موجودیتی است که ویژگی‌های مکانی و غیرمکانی خاص خود را دارد اما همچنین دارای مکانیزمی برای پردازش اطلاعات براساس ویژگی‌های خاص خود، قوانین و ورودی‌های خارجی می‌باشد. در ماشین‌های خودکار سلولی اطلاعات می‌تواند پردازش شده و بین سلول‌ها (یا اتوماتاها) انتقال یابد، که انتشار از طریق ماشین‌های خودکار همسایه<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد (Liu, 2009: 18).

مجاورت<sup>۳</sup>، یکی از عناصر فضایی اساسی است که مسئول پویایی و دینامیک بسیاری از رخدادهای تغییر می‌باشد. نواحی، تمایل به تغییر به کلاسی دارند که نزدیک آن کلاس هستند (یعنی پدیده گسترش). این امر می‌تواند به طور بسیار موثری با استفاده از ماشین‌های خودکار سلولی مدل‌سازی شود. یک ماشین خودکار سلولی بطور مستقل حالت یا وضعیت خود را براساس حالت قبلی و همسایگان بلافاصل خود مطابق با یک قانون خاص تغییر می‌دهد (Eastman, (b), 2012: 227). بنابراین، حالت یک سلول در

<sup>1</sup> - Cellular Automata

<sup>2</sup> - Neighboring Automata

<sup>3</sup> - Proximity

یک زمان مشخص بستگی به حالت خاص خود و حالت‌های همسایگان خود در گام زمانی قبلی دارد (Liu, 2009: 30). وایت<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) اتوماتای سلولی را بدین صورت تعریف می‌کند: یک فضای سلولی گسسته، همراه با مجموعه‌ای از حالت‌های احتمالی سلول و مجموعه‌ای از قوانین گذار که در آن، حالت هر سلول تابعی از حالت سلول‌های موجود در همسایگی آن می‌باشد (Garcia et al, 2011). نخستین و معروف‌ترین کاربرد اتوماتای سلولی، «بازی زندگی» جان کانوی<sup>۲</sup> می‌باشد. در این بازی از بازی‌کنندگان خواسته می‌شود که چکرها<sup>۳</sup> را بر روی یک صفحه چکر با یک آرایش فضایی یا چیدمان دلخواه قرار دهند. بازی شامل قوانین ساده برای این شبکه مربعات است، که به موجب آن چکرها (که زنده بودند) می‌توانند بسته به حالت‌های همسایگان خود زنده بمانند، بمیرند، یا تکثیر شوند. برخی چیدمان‌های اولیه بطور مداوم تکثیر و اصلاح می‌شوند، درحالی‌که بقیه به سرعت می‌میرند یا تنها الگوهای تکراری ایجاد می‌کنند (Fonstad, 2006: 218). در چهارچوب اتوماتای سلولی، دینامیک به صورت تغییر در حالت سلول‌های شبکه از یک گام زمانی به یک گام زمانی دیگر نشان داده می‌شوند. آنچه که برای هر سلول شبکه اتفاق می‌افتد توسط قانون یا قوانین گذار تعیین می‌شود (Wolfram, 1994: 32). قوانین گذار بر روی سلول‌ها براساس همسایگی محلی آن سلول‌ها عمل می‌کنند. به عنوان مثال، در یک شبکه دوبعدی، حالت یک سلول در زمان  $t+1$  می‌تواند تابعی از حالت‌های سلول‌ها در شمال، جنوب، شرق، و غرب سلول موردنظر در زمان  $t$  باشد. این همسایگی ساده که متشکل از چهار همسایه اصلی است، همسایگی فون نیومن<sup>۴</sup> نامیده می‌شود. سایر همسایگی‌های متداول شامل همسایگی مور (تمامی هشت سلول احاطه کننده) و شکل بسط یافته این دو همسایگی می‌باشد (شکل ۱) (Fonstad, 2006:228).

ماهیت فضایی بسیاری از فرایندهای جغرافیایی و قابلیت دسترسی گسترده به داده‌های شبکه‌بندی شده حاصل از منابع سنجش از دور برای این مدل‌های سلولی بسیار مناسب هستند (Pan et al., 2010; Coulthard, 1999: 33).

رویکرد متداول دیگر مورد استفاده در مدل‌سازی شهری مبتنی بر اتوماتای سلولی، ترکیب سایر روش‌های مدل‌سازی مخصوصاً جهت تعریف قوانین گذار در مدل است (Liu, 2009: 48). از جمله این مدل‌های ریاضی می‌توان به زنجیره مارکوف اشاره کرد. زنجیره مارکوف یک فرایند تصادفی گسسته<sup>۵</sup> است که به موجب آن توزیع احتمالات برای سیستم در مرحله بعد و تمامی مراحل آتی تنها وابسته به حالت کنونی سیستم و همچنین حالت سیستم در مراحل قبلی می‌باشد (Dongjie et al., 2008; Xin et al., 2012:460). بنابراین تفاوت عمده بین این دو مدل این است که در زنجیره مارکوف حالت آینده یک سیستم تنها وابسته به حالت قبلی خود است اما در ماشین‌های خودکار سلولی حالت آینده سیستم علاوه بر حالت قبلی خود وابسته به حالت‌های همسایگان خود نیز می‌باشد و همین ویژگی است که به مدل ماشین‌های خودکار سلولی مولفه فضایی یا جغرافیایی می‌بخشد.

ماشین‌های خودکار سلولی ذاتاً فضایی (مکانی) هستند و همین امر، کاربرد آنها را در مسائل جغرافیایی بسیار جذاب می‌سازد (Liu, 2009: 34). بنابراین، به صورت گسترده‌ای برای شبیه‌سازی فرایندهای فضایی- زمانی از قبیل توسعه شهری (Batty, 2005; Benenson & Torrens, 2004; Li & Yeh, 2002; Van Vliet et al, 2009; Sante et al, 2010) و تغییرات کاربری اراضی (Clarke, 2008; Moreno et al, 2009; Menard & Marceau, 2007; White et al, 1997; Wu, 2012; Xin et al., 2012; Lei et al., 2012; Wang et al, 2011; Pan & Andreas, 2010) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این رابطه برخی از مهمترین تحقیقات خارجی و داخلی صورت گرفته در بحث شبیه سازی تغییرات کاربری اراضی بشرح ذیل می باشد.

گوان<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، با ترکیب مدل ماشین‌های خودکار سلولی و زنجیره مارکوف تغییرات زمانی و توزیع فضایی کاربری‌های اراضی را با تکیه بر فاکتورهای طبیعی و اقتصادی - اجتماعی در ساگای ژاپن بررسی و پیش‌بینی کردند. آنها با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۷۶ و ۲۰۰۶، تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۴۲ را پیش‌بینی کردند. نتیجه این تحقیق حاکی از این است که اگر روند تغییرات کاربری جاری بدون درنظر گرفتن توسعه پایدار ادامه یابد، تغییرات جدی و چالش‌برانگیز در کاربری‌های اراضی اتفاق خواهد افتاد.

<sup>1</sup> - White

<sup>2</sup> - John Conway's "Game of Life"

<sup>3</sup> - Checkers

<sup>4</sup> - Von Neumann

<sup>5</sup> - Discrete Random Process

<sup>6</sup> - Guan

باگان و یاماگاتا<sup>۱</sup> (۲۰۱۲)، روند رشد فضایی - زمانی شهر توکیو را در طی ۴۰ سال گذشته با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. تحلیل همبستگی فضایی نشان‌دهنده یک همبستگی مثبت قوی بین رشد و گسترش شهر و تغییرات تراکم جمعیتی است.

جیانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، تاثیر گسترش شهرها بر نحوه کاربری اراضی کشاورزی در چین را مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که گسترش شهری منابع طبیعی اطراف و حومه شهر را به شدت تحت فشار قرار داده و در آینده نیز این فشار تداوم خواهد داشت.

خوش‌گفتار<sup>۳</sup> و همکاران (۱۳۸۹)، تغییرات پوشش و کاربری زمین در بخشی از شهر تهران را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر برای دوره زمانی ۲۰۰۹-۲۰۱۰ پایش کردند و سپس مدل تلفیقی ماشین‌های خودکار سلولی و زنجیره مارکوف را جهت پیش‌بینی رشد شهری تهران برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ اجرا کردند. این شبیه‌سازی بیانگر کاهش مناطق جنگلی و افزایش مناطق شهری است.

احدنژاد<sup>۴</sup> و همکاران (۱۳۹۰)، تغییرات اراضی حاشیه‌ای شهر اردبیل را در طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۶۳ ارزیابی و سپس این تغییرات را تا سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی کردند. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به سنجنده TM ماهواره لندست برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۰، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۰ می‌باشد. در این تحقیق علاوه بر بارزسازی، برای کشف و ارزیابی تغییرات صورت گرفته بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ از روش فازی مبتنی بر شدت انطباق و مقایسه بعد از طبقه‌بندی استفاده شد. همچنین برای پیش‌بینی روند تغییرات تا سال ۱۴۰۰ از روش ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی - زنجیره مارکوف استفاده گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که در طی ۲۷ سال مورد بررسی کاربری‌های اراضی در حدود ۳۴ درصد تغییر کرده است که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی و افزایش جمعیت بوده است.

بابایی اقدم<sup>۵</sup> و همکاران (۱۳۹۱)، میزان و نحوه تبدیل کاربری‌های اراضی و بایر موجود در منطقه شهری اردبیل به سطوح ساخته شده را بررسی کرده و سپس الگوی آتی این تغییرات را تا افق ۱۴۰۰ با استفاده از مدل CLUE-S مدل‌سازی کردند. در این زمینه از تصاویر ماهواره‌ای اسپات و IRS استفاده کردند. برای تحلیل آماری میزان و نوع روابط بین متغیرهای وابسته و مستقل از رگرسیون لجستیک استفاده شد.

امانپور<sup>۶</sup> و همکاران (۱۳۹۲)، مدل AHP را به منظور مکان‌یابی جهات بهینه توسعه فیزیکی شهر اردبیل مورد استفاده قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که عوامل محیطی دارای اهمیت و وزن بیشتری در بحث مکان‌یابی جهات بهینه توسعه فیزیکی شهر اردبیل می‌باشد. جهات شرقی شهر نسبت به سایر جهات، مناسب‌ترین جهت برای توسعه فیزیکی احتمالی شهر خواهد بود. توپوگرافی مناسب، دوری از خط گسل اصلی و شیب مناسب زمین از عوامل اصلی انتخاب جهت شرقی برای توسعه فیزیکی شهر اردبیل می‌باشند.

موحد<sup>۷</sup> و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی انواع فرم‌های شهری و تبیین الگوی گسترش فضایی - کالبدی شهر سقز پرداختند. برای سنجش فرم شهر و تحلیل چگونگی گسترش شهر از روش‌ها و مدل‌های کمی آنتروپی شانون و هلدرن، ضریب جینی، ضریب موران و برای شناخت الگوی رشد کالبدی شهر از روش خودهمبستگی فضایی در ArcGIS استفاده کردند. نتایج نشان داد که روند توسعه فیزیکی شهر سقز از سال ۱۳۳۵ تاکنون نمایانگر توسعه فیزیکی ناموزون و بدون توجه به معیارهای شهرسازی و زیست محیطی می‌باشد. طی دوره ۱۳۳۵ تا ۱۳۶۵ الگوی توسعه شهری به تبع از شبکه ارتباطی به صورت شعاعی و در سال‌های بعد به دلیل وجود موانع طبیعی در ضلع غربی شهر به تدریج از حالت شعاعی به شکل فشرده تبدیل شده است. رشد سریع شهر از سال ۱۳۶۵ شروع شده و از این دوره گسترش شهر تا سال ۱۳۹۰ به صورت پراکنده و افقی و خارج از محدوده تصویبی طرح‌ها بوده است. درنهایت، الگوی رشد فشرده را به عنوان الگوی توسعه آتی شهر سقز پیشنهاد دادند.

1- HasiBagan and Yoshiki Yamagata

2- Li Jiang

3 Kosh goftar

4 Ahad nejad

5 Babaei agdam

6 Amanpuor

7 Movahed

الگوی رشد شهرها از آنجا که با یکی از محدودترین منابع در دسترس انسان یعنی زمین سروکار دارد، از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی شهری است. در دهه‌های اخیر نیز در ایران رشد و گسترش شهرها به صورت نوعی معضل یا مساله درآمده و لزوم توجه به مسائل شهری، و بویژه مسائل کالبدی آن، در قالب چارچوبی علمی، اهمیت و ضرورت یافته است. در این تحقیق هم با توجه به موارد ذکر شده، فرم و روند گسترش فضایی - کالبدی شهر مراغه در طی چند دهه گذشته بررسی شده و الگوی فضایی توسعه فیزیکی آتی شهر با استفاده از مدل ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی - زنجیره مارکوف شبیه‌سازی می‌شود. در نهایت، با توجه به مجموعه‌ای از فاکتورهای محیطی و انسانی توسعه فیزیکی بهینه شهر مکان‌یابی می‌شود. در راستای اهداف تحقیق سه سوال عمده مطرح می‌شود: (۱) آیا می‌توان با توجه به روند تغییرات کاربری‌های اراضی و توسعه شهر، جهات و میزان توسعه فیزیکی شهر را شبیه‌سازی نمود؟ (۲) در صورت شبیه‌سازی، گسترش فضایی آتی شهر مراغه به چه نحوی خواهد بود؟ و اینکه (۳) آیا مکان‌یابی توسعه فیزیکی شهر مراغه به طور مناسبی صورت گرفته است؟

## روش پژوهش

رویکرد کلی پژوهش کمی و نوع آن توصیفی - تحلیلی و هدف از انجام آن کاربردی می‌باشد. شیوه گردآوری داده‌ها مبتنی بر داده اسنادی و کتابخانه‌ای می‌باشد. با توجه به چارچوب نظری پژوهش و نیز سوابق مطالعات انجام شده مهمترین متغیرهای مهم و اثر گذار مدل ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی - زنجیره مارکوف، انواع پوشش‌های زمین در دوره‌های زمانی مختلف، ماتریس احتمالات گذار، ماتریس مساحت‌های گذار، نقشه‌های تناسب برای هر کلاس پوشش زمین و فیلتر مجاورت می‌باشند. همچنین، جهت مکان‌یابی توسعه فیزیکی بهینه شهر از متغیرهای شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از شهر، فاصله از روستا، فاصله از جاده‌های ارتباطی اصلی و حریم رودخانه استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی مراغه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصویر مدل ارتفاعی رقومی منطقه با قدرت تفکیک ۲۷ متر می‌باشند. به منظور تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و دینامیک شهر از نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI و IDRISI استفاده شد.

قبل از استخراج گستره شهر در تاریخ‌های مختلف از روی تصاویر چندزمانه ماهواره‌های لندست و همچنین تهیه نقشه‌های پوشش زمین، لازم بود که بر روی تصاویر ماهواره‌ای تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری صورت گیرد. بنابراین، در مرحله پیش‌پردازش، عملیات تبدیل DN به رادیانس و تصحیح اتمسفری FLAASH با استفاده از پارامترهای کالیبراسیون موجود در متادیتاهای تصاویر و بهره‌گیری از امکانات نرم‌افزار ENVI انجام شد. سپس با انتخاب مناطق آموزشی از روی تصاویر ماهواره‌ای اقدام به طبقه‌بندی نظارت شده به روش حداکثر احتمال گردید. در این رابطه کل منطقه مورد مطالعه با توجه به هدف تحقیق به چهار کلاس عمده طبقه‌بندی شد. با توجه به بازتاب طیفی نزدیک به هم اراضی دیم، بایر و مراتع ضعیف و اجتناب از خطاهای طبقه‌بندی، هر سه کاربری در قالب یک کلاس مدنظر قرار گرفت. دقت کلی طبقه‌بندی تصاویر بین ۹۲ تا ۹۴ درصد و ضریب کاپا بین ۸۵ تا ۸۷ می‌باشد که دقت بالای طبقه‌بندی را نشان می‌دهند (جدول ۱ و ۲).

در این زمینه، علاوه بر روش‌های طبقه‌بندی، شاخص‌های مختلفی نیز برای استخراج اراضی ساخته شده و شهر با استفاده از نسبت‌های باندی تصاویر ماهواره‌ای لندست وجود دارد. در این تحقیق از دو شاخص اراضی ساخته‌شده تفاضل نرمال شده<sup>۱</sup> (NDBI) و شاخص اراضی ساخته‌شده<sup>۲</sup> (BUI) که از شاخص‌های با دقت بالا می‌باشند (بیشتر از ۹۲ درصد) استفاده شد. این شاخص‌ها از طریق روابط زیر بدست می‌آیند (Lee et al., 2010; As-syakur et al., 2012; Xu, 2007; Chen et al., 2006):

$$\begin{aligned} \text{Built-Up Index} &= \text{NDBI} - \text{NDVI} \\ \text{NDBI} &= (\text{MIR} - \text{NIR}) / (\text{MIR} + \text{NIR}) \\ \text{NDVI} &= (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}) \end{aligned}$$

<sup>۱</sup> - Normalized Difference Built-up Index

<sup>۲</sup> - Built-Up Index

که در آن: NDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده<sup>۱</sup>؛ MIR یک باند مادون قرمز میانی مانند TM5؛ NIR یک باند مادون قرمز نزدیک مانند TM4 و Red یک باند قرمز مانند TM3 می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست برای تهیه نقشه‌های پوشش زمین و بررسی روند توسعه فیزیکی شهر مراغه

ماهواره	سنجنده	سین	تاریخ تصویربرداری به م	تاریخ تصویربرداری به ه.ش
لندست ۵	TM	۱۶۸ - ۳۴	۱۹۸۵ - ۰۷ - ۲۹	۱۳۶۴ - ۰۵ - ۰۷
لندست ۴	TM	۱۶۸ - ۳۴	۱۹۸۹ - ۰۶ - ۳۰	۱۳۶۸ - ۰۴ - ۰۹
لندست ۷	ETM+	۱۶۸ - ۳۴	۲۰۰۰ - ۰۷ - ۱۴	۱۳۷۹ - ۰۴ - ۲۴
لندست ۷	ETM+	۱۶۸ - ۳۴	۲۰۰۴ - ۰۶ - ۲۳	۱۳۸۳ - ۰۴ - ۰۳
لندست ۵	TM	۱۶۸ - ۳۴	۲۰۰۶ - ۰۷ - ۲۳	۱۳۸۵ - ۰۵ - ۰۱
لندست ۵	TM	۱۶۸ - ۳۴	۲۰۰۹ - ۰۶ - ۲۹	۱۳۸۸ - ۰۴ - ۰۸
لندست ۸	OLI	۱۶۸ - ۳۴	۲۰۱۳ - ۰۷ - ۲۶	۱۳۹۲ - ۰۵ - ۰۴

جدول ۲. نوع و مساحت هر یک از پوشش‌های زمین در منطقه مورد مطالعه

کلاس	نوع پوشش	تعداد سلول ۳۰×۳۰ متر	مساحت به هکتار
کلاس ۱	اراضی ساخته شده	۲۶۸۶۹	۲۴۱۸/۲
کلاس ۲	باغات و اراضی کشاورزی آبی	۴۷۹۱۳	۴۳۱۲/۲
کلاس ۳	توده‌های آب	۱۵۲۸	۱۳۷/۵
کلاس ۴	اراضی دیم، بایر و مراتع ضعیف	۹۴۹۰۰	۸۵۴۱

برای پیش‌بینی تغییرات پوشش‌های زمین و دینامیک شهر از مدل ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی - زنجیره مارکوف استفاده شد. مدل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی از یک دوره به دوره دیگر را تبیین خواهد کرد و آن را به عنوان مبنایی برای پیش‌بینی<sup>۲</sup> تغییرات آینده مورد استفاده قرار می‌دهد. این امر از طریق توسعه ماتریس احتمال گذار<sup>۳</sup> و ماتریس مساحت‌های گذار<sup>۴</sup> کاربری‌های اراضی از یک زمان به زمان دیگر انجام می‌شود که مبنایی برای پیش‌بینی برای یک دوره زمانی بعدی خواهد بود (Eastman, (a), 2012: 182). اما، یکی از مسائل ذاتی تحلیل مارکوف این است که دارای مفهوم جغرافیایی نیست. یعنی، هیچ مولفه فضایی در نتیجه مدل‌سازی وجود ندارد. بنابراین، ماشین‌های خودکار سلولی جهت افزودن مشخصه فضایی به مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند (Eastman, (a), 2012: 182). به طور خلاصه، پنج مولفه اساسی زیر اتوماتای سلولی را تعریف می‌کند (Coulthard, 1999: 33, Moreno; 2008: 2; Liu, 2009: 28; Mitsova et al., 2011; Pan et al., 2010):

- سلول: اتوماتای سلولی از یک شبکه گسسته<sup>۵</sup> از سلول‌ها تشکیل شده‌اند. از این نظر، شبیه مدل رستری در GIS می‌باشند. در این رابطه، مقیاس توسط سه مولفه تعریف می‌شود: وسعت فضایی، اندازه سلول، و آرایش فضایی همسایگی. تصمیم‌گیری در مورد مقیاس اغلب بستگی به منطقه و میزان دسترسی به داده‌ها دارد. در این تحقیق ابعاد هر سلول به پیروی از ابعاد سلول‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست، ۳۰×۳۰ متر می‌باشد. یعنی هر سلول ۹۰۰ مترمربع یا ۰/۰۹ هکتار از سطح زمین را پوشش می‌دهد. تعداد سلول‌ها در ستون‌ها و سطرهای تصاویر به ترتیب ۴۳۹ و ۳۹۰ سلول می‌باشند.
- حالت<sup>۶</sup>: هر سلول یک مجموعه متناهی از حالت‌های ممکنه را اخذ می‌کند. در این تحقیق، حالت هر سلول یکی از چهار کلاس پوشش زمین می‌باشد.

<sup>۱</sup> - Normalized Difference Vegetation Index

<sup>۲</sup> - Project

<sup>۳</sup> - Transition Probability Matrix

<sup>۴</sup> - Transition Areas Matrix

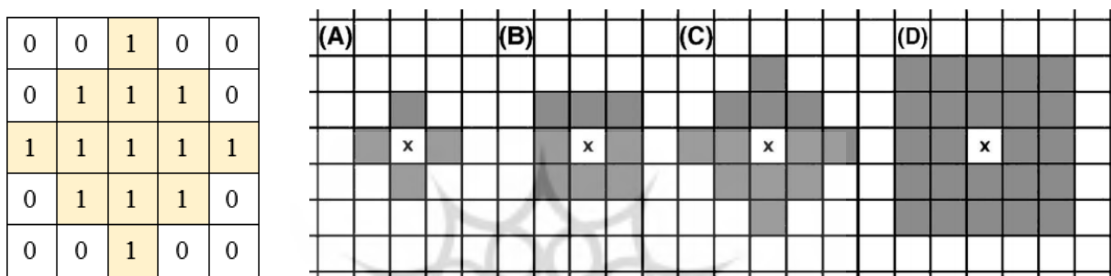
<sup>۵</sup> - Discrete Lattice

<sup>۶</sup> - State

- قوانین گذار<sup>۱</sup>: حالت هر سلول براساس قوانین جبری مشابه تکامل می‌یابد. قوانین گذار، محرک تغییر حالت در هر سلول می‌باشند. در این تحقیق برای ایجاد پاره‌ای از قوانین گذار، زنجیره مارکوف در ماشین‌های خودکار سلولی ترکیب می‌شود. همچنین قوانین گذار دیگری تحت عنوان محدودیت‌ها (مانند وجود شیب‌های تند و توده‌های آب در رابطه با توسعه شهری) و عوامل (مانند فاصله از شهر) در قالب نقشه‌های تناسب<sup>۲</sup> برای هر کلاس طرح‌ریزی می‌شود.

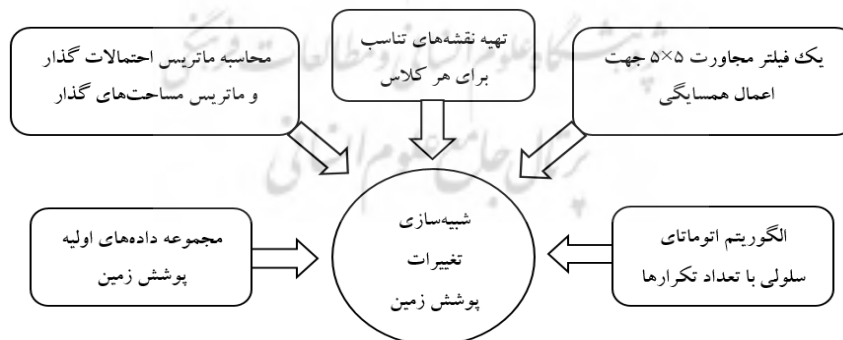
- همسایگی: قوانین برای تکامل سلول تنها وابسته به تعاملات با سلول‌های همسایه می‌باشد. بنابراین، حالت هر سلول وابسته به حالت‌ها و آرایش فضایی سایر سلول‌های موجود در همسایگی آن سلول می‌باشد. در این زمینه، دو نوع همسایگی متداول شامل همسایگی مور<sup>۳</sup> و همسایگی فون نیومن<sup>۴</sup> می‌باشند (شکل ۱). در این تحقیق برای اعمال همسایگی از یک فیلتر مجاورت ۵×۵ استفاده شد (شکل ۱).

- زمان: نشان‌دهنده حداقل بازه زمانی لازم برای تغییر حالت یک سلول است. ماشین‌های خودکار سلولی در گام‌های زمانی گسسته تکامل می‌یابند.



شکل ۱. (راست) برخی همسایگی‌های محلی رایج در یک شبکه‌بندی مربعی؛ (A) همسایگی فون نیومن؛ (B) همسایگی مور؛ (C) همسایگی فون نیومن بسط یافته؛ (D) همسایگی مور بسط یافته (Fonstad, 2006). (چپ) فیلتر مجاورت ۵×۵ جهت اعمال همسایگی

مراحل مدل‌سازی تغییرات پوشش زمین و دینامیک شهری در شکل (۲) به صورت فلوچارت ارائه شده است. در نهایت با همپوشانی فازهای لایه‌های فاصله از شهر، فاصله از جاده‌های ارتباطی اصلی، شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی و حریم رودخانه، جهات مناسب برای توسعه فیزیکی شهر پیشنهاد شد.



شکل ۲. چارچوب فرایند مدل‌سازی تغییرات پوشش زمین (Source: Mitsova et al., 2011)

1 - Transition Rules

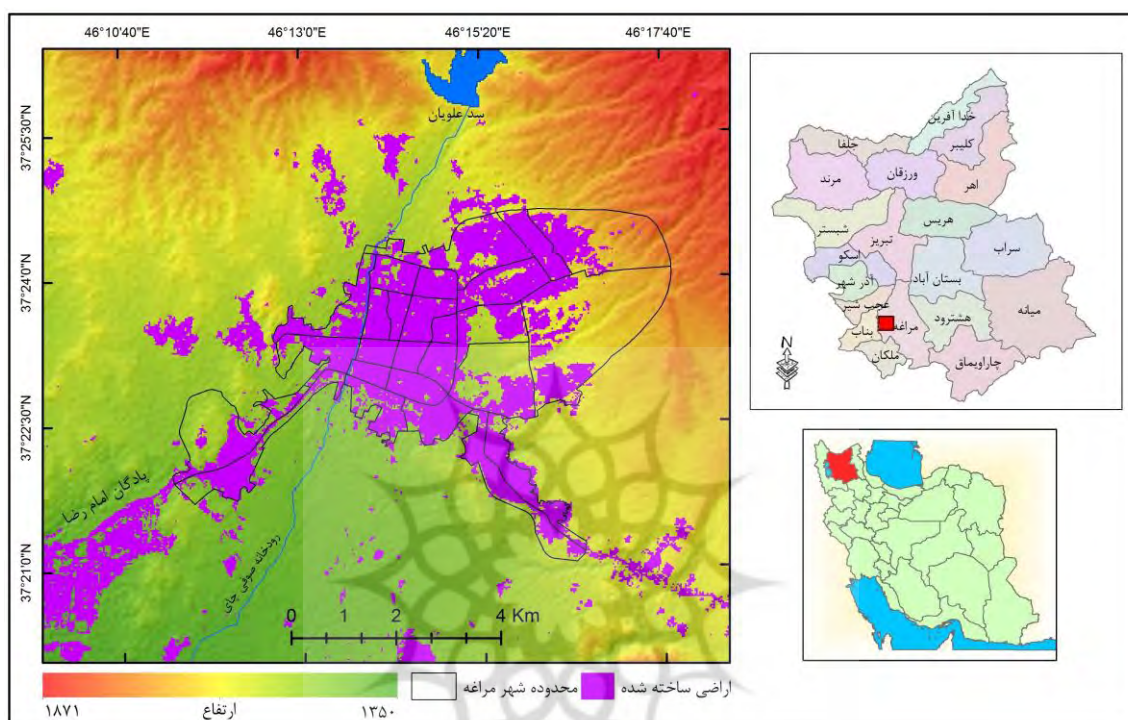
2 - Suitability Maps

3 - Moore Neighborhood

4 - Von Neumann Neighborhood

## قلمرو جغرافیایی پژوهش

منطقه مورد مطالعه، شهر مراغه با مختصات جغرافیایی  $37^{\circ} 20'$  تا  $37^{\circ} 26'$  عرض شمالی و  $46^{\circ} 09'$  تا  $46^{\circ} 18'$  طول شرقی در جنوب غرب استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۳). مطابق سرشماری سال ۱۳۹۰، جمعیت این شهر برابر با ۱۶۲۲۷۵ نفر می‌باشد و از این حیث، دومین شهر پرجمعیت استان بعد از شهر تبریز می‌باشد. این شهر در پایکوه دامنه جنوبی توده آتش-فشانی سهند و مجاورت رودخانه صوفی چای مستقر شده است.



شکل ۳. موقعیت شهر مراغه در شمال غرب کشور

## یافته‌ها و بحث

### الف- پایش الگوی رشد شهر مراغه

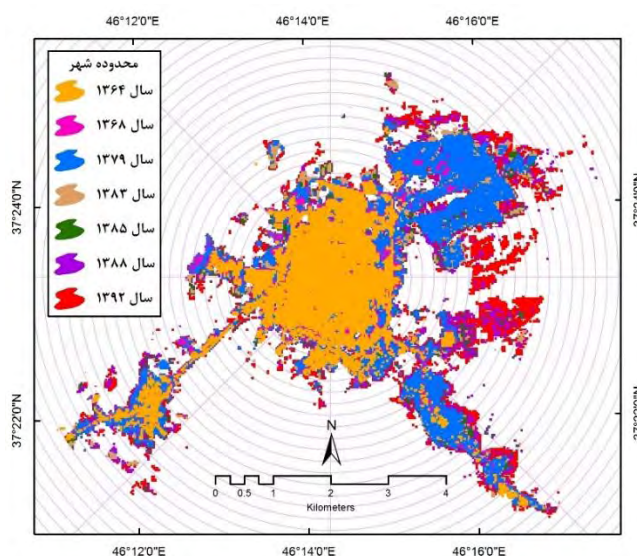
داده‌های سنجش از دوری حاصل از ماهواره‌های با قدرت تفکیک متوسط<sup>۱</sup> (برای نمونه؛ لندست<sup>۲</sup>)، مشاهدات تکراری و مداوم از سطح زمین را فراهم می‌سازند. این مجموعه‌های داده<sup>۳</sup> به طور گسترده‌ای به منظور پایش تغییرات پوشش زمین شهری در مقیاس-های محلی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، داده‌های ماهواره‌های لندست محدوده زمانی بیش از سه دهه را پوشش می‌دهند و بنابراین در رابطه با وضعیت چشم‌انداز شهری می‌توانند برای تولید اطلاعات با تناوب زمانی بالا مورد استفاده قرار گیرند (Yang and Li, 2013: 187). انواع بسیاری از تغییرات چشم‌انداز، از جمله شهرنشینی، در مقیاس‌های نسبتاً محلی رخ می‌دهند و تفکیک فضایی سنجنده‌های مختلف لندست برای بررسی چنین پدیده‌هایی بسیار مناسب می‌باشند. بنابراین، به طور روزافزونی برای تهیه نقشه و پایش شهرنشینی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gutman et al, 2004). برای منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای لندست از سال ۱۹۸۵م (۱۳۶۴.ه.ش) قابل دسترس است. از اینرو، برای بررسی الگوی رشد شهر مراغه در طی ۲۸ سال اخیر از این تصاویر استفاده شد (شکل ۴).

<sup>1</sup> - medium-resolution

<sup>2</sup> - Landsat

<sup>3</sup> - data sets

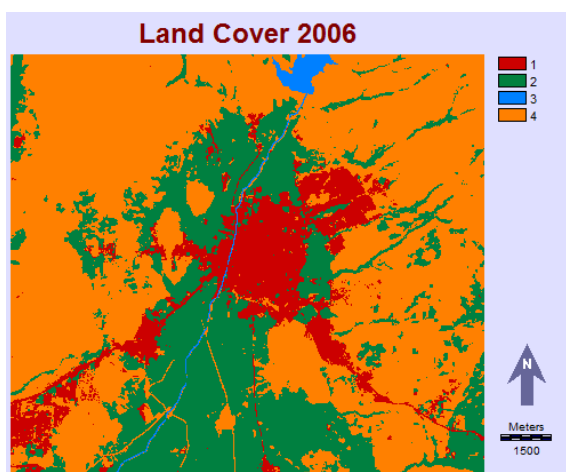




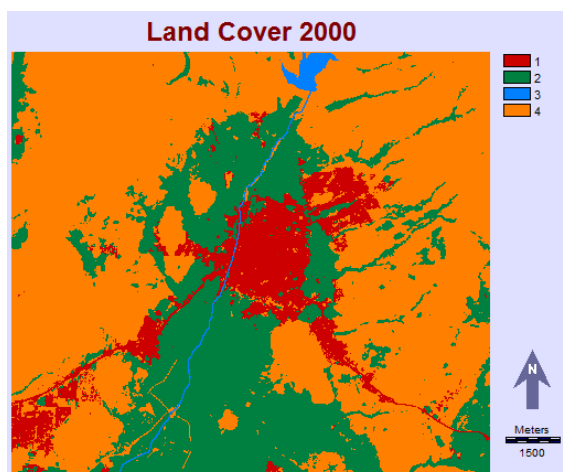
شکل ۴. شناسایی الگوی رشد شهر مراغه با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست

هسته اولیه شهر مراغه در شرق رودخانه صوفی‌چای و بر روی یک دشت میان‌کوهی شکل گرفته است (شکل ۳ و ۴). شرایط محیطی مانند دسترسی به آب رودخانه صوفی‌چای، سفره‌های آب زیرزمینی موجود در رسوبات دشت و وجود خاک‌های حاصلخیز پیرامون شهر نقش زیادی در شکل‌گیری و توسعه این شهر داشته‌اند.

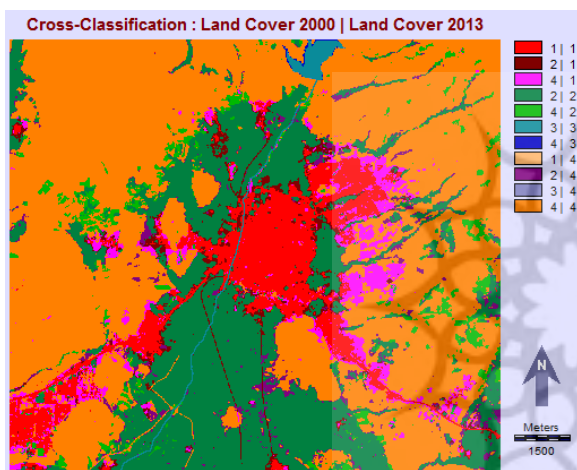
شهر مراغه به لحاظ ساختاری تقریباً شطرنجی است، این شکل عمدتاً در توسعه‌های اخیر مشاهده می‌شود، در بافت قدیمی دارای بافتی تقریباً ارگانیک است. از زمان شکل‌گیری تا سال ۱۳۲۰ شهر در داخل حصار و قلعه رشد کرده و واحدهای مسکونی، کهنه‌دژ، بازار و باغات داخل حصار قرار داشتند. تقریباً تمامی آثار تاریخی به جا مانده از دوران قبلی در داخل حصار تاریخی واقع شده‌اند که قدمت آن را تایید می‌نماید. فشردگی بافت، کم‌عرض بودن و پیچ و خم زیاد کوچه‌ها و معابر محلی حاکی از قدمت زیاد این محدوده است. در این دوره هیچگونه توسعه در سمت غرب رودخانه انجام نگرفت. از سال ۱۳۴۰ به بعد دیوار قلعه و یا حصار شهر برچیده شده و تا سال ۱۳۵۷ شهر رشد خود را در تمام جهات در داخل کمربندی شهر ادامه داد. از سال ۱۳۵۷ تا سال ۱۳۶۵ وقوع انقلاب اسلامی و افزایش مهاجرت جمعیت روستایی به شهر و رشد جمعیت شهر مراغه، تقاضا برای مسکن را افزایش داد، و شهر به قسمت‌های خارج کمربندی به‌ویژه بخش‌های شمال شرقی گسترش یافت. همچنین بافت‌های روستایی واقع در جنوب‌غرب و جنوب‌شرق شهر (روستاهای پهرآباد و میکائیل‌آباد) که در مسیر راه‌های ارتباطی بین شهری بناب و هشتگرد واقع شده بودند نیز به سمت شهر توسعه یافتند و اراضی حدفاصل آنها به زیر ساخت و ساز عمدتاً غیرقانونی رفت (Master Plan of Maragheh, City, 2011: 7). از این تاریخ به بعد، الگوی رشد شهر را می‌توان از روی تصاویر ماهواره‌ای رصد کرد (شکل ۴). از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۲ توسعه فیزیکی شهر به سمت غرب بسیار کند و بطئی بوده است، اما در یک دوره ۱۰ ساله یعنی از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۹ شهر توسعه ناگهانی به سمت شرق داشته است. این روند در سال‌های بعد و تا به امروز تداوم یافته است. مساحت اراضی ساخته‌شده شهر در طی این دوره از تقریباً ۵۹۹ هکتار در سال ۱۳۶۴ به تقریباً ۱۸۱۷ هکتار در سال ۱۳۹۲ رسیده است یعنی بیش از سه برابر شده است. به نظر می‌رسد که در مکان‌یابی توسعه شهر علاوه بر اراضی کشاورزی پیرامون شهر، عامل ناهمواری‌ها و شیب نقش عمده‌ای داشته است. بطوریکه، توسعه شهر به سمت غرب در نتیجه وجود ناهمواری‌های زیاد و شیب‌های تند محدود شده است. با توجه به نقشه‌های پوشش زمین منطقه مورد مطالعه و تبدیلات پوشش‌های زمین در طی ۱۳ سال اخیر (شکل‌های ۵ تا ۸)، تغییر عمده مربوط به توسعه اراضی ساخته‌شده بخصوص شهر مراغه به سمت اراضی بایر و زمین‌های کشاورزی و باغات بوده است. بطوریکه در حدود ۳۲۰ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات و بیش از ۵۹۲ هکتار از اراضی بایر به اراضی ساخته‌شده تبدیل شده است.



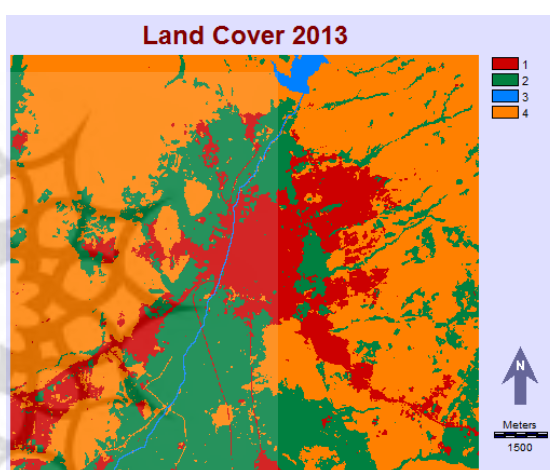
شکل ۶. نقشه پوشش زمین در سال ۲۰۰۶ میلادی



شکل ۵. نقشه پوشش زمین در سال ۲۰۰۰ میلادی



شکل ۸. تغییرات پوشش زمین از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳



شکل ۷. نقشه پوشش زمین در سال ۲۰۱۳ میلادی

ب- ماتریس احتمال گذار انواع پوشش‌های زمین

ماتریس احتمال گذار، بیان‌کننده احتمالی است که هر سلول کلاس خاص در دوره زمانی بعد برطبق وضعیت پیشین خود به سلول کلاس‌های دیگر تبدیل شود (Eastman (b), 2012: 227) و مطابق با رابطه زیر می‌باشد (Dongjie et al., 2008; Guan et al., 2011):

$$P = (P_{ij}) = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix}$$

در ماتریس فوق،  $P_{ij}$  احتمال تبدیل یا گذار کاربری اراضی نوع  $i$  ام به نوع  $j$  ام از اولین مرحله<sup>۱</sup> تا آخرین مرحله<sup>۲</sup> و  $n$  تعداد کاربری‌های اراضی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از طرفی،  $P_{ij}$  باید دارای شرایط زیر باشد:

$$0 \leq P_{ij} \leq 1 (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

<sup>۱</sup> - Prophase  
<sup>۲</sup> - Telophase

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} = 1(i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

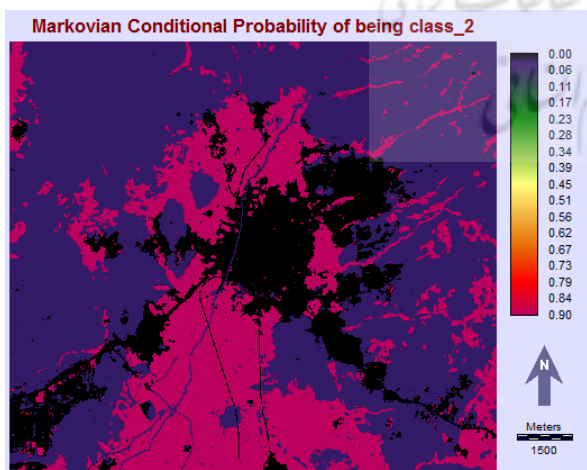
و در نهایت، پیش‌بینی مدل مارکوف براساس رابطه زیر خواهد بود:

$$P(n) = P(n-1)P_{ij}$$

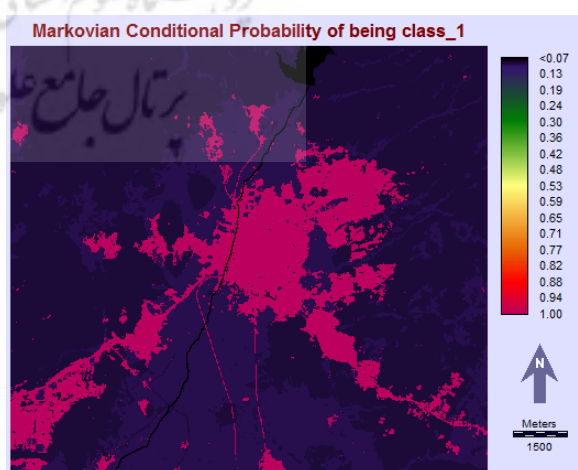
که در آن:  $P(n)$  احتمال حالت (وضعیت) در هر زمان و  $P(n-1)$  احتمال حالت اولیه می‌باشد. در این تحقیق، ماتریس احتمال گذار پوشش‌های زمین مطابق با جدول (۳) می‌باشد. مقادیر قطر اصلی ماتریس، نشان‌دهنده احتمال عدم تغییر و یا به زبان ماشین‌های خودکار سلولی، عدم تبدیل حالت سلول‌های کاربری موردنظر به سلول‌های سایر کاربری‌ها می‌باشد. در این رابطه، کلاس ۱ یعنی اراضی ساخته شده بالاترین مقدار را دارد. یعنی به احتمال قریب به یقین، اراضی ساخته شده به سایر کاربری‌ها تبدیل نخواهند شد و به همین دلیل از ثبات و پایداری زیادی برخوردار می‌باشد. برعکس، در بین کلاس‌های موجود، احتمال عدم تغییر حالت کلاس ۴ یا اراضی بایر و دیم به سایر کلاس‌ها کمترین مقدار را دارد. این امر به دلیل تبدیلات یا تغییر حالت‌های گذشته این کاربری به دو کاربری اراضی ساخته شده و اراضی کشاورزی آبی و باغات می‌باشد. اما به دلیل مساحت زیاد کلاس اراضی بایر نسبت به اراضی کشاورزی آبی، احتمال گذار حالت‌های تمامی سلول‌های کلاس ۴ به کلاس ۱ اندکی کمتر از احتمال گذار حالت‌های تمامی سلول‌های کلاس ۲ به کلاس ۱ است. با استفاده از مقادیر ماتریس احتمالات گذار، تصاویر احتمال شرطی مارکوفی تعلق به هر یک از کلاس‌های موردنظر حاصل می‌شود. برای هر کلاس پوشش زمین، تصاویر احتمال شرطی<sup>۱</sup>، بیان‌کننده احتمالی است که هر سلول در دوره زمانی بعدی به کلاس تعیین شده تعلق خواهد داشت (شکل‌های ۹ تا ۱۲). به این دلیل نقشه‌های احتمال شرطی نامیده می‌شوند که این احتمال، مشروط به حالت یا وضعیت کنونی آنها می‌باشد (Eastman (b), 2012: 227).

جدول ۳. ماتریس احتمال گذار محاسبه شده برای سال ۲۰۳۰

		احتمال تغییر به:			
		کلاس ۲	کلاس ۱	پوشش زمین	
کلاس ۴	کلاس ۳	۰/۰۰۱۳	۰/۹۹۷۳	کلاس ۱	
۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۳	۰/۰۹۶۷	کلاس ۲	
۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۱۳	۰/۸۹۷۵	۰/۰۳۹۴	کلاس ۳	
۰/۰۱۹۰	۰/۹۰۲۵	۰/۰۴۹۱	۰/۰۹۰۶	کلاس ۴	
۰/۸۵۸۶	۰/۰۰۱۲	۰/۰۴۹۵			

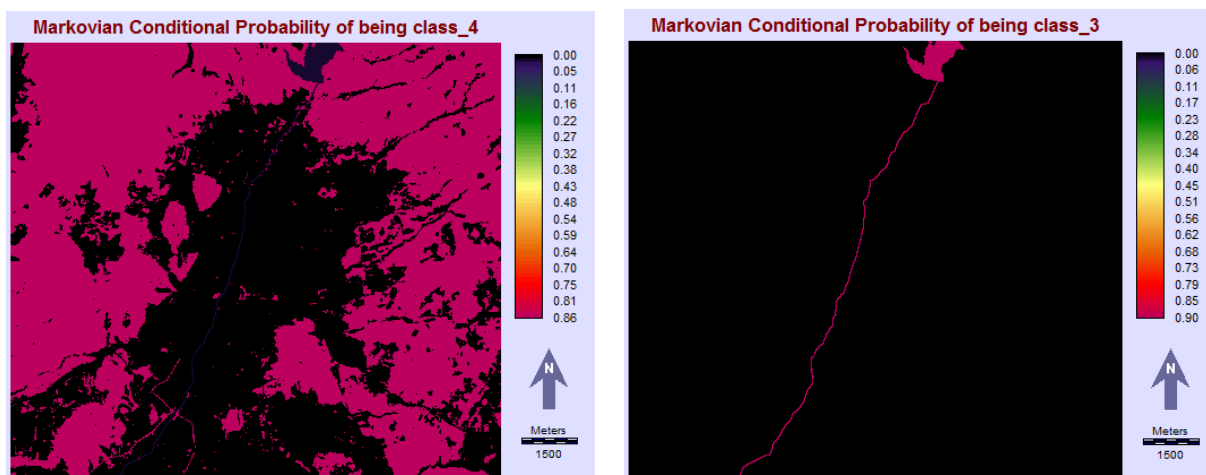


شکل ۱۰. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس ۲



شکل ۹. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس ۱

<sup>1</sup> - Conditional Probability Images



شکل ۱۲. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس ۴

شکل ۱۱. احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس ۳

### ج- ماتریس مساحت‌های گذار پوشش‌های زمین

ماتریس مساحت‌های گذار، نشان دهنده کل مساحتی است که انتظار می‌رود در دوره زمانی بعدی تغییر یابد (Eastman (b), (Xin et al., 2012: 227) و مطابق با رابطه زیر می‌باشد (Xin et al., 2012: 227):

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

که در آن:  $A$  ماتریس مساحت گذار؛  $A_{ij}$  مجموع مساحت‌های حاصل از تبدیل حالت  $i$  ام به حالت  $j$  ام در طی سال آغازین تا سال هدف دوره‌های شبیه‌سازی و  $n$  تعداد کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به مقادیر ماتریس مساحت‌های گذار (جدول ۴) پیش‌بینی می‌شود که بیشترین مساحت‌های گذار در منطقه مورد مطالعه، مربوط به گذار کلاس‌های ۲ و ۴ به کلاس ۱ باشد. بطوریکه ۸۶۰۰ سلول از کل سلول‌های کلاس ۴ (در حدود ۷۷۴ هکتار) و ۴۶۳۵ سلول از کل سلول‌های کلاس ۲ (در حدود ۴۱۷ هکتار) به حالت کلاس ۱ تبدیل خواهند شد. همانند ماتریس احتمالات گذار، مقادیر قطر اصلی نشان‌دهنده مساحتی از هر کاربری می‌باشد که بدون تغییر باقی خواهند ماند. همچنانکه مشخص است، مساحت گذار کلاس ۱ به سایر کلاس‌ها بسیار ناچیز است. بنابراین در طی ۱۷ سال آینده، توسعه شهر مراغه با تداوم روند گذشته در درجه اول به سمت اراضی بایر و سپس اراضی کشاورزی خواهد بود.

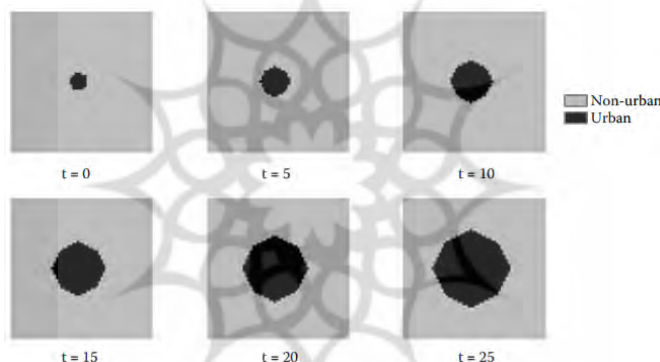
جدول ۴. ماتریس مساحت‌های گذار محاسبه شده برای سال ۲۰۳۰

پیش‌بینی می‌شود گذار کند به:				سلول‌ها در:
کلاس ۴	کلاس ۳	کلاس ۲	کلاس ۱	پوشش زمین
۲۶	۱۱	۳۴	۲۶۷۹۸	کلاس ۱
۲۱۳	۶۱	۴۳۰۰۴	۴۶۳۵	کلاس ۲
۲۹	۱۳۷۹	۷۵	۴۵	کلاس ۳
۸۱۴۸۴	۱۱۶	۴۷۰۰	۸۶۰۰	کلاس ۴

### د- ماشین‌های خودکار سلولی شهری و ایجاد نقشه‌های تناسب برای انواع پوشش‌های زمین

توسعه شهری از بسیاری جنبه‌ها شبیه رفتار یک ماشین خودکار سلولی است. فضای یک ناحیه شهری می‌تواند به صورت ترکیبی از تعدادی سلول در نظر گرفته شود. هر سلول مجموعه متناهی از حالات ممکنه را اخذ می‌کند که نشان‌دهنده میزان توسعه شهری است. حالت هر سلول در گام‌های زمانی گسسته و مطابق با برخی قوانین محلی تکامل می‌یابد. قوانین گذار، نحوه گذار یک قطعه زمین از یک حالت به حالت دیگر را تعیین می‌کند. از اینرو، فرایند توسعه در منطقه را نشان می‌دهد. این قوانین گذار معمولاً بصورت مجموعه‌ای از عبارات «اگر- آنگاه» بیان می‌شوند که می‌توانند الگوهای پیچیده‌ای از توسعه را ایجاد کنند. اگر فرض شود که شرایط اجتماعی، اقتصادی و محیطی در کل منطقه یکنواخت باشد. به عبارت دیگر، به غیر از چند قطعه زمین<sup>۱</sup> که تبدیل به شهر شده‌اند (آن قطعه‌هایی که به صورت مشکی در شکل ۱۳ نمایش داده شده‌اند،  $t = 0$ )، بقیه قطعه‌ها در یک حالت غیرشهری، با شرایط اجتماعی- اقتصادی و محیطی یکسان باشند. در این صورت، تنها عاملی که توسعه قطعه‌های زمین را تحریک خواهد کرد، تعداد قطعه‌های توسعه یافته در همسایگی قطعه موردنظر است. با بکارگیری همسایگی مور، گذار حالت قطعه‌ها از طریق قوانین زیر کنترل می‌شود (Liu, 2009: 30-31):

قانون ۱: اگر، سه یا بیش از سه قطعه توسعه یافته (یعنی قطعه‌های شهری) در همسایگی مور یک قطعه زمین غیرشهری وجود داشته باشد، آنگاه، قطعه زمین غیرشهری به یک حالت شهری توسعه خواهد یافت. با استفاده از این قانون گذار، مدل یک سری از سناریوهای توسعه شهری در دوره‌های زمانی مختلف ایجاد می‌کند که در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳. شبیه‌سازی توسعه شهری با استفاده از ماشین‌های خودکار سلولی در یک ناحیه هموار (سلول‌های مشکی، شهر؛ سلول‌های خاکستری، غیرشهر و  $t$  گام زمانی می‌باشد) (Liu, 2009: 31)

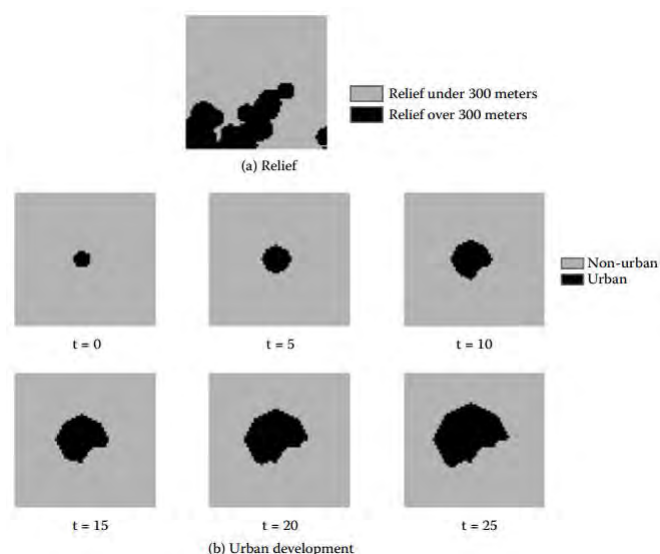
با وجود این، شرایط جغرافیایی در یک ناحیه به ندرت یکنواخت می‌باشد. به عنوان مثال، ممکن است که اختلافات قابل توجهی در رابطه با عوارض زمین<sup>۲</sup> وجود داشته باشد. به منظور کاهش هزینه‌ها در ساخت و ساز و بهره‌برداری از تاسیسات شهری همچون فاضلاب و منابع آب، توسعه شهری ممکن است به نواحی با ناهمواری<sup>۳</sup> کمتر از ۳۰۰ متر محدود شود. بنابراین، هیچگونه توسعه‌ای در سلول‌های با ناهمواری بیشتر از ۳۰۰ متر رخ نخواهد داد. این شرایط ایجاد می‌کند که قانون جدیدی در مدل به منظور انعکاس محدودیت عوارض زمین به اجرا دربیاید. این قانون جدید می‌تواند به صورت یک عبارت اگر- آنگاه دیگر بیان شود (Liu, 2009: 31):

قانون ۲: اگر، ناهمواری چشم‌انداز بیشتر از ۳۰۰ متر باشد، آنگاه، قطعه زمین به صورت توسعه نیافته باقی خواهد ماند (یعنی آن به صورت قطعه غیرشهری باقی می‌ماند).

<sup>1</sup> - Parcel

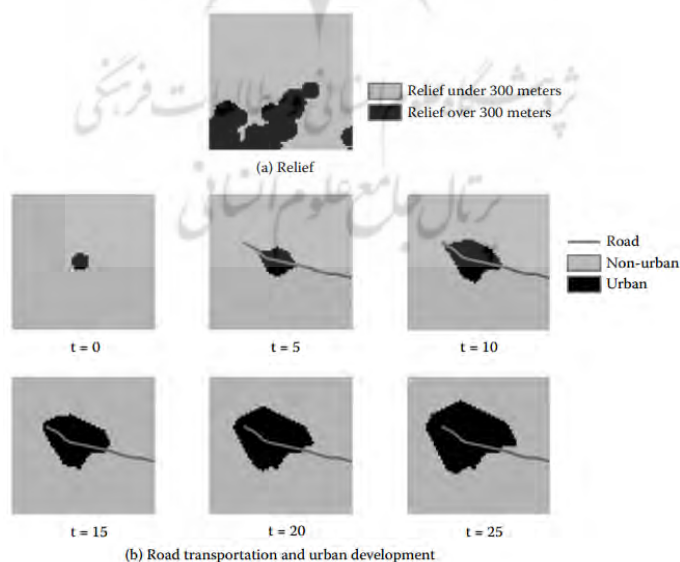
<sup>2</sup> - Terrain

<sup>3</sup> - Relief



شکل ۱۴. شبیه‌سازی توسعه شهری همراه با محدودیت عوارض زمین: (a) ناهمواری (مشکی: بیشتر از ۳۰۰ متر؛ خاکستری: کمتر از ۳۰۰ متر)؛ (b) توسعه شهری (مشکی: قطعه‌های شهری؛ خاکستری: قطعه‌های غیرشهری؛ t: گام زمانی) (Liu, 2009: 32)

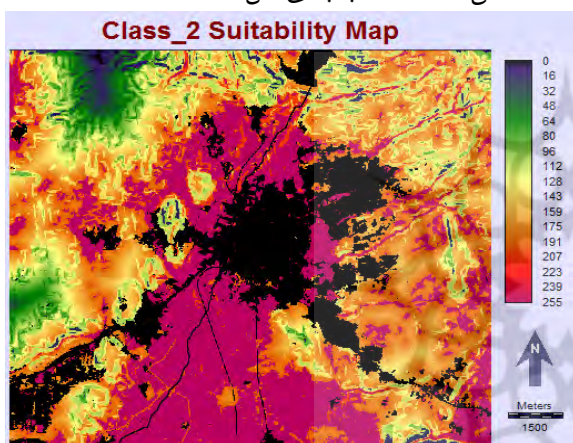
با هر دو قانون ۱ و ۲، سناریوی توسعه شهری در ناحیه تغییر خواهد کرد (شکل ۱۴). علاوه بر این، ممکن است تغییراتی نیز در شبکه حمل و نقل وجود داشته باشد. به عنوان مثال، اگر یک جاده اصلی از میان یک شهر عبور کند، توسعه ممکن است به نواحی موجود در امتداد جاده متمایل شود. در این حالت، ضروری است که قانون گذار دیگری به منظور انعکاس اثر حمایتی حمل و نقل بر روی توسعه شهری به مدل اضافه شود. این قانون می‌تواند به صورت عبارت اگر-آنگاه زیر بیان شود (Liu, 2009: 32):  
 قانون ۳: اگر، یک یا دو قطعه توسعه یافته (شهر) در همسایگی مور یک قطعه غیرشهری وجود داشته باشد و جاده‌ای نیز وجود داشته باشد که از آن پارسل عبور کند، آنگاه، پارسل غیرشهری به یک حالت شهری توسعه خواهد یافت. بازهم با اجرای این قانون جدید، الگوی توسعه در این ناحیه تغییر خواهد کرد (شکل ۱۵).



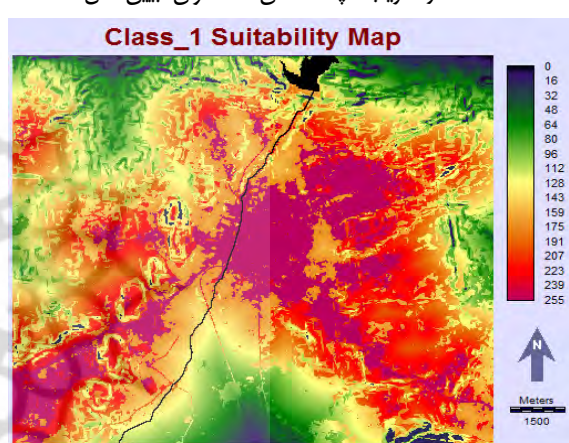
شکل ۱۵. توسعه شهری شبیه‌سازی شده با حمایت حمل و نقل: (a) ناهمواری (مشکی: بیشتر از ۳۰۰ متر؛ خاکستری: کمتر از ۳۰۰ متر)؛ (b) حمل و نقل جاده (خط خاکستری)؛

توسعه شهری (مشکی: قطعه‌های شهری؛ خاکستری: قطعه‌های غیرشهری؛ t: گام زمانی) (Liu, 2009: 33)

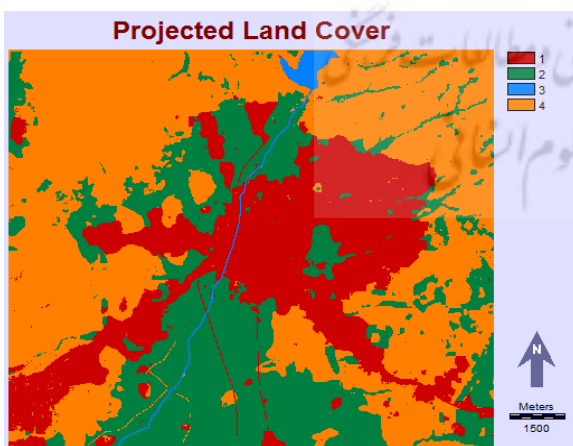
با استفاده از این چارچوب مدل‌سازی، قوانین گذار بیشتری می‌تواند برای انعکاس حمایتی یا محدودیت‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی یا فاکتورهای محیطی موثر بر توسعه شهری به مدل افزوده شود (Liu, 2009: 32). در این تحقیق، چندین قانون به صورت لایه‌های رستری جداگانه برای هر کلاس طرح‌ریزی شد. قوانین برای هر کلاس به صورت متفاوت و در برخی موارد به صورت عکس هم اعمال شد. برای نمونه، در رابطه با شیب مشخص است که در شیب‌های تند امکان توسعه شهر وجود ندارد درحالی‌که بر عکس، احتمال اینکه شیب‌های تند به صورت اراضی بایر باقی بمانند زیاد است. این قوانین با استفاده از ارزیابی چندمعیاره<sup>۱</sup> و توابع عضویت فازی<sup>۲</sup> نرم‌افزار ایدرسی ایجاد شد. تمامی لایه‌هایی که با اعمال این قوانین برای هر کلاس حاصل شد با هم تلفیق شده و تحت عنوان نقشه‌های تناسب<sup>۳</sup> وارد مدل گردید (شکل‌های ۱۶ تا ۱۸). به عنوان مثال، جهت تهیه نقشه تناسب کلاس اراضی ساخته شده (که عمدتاً شامل شهر مراغه می‌باشد) عوامل موثر بر توسعه شهر شامل لایه‌های احتمال شرطی مارکوفی تعلق به کلاس ۱، کاربری اراضی، فاصله از شهر، روستا و جاده‌های ارتباطی اصلی تحت عنوان فاکتورها یا عوامل، و میزان شیب و توده‌های آب تحت عنوان محدودیت‌ها، به صورت بولین و فازی در دامنه ۰-۲۵۵ باهم همپوشانی شدند. در رابطه با قانون همسایگی، همسایگی فون‌نیومن به صورت یک فیلتر مجاورت ۵×۵ (شکل ۱) اعمال شد. در رابطه با کلاس ۳، توده‌های آب ثابت فرض شده و به صورت صفر و یک وارد مدل گردید. پس از تهیه تمامی پارامترهای موردنیاز، مدل ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی- زنجیره مارکوف اجرا گردید و تغییرات پوشش‌های زمین برای سال ۲۰۳۰ حاصل شد (شکل ۱۹). برای اعتبارسنجی مدل از لایه پوشش زمین مربوط به سال ۲۰۰۶ (شکل ۶) استفاده شد. مقدار ضریب کاپا که نشان‌دهنده توان تبیین مدل است ۸۸ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت نسبتاً بالایی مدل است.



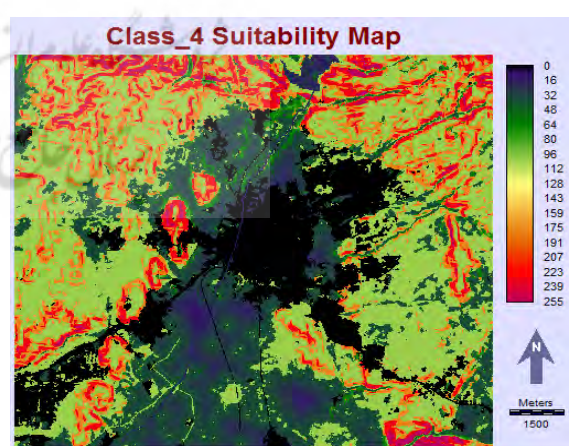
شکل ۱۷. نقشه تناسب کلاس ۲



شکل ۱۶. نقشه تناسب کلاس ۱



شکل ۱۹. پیش‌بینی توسعه شهر مراغه به همراه تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰

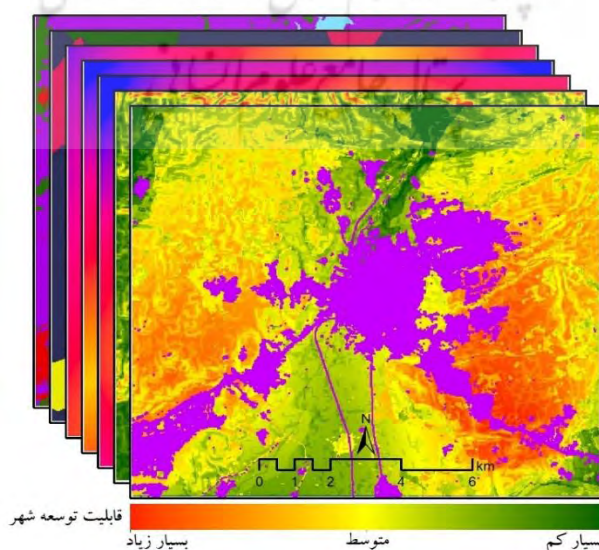


شکل ۱۸. نقشه تناسب کلاس ۴

1 - multi-criteria evaluation  
2 - fuzzy membership functions  
3 - suitability maps

با توجه به خروجی مدل ماشین‌های خودکار سلولی - زنجیره مارکوف (شکل ۱۹)، پاسخ سوال اول و دوم پژوهش (۱- آیا می‌توان با توجه به روند تغییرات کاربری‌های اراضی و توسعه شهر، جهات و میزان توسعه فیزیکی شهر را شبیه‌سازی نمود؟) - ۲- در صورت شبیه‌سازی، گسترش فضایی آتی شهر مراغه به چه نحوی خواهد بود؟ را می‌توان اینگونه ارائه نمود: توسعه شهر در سال‌های آینده تقریباً مشابه با روند گذشته خواهد بود و شهر عمدتاً به سمت اراضی بایر شرق منطقه مورد مطالعه گسترش خواهد یافت و علاوه بر زمین‌های جدید، پارسل‌هایی که به صورت پراکنده توسعه یافته‌اند به صورت متراکمی زیر ساخت و ساز خواهند رفت. علاوه بر این، شهر در امتداد جاده‌های مراغه - هشتگرد و مراغه - بناب نیز توسعه خواهد یافت. همچنین، با توجه به روند توسعه شهر به سمت اراضی بایر، دو روستای طالب‌خان و حاجی‌کرد نیز در نتیجه توسعه جزو مناطق شهری خواهند شد. با اینکه روند توسعه متمایل به اراضی بایر خواهد بود و گسترش شهر در جهات شمالی و جنوبی به دلیل وجود زمین‌های کشاورزی آبی و باغات محدود خواهد شد ولی با ادامه روند کنونی، بازهم در حدود ۴۱۷ هکتار از باغات و اراضی کشاورزی مرغوب به زیر ساخت و ساز خواهند رفت. در نتیجه، ضروری است که توسعه شهری مدیریت شده و با در نظر گرفتن شرایط جاری، بهترین مکان‌ها جهت توسعه آتی مشخص گردد و از توسعه شهر به سمت اراضی کشاورزی با توجه به محدود بودن خاک‌های مرغوب منطقه جلوگیری شود. برای مکان‌یابی توسعه فیزیکی مطلوب، شش لایه کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شیب، حریم رودخانه، فاصله از شهر و فاصله از جاده‌های ارتباطی اصلی با استفاده از توابع فازی همپوشانی شدند (شکل ۲۰). همچنین در پاسخ به سوال سوم پژوهش (۳- آیا مکان-یابی توسعه فیزیکی شهر مراغه به طور مناسبی صورت گرفته است؟) گفتنی است که با توجه به نتیجه همپوشانی می‌توان گفت که شهر مراغه از جمله شهرهایی می‌باشد که مکان‌یابی توسعه فیزیکی آن به صورت نسبتاً مناسبی صورت گرفته است. به نظر می‌رسد عوامل ناهمواری، شیب و زمین‌های کشاورزی و باغات پیرامون شهر نقش اساسی در این زمینه داشته‌اند. اگرچه در سال‌های اخیر بخش‌هایی از شهر در شیب‌های نسبتاً تند گسترش یافته است.

مناسب‌ترین پهنه‌ها جهت توسعه آتی شهر، در شرق و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه یعنی جنوب شرق شهرک ولی‌عصر و شرق و شمال شرق میکائیل‌آباد قرار گرفته است. میزان شیب در بخش عمده‌ای از این منطقه بین ۰ تا ۵ درصد می‌باشد. بنابراین، از نظر شیب، این نواحی پتانسیل زیادی جهت توسعه آسان و اقتصادی دارند. بطوریکه، تراس‌بندی در این نواحی ضروری نبوده و تسطیح و خاکبرداری تنها به ایجاد شبکه فاضلاب و زهکشی محدود خواهد شد. در نتیجه، پستی و بلندی محدودیت خاصی در زمینه تراکم ساخت و ساز یا ابعاد ساختمان‌ها ایجاد نمی‌کند (Szabo et al, 2010: 182). یکی از مسائل اساسی که در رابطه با توسعه شهر به سمت شرق باید مورد توجه قرار گیرد، وجود چندین آبراهه در این قسمت‌ها می‌باشد که بخشی از دامنه‌های منطقه را زهکشی کرده و به رودخانه صوفی‌چای منتهی می‌شوند. بنابراین ضروری است که حریم مناسب این آبراهه‌ها رعایت شده و برخی اقدامات مهندسی جهت انتقال ایمن آب به هنگام بارش‌های شدید صورت گیرد.



شکل ۲۰. مکان‌یابی توسعه فیزیکی پهنه شهر مراغه



## نتیجه‌گیری

امروزه تغییر کاربری اراضی و توسعه فیزیکی شهرها برای پاسخگویی به نیازهای جامعه شهری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. اما توسعه فیزیکی شهرها در چارچوب قواعد بازار آزاد که بیشتر بدنبال کسب سود و ایجاد رانت برای گروه‌های خاص می‌باشد موجب تسلط الگوی رشد پراکنده و تغییر و تخریب اراضی کشاورزی و باغات پیرامون شهرها خواهد گردید. بنابراین با توجه به محدودیت منابع زمین به ویژه اراضی کشاورزی پیرامون شهرها، ضرورت دارد که روند توسعه فیزیکی شهرها پیش شده، الگوهای رشد شهری شبیه‌سازی شده و با توجه به ویژگی‌های محیطی و انسانی منطقه، الگو و جهات مناسب توسعه، برنامه‌ریزی شود. نتایج این تحقیق در مورد پیش‌رشد شهری مراغه در طی سالهای گذشته و شبیه‌سازی آن با مدلها نشان داد که علیرغم جهت دهی توسعه در اراضی بایر کماکان بخشی از توسعه شهری در اراضی کشاورزی و باغات اتفاق افتاده و از این حیث با نتایج دیگر پژوهشها از جمله مطالعه جیانگ و همکاران (۲۰۱۲) در چین و نیز خوش‌گفتار و همکاران در تهران (۱۳۸۹) که رشد شهرها منابع طبیعی و اراضی کشاورزی را تحت الشعاع قرار داده قابل مقایسه می‌باشد. همچنین از بعد از عدم توجه به معیارهای شهرسازی همچون قابلیت کشاورزی، شیب زمین، اراضی واقع در بافت درون شهر در توسعه فیزیکی شهری با نتیجه بدست آمده در تحقیق موحد و همکاران (۱۳۹۳) در سقز که دارای الگوی رشد ناموزون بوده یکسان بوده و نتایج مشابهی دارند.

افزون بر نتایج مطرح شده در تحقیق حاضر گسترش فضایی شهر مراغه با در نظر گرفتن دینامیک پوشش‌های زمین و با استفاده از مدل ترکیبی ماشین‌های خودکار سلولی - زنجیره مارکوف شبیه‌سازی گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که توسعه شهر در سال‌های آینده تقریباً تداوم روند گذشته خواهد بود و شهر عمدتاً به سمت اراضی بایر شرق منطقه مورد مطالعه گسترش خواهد یافت و علاوه بر اراضی پیرامون در محدوده بلافاصل شهر لکه‌هایی سکونتی که بصورت پراکنده در اطراف شهر شکل گرفته‌اند به صورت متراکمی زیر ساخت و ساز خواهند رفت. همچنین الگوی رشد شهر نیز در امتداد جاده‌های مراغه - هشتروند و مراغه - بناب نیز توسعه خواهد یافت. با توجه به روند توسعه شهر به سمت اراضی بایر، دو روستای طالب‌خان و حاجی - کرد نیز در نتیجه توسعه جزو مناطق شهری خواهند شد. علیرغم توسعه فیزیکی شهر بسمت اراضی بایر، گسترش شهر در جهات شمالی و جنوبی به دلیل وجود زمین‌های کشاورزی آبی و باغات تداوم خواهد یافت. با توجه به اینکه در طی سال‌های گذشته روند توسعه شهر مراغه بیشتر به سمت اراضی بایر بوده است. پیش‌بینی مدل تغییر اراضی بایر به کاربریهای شهر خواهد بود. مساحت احتمالی اراضی بایر پیرامون شهر و روستاهای اطراف شهر که زیر ساخت و سازهای قرار خواهد گرفت، حدود ۷۷۴ هکتار می‌باشد. با این حال، نزدیک به ۴۱۷ هکتار از اراضی کشاورزی مرغوب پیرامون نیز با ادامه روند گذشته تبدیل به اراضی شهری خواهند شد. بنابراین ضروری است که در مکان‌یابی توسعه فیزیکی شهر به این مهم توجه شده و از تبدیل اراضی حاصلخیز کشاورزی به اراضی ساخته شده جلوگیری شود. در این زمینه با همپوشانی فازی لایه‌های مختلف، بهترین سایت‌ها جهت توسعه آبی شهر مشخص گردیده است. براساس تاثیر مجموع معیارها در تعیین جهات بهینه توسعه شهری، مناطق واقع در جنوب شرق شهر به دلایلی از جمله شیب‌های مناسب (عمدتاً بین ۰ تا ۵ درصد)، قابلیت کشاورزی اندک و دسترسی مناسب به شبکه ارتباطی منطقه، برای توسعه آینده شهر مراغه مطلوب و مناسب می‌باشند.

## پیشنهادات

در طی ۱۳ سال گذشته حدود ۳۲۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی مرغوب و حاصلخیز در اثر گسترش فضایی - کالبدی شهر تخریب شده است. با تداوم این روند، تا افق ۲۰۳۰ میلادی در حدود ۴۱۷ هکتار از باغات و اراضی کشاورزی دوباره به زیر ساخت و ساز خواهند رفت. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای شواهد ساخت و ساز و تفکیک اراضی در این منطقه به وضوح قابل مشاهده است. با توجه به محدودیت شدید منابع خاک و مسائل زیست‌محیطی و نیز اهمیت این اراضی در تامین نیازهای شهر به محصولات کشاورزی درختی، زیبایی، گردشگری و کاهش آلودگی هوای شهر، مدیران و مسئولین شهری می‌بایست با قید فوریت

با این رویه مقابله نموده و نظارت دقیق و بیشتری برای جلوگیری از ساخت و سازهای غیرمجاز داشته باشند. در این راستا مطلوب است که توسعه فیزیکی شهر در درجه اول به صورت ایجاد شهرک‌هایی در جنوب شرق منطقه که دارای اراضی بایر غیرقابل کشاورزی بوده، صورت بگیرد و از ساخت و ساز در اراضی کشاورزی شمال و جنوب شهر اصلی مراغه اجتناب شود. البته مناطق پیشنهادی هم با اندکی موانع طبیعی از جمله مسیلهای آبی روبرو می باشد که ضروریست خطر وقوع سیلاب مورد توجه قرار گیرد و از تجاوز به حریم آبراهه‌های موجود جلوگیری شود و با اقدامات مهندسی، ظرفیت عبوری سیلاب‌های این آبراهه‌ها افزایش یابد.

محدوده قانونی شهر مراغه از پتانسیل توسعه فضایی- کالبدی بسیار زیادی برخوردار است. در نتیجه، پیشنهاد می‌شود که از توسعه شهر به خارج از محدوده قانونی اجتناب شود. در نظر نگرفتن توسعه درونی و افزایش پراکندگی شهر علاوه بر اثرات نامناسب زیست‌محیطی و تخریب گسترده، هزینه‌های سنگین اقتصادی- اجتماعی نیز در پی خواهد داشت. آنچه که امروزه به عنوان پراکندگی شهری یا اسپرال شناخته می‌شود، نوعی اتلاف زمین در شهر است که توسط تراکم‌های پایین و نامتعادل و توسعه پراکنده شناخته می‌شود. از اینروست که نظریه متراکم کردن و فشرده‌سازی شهرها یکی از مهم‌ترین راهکارهای پیشنهادی پایدار نمودن شهرها شمرده می‌شود.

## References

- Ahadnejad, M., Zolfi, A., Shokripor Dizaj, H. (2011). Estimation and prediction of physical expansion of cities using multi-temporal satellite imagery and geographic information system (Case study of Ardabil city 1363-1400). *Environmental planning*, 4(15), 107-124. (in Persian)
- Amanpour, S., Alizadeh, H., Ghorari, H. (1392). An Analysis of Finding Optimal Directions of Physical Development in Ardabil City Using the AHP Model. *Regional Planning*, 4(10), 83-96. (in Persian)
- Anderson, B.N., Howarth, R.W., & Walker, L.R. (2008). *Ecology, planning, and management of urban forests: international perspectives*. Berlin: Springer
- As-syakur, A. R., Adnyana, I. W. S., Arthana I. W., & Nuarsa, I. W. (2012). Enhanced built-up and bareness index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. *Remote sensing*, 4, 2957-2970.
- Azizi Galati, S., Rangzan, K., Sadidi, J., Heidarian, P., Taghizadeh, A. (1395). Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (Case study: Kohmare Sorkhi, Fars province). *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 7(1), 59-71. (in Persian)
- Babaei Aghdam, F., Ebrahimzadeh Asmin, H. 1391. Modeling land use changes and Bayer levels built in Ardebil Municipality model CLUE-S. *Geography and Development*, 10(26), 21-34. (in Persian)
- Bagan, H., Yamagata, Y. 2012. Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years. *Remote Sensing of Environment*, 127, 210-222.
- Benenson, I., Torrens, P. M. (2004). Geosimulation: Object-based modeling of urban phenomena. *Computers. Environment and Urban Systems*, 28, 1-8.
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104, 133-146.
- Coulthard, T.J. (1999). Modelling upland catchment response to Holocene environmental change, school of geography, university of Leeds.
- Dongjie, G., Weijun, G., Kazuyuki, W. & Hidetoshi, F. (2008). Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model. *Journal of Geographical Sciences*, 18, 455-468.

- Eastman, J. R. (a). (2012). IDRISI Selva Tutorial, Manual Version 17, Clark Labs, Clark University.
- Eastman, J. R. (b). (2012). IDRISI Selva Manual, Manual Version 17, Clark Labs, Clark University.
- Fonstad, M. A. (2006). Cellular automata as analysis and synthesis engines at the geomorphology–ecology interface. *Geomorphology*, 77, 217-234.
- Garcia, A. M., Sante, I. Crecente, R. & Miranda, D. (2011). An analysis of the effect of the stochastic component of urban cellular automata models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35, 289–296.
- Guan, D., Li, H. Inohae, T. W. Nagaie, T. & Hokao, N. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222, 3761-3772.
- Gutman, G., Janetos, A. C. Justice, C. O. Moran, E. F. Mustard J. F. Rindfuss, R. R. Skole, D. Turner B. L. & Cochrane, M. A. (2004). *Remote sensing and digital image processing*. Springer.
- Lee, J. A., Lee, S. S. & Chi, K. H. (2010). Development of an urban classification method using a built-up index. Selected topics in power systems and remote sensing. Iwate Prefectural University.
- Lei, S., Jinghai, Z. Shaohong, R. Yuanman, H. & Miao, L. (2012). Landscape pattern change prediction of Jinhu coastal area based on Logistic-CA-Markov model. *Advances in information Sciences and Service Sciences*, 4(11), 1-10.
- Li, X., Yeh, A. G. (2002). Integration of principal components analysis and cellular automata for spatial decision making and urban simulation. *Science in China*, 45(6), 521–529.
- Liu, Y. (2009). *Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata*, Taylor & Francis Group: CRC Press.
- Mabodi, M., Hakimi, H. (1394). An Analysis of Land Use Land Changes and Simulation of Urban Expansion in Central Midlands City (Case Study: Khoy City) *Geographical research of urban planning*, 3(2), 211-226. (in Persian)
- Menard, A., Marceau, D. J. (2007). Simulating the impact of forest management scenarios in an agricultural landscape of Southern Quebec, Canada, using a geographic cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 79(3–4), 253–265.
- Ministry of Roads and Urban Development, Department of Roads and Urban Development East Azerbaijan province, in 1390, the master plan of the city of Maragheh, Volume I: assessment of the city. (in Persian)
- Mitsova, D., Shuster, W. & Wang, X. (2011). A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*, 99, 141–153.
- Moreno, N., Wang, F. & Marceau, D. J. (2009). Implementation of a dynamic neighborhood in a land-use vector-based cellular automata model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), 44–54.
- Movahed, A., Mostafavi, S. Soran Ahmadi, M. (1393). Model for Open space-physical Saqez approach to sustainable urban form. *Urban Planning Studies*, 2 (5), 55-75. (in Persian)
- Netzband, M., Stefanov, W. L. & Redman, C. (2007). *Applied Remote Sensing for Urban Planning, Governance and Sustainability*, Berlin: Springer.
- Pan, Y., Roth, A. Yu, Z. & Doluschitz, R. (2010). The impact of variation in scale on the behavior of a cellular automata used for land use change modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 400–408.
- Sante, I., Garcia, A. Miranda, M. D. & Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96, 108–122.
- Van Vliet, J., White, R. & Dragicevic, S. (2009). Modeling urban growth using a variable grid cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), 35–43.

- Wang, F., Hasbani, J. G. Wang, X. & Marceau, D. J. (2011). Identifying dominant factors for the calibration of a land-use cellular automata model using Rough Set Theory. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35, 116–125.
- White, R., Engelen, G. & Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(3), 323–343.
- Wolfram, S. (1984). Computation theory of cellular automata. *Communications in Mathematical Physics*, 96, 15–57.
- Wu, F. (2002). Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(8), 795-818.
- Xin, Y., Xin-Qi, Z. & Li-Na, L. (2012). A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling*, 233, 11-19.
- Xu, H. (2007). Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic- oriented index combination technique. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 73(12), 1381-1391.
- Yang, X., Li, J. (2013). *Advances in mapping from remote sensor imagery: techniques and applications*, Taylor & Francis Group: CRC Press



**How to cite this article:**

Sarvar, H. (2020). Simulation of landuse changes and urban dynamics (Case study: Maragheh City). *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 14(4), 891-912. [http://jshsp.iurasht.ac.ir/article\\_672121.html](http://jshsp.iurasht.ac.ir/article_672121.html)

## Simulation of Landuse Changes and Urban Dynamics (Case Study: Maragheh City)

Hoshang sarvar\*

Assistant Professor Dep. of Geography and Urban Planning, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Received: 30 April 2018

Accepted: 04 January 2019

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

In coming decades, the rapid increase of large cities in the developing world and the transformation of urban landscapes in the developed world will be among the greatest challenges to human welfare and a viable global environment. In this context, there are several approaches for modeling urban development. In the past three decades, studies of nonlinear process and open systems have led to the emergence of new understandings of complex systems and their evolution. Based on these understandings, cities are looked at as complex and open systems that have the capability of self-organization. Urban models based on the automata technique have also emerged under the paradigm of a self-organizing system, with cellular automata (CA) being the simplest but most popular in action. In this research, the spatial expansion of Maragheh city was simulated using Cellular automata- Markov chain hybrid model.

#### Methodology

White (1998) defined a CA as “a discrete cell space, together with a set of possible cell states and a set of transition rules that determine the state of each cell as a function of the states of all cells within a defined cell-space neighborhood of the cell”. In the CA framework, dynamics are represented as a change in the state of grid cells from one time step to the following time step. The cell need not, however, necessarily change its state. What happens to each grid cell is defined by a transition rule or transition rules. If the transition rule requires that the state of a grid cell is only dependent on its state at a previous time step, such a model is called a Markov model, and is not considered a CA model. Cellular automata models have one additional feature: the transition rules operate on cells based on the local neighborhood of those cells. For example, in a 2D grid, the state of a cell at time  $t+1$  could be a function of the states of the cells to the north, south, east, and west of the cell of interest at time  $t$ .

#### Result and Discussion

##### - Transition probability matrix

Transition probabilities express the likelihood that a pixel of a given class will change to any other class (or stay the same) in the next time period. For study area, the transition probability matrix of land covers have been presented in table1. In comparison with other classes, transition probability of class4 (barren lands and dry farming) state to other class states is higher.

Table1. Calculated transition probability matrix for 2030

Land cover	Probability of changing to :			
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Class 1	0.9973	0.0013	0.0004	0.0010
Class 2	0.0967	0.8975	0.0013	0.0044
Class 3	0.0294	0.0491	0.9025	0.0190
Class 4	0.0906	0.0495	0.0012	0.8586

\* Corresponding Author

Email: [h.sarvar1351@gmail.com](mailto:h.sarvar1351@gmail.com)

### - Transition areas matrix

This expresses the total area (in cells) expected to change in the next time period. According to the transition areas matrix values (table2) is expected to the largest areas of transition in the study area related to transition of class2 and class4 to class1. So that, 8600 cells of class4 (about 774 hectares) and 4635 cells of class 2 (approximately 417 hectares) will change to class1 state.

Table2. Calculated transition areas matrix for 2030

Cells in: Land cover	Expected to transition to :			
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Class 1	26798	34	11	26
Class 2	4635	43004	61	213
Class 3	45	75	1379	29
Class 4	8600	4700	116	81484

### - Urban Cellular automata and creating of suitability maps

In this study, another transition rules were designed using multi criteria evaluation and fuzzy membership functions. All layers that were obtained by applying these rules overlapped and suitability map was obtained for each class and then entered to the model. In relation to the neighborhood, Von Neumann neighborhood was used as a 5×5 proximity Filter. According to output of cellular automata- Markov chain model, spatial expansion of city in the coming years will be almost similar to previous trend, and city mainly be expanded towards barren lands in the east of study area.

### Conclusion

Results represent high efficiency of Cellular automata- Markov chain in the urban spatial growth simulation. In the past three decades, development trend of Maragheh city has been more towards barren lands. According to the output of the model, this trend will continue over the next 17 years. So that, the city will be expended due to the transition of barren lands cells state to urban cells state, and approximately 774 hectares from surrounding barren lands will be converted to urban lands. However, with continue of the previous trend, nearly 417 hectares of good agricultural lands will also change to urban lands.

Suggested that in order to Maragheh city physical development prevent the agricultural lands destruction. Especially the agricultural lands surrounding the city are mostly orchards, and have great importance in supplying the needs of city to the agricultural products, tourism, and reduce air pollution. In this context, it is desirable that city developed primarily in the form of town establishing in the South East of study area. However, it is necessary to consider the risk of flooding in these areas.

**Key words:** Urban dynamics, cellular automata, markov chain, geographic information systems, Maragheh City