مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۲، پاییز ۱۴۰۱، صص ۶۷-۸۱

شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی شهر گچساران با استفاده از مدل سلول‌های خودکار

محسن درخش[۱]

سهیل سبحان اردکانی[۲*]

s_sobhan@iauh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۲**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به پیامدهای توسعه شهری از جمله تغییر و تخریب محیط‌زیست و تغییر در ساختار فیزیکی، فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی شهرها، پیش‌بینی و مدل‌سازی الگوهای گسترش و تغییرات فیزیکی شهرها طی بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند در راستای دست‌یابی به توسعه پایدار شهری و فراهم کردن اطلاعات جامع برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری از اهمیتی بسزا برخوردار باشد. لذا، این مطالعه با هدف شبیه‌سازی روند گسترش شهر گچساران با استفاده از مدل سلول‌های خودکار (CA) برای سال ۲۰۴۴ میلادی با در نظر گرفتن روند توسعه شهر طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۵ انجام یافت.

روش بررسی: در این پژوهش توصیفی، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و سنجنده‌های MSS 1972، TM 1986، ETM+ 1999 و OLI 2015 نقشه‌ها و روند تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه استخراج شد.

یافته‌ها: نتایج بیان‌گر رشد فزاینده کاربری شهری طی زمان به‌ویژه در نیمه شمالی شهر و کاهش کاربری طبیعی و بوم‌شناختی و به‌ویژه اراضی کشاورزی و مرتعی بود. همچنین مشخص شد که روند گسترش و توسعه شهر گچساران در طی دوره ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۵ از الگویی مناسب تبعیت نکرده و از این‌رو به‌ویژه در قسمت غربی رشد ناموزون شهر نمایان است. از طرفی مطابق پیش‌بینی خروجی مدل، در سال ۲۰۴۴، در حدود ٪۷۰ وسعت منطقه مورد مطالعه را کاربری شهری به خود اختصاص خواهد داد.

بحث و نتیجه‌گیری: با استناد به یافته‌های پژوهش می‌توان اذعان داشت که مدل سلول‌های خودکار از دقت قابل قبول برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی روند توسعه شهری برخوردار است و می‌تواند به‌طور موثر برای مطالعه پویایی شهری و به‌ویژه در شهرهایی با رشد سریع مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: توسعه شهری، کاربری اراضی، مدل سلول‌های خودکار، ضریب کاپا، گچساران.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

۲- استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران (نویسنده مسوول).

Human and Environment, No. 62, Autumn 2022, pp. 67-81

Simulation of the Spatial Pattern of Land Use Change in the City of Gachsaran Using Cellular Automata Model

Mohsen Derakhsh[1]

Soheil Sobhanardakani[2*]

s_sobhan@iauh.ac.ir

Received: May 14, 2020 Accepted: October 3, 2020

Abstract

Background and Objective: Simulation of land-use change is very useful for governmental plans and policies. A number of models including system models, Markov chains, the CLUES-S and the SLEUTH have been developed for the simulation of land-use change. Among them, cellular automata (CA) modeling is widely applied to simulate complicated dynamic systems. In this regard, information on land use and also land cover and possibilities for their optimal use is essential for the selection, planning and implementation of land use schemes to meet the increasing demands for basic human needs and welfare. Therefore, this study was conducted to forecasting and modeling of urban development of city of Gachsaran using a CA Model for 2044.

Method: In this descriptive study, the land use mapping, a predominantly cloud-free image of Landsat Multispectral Scanner (MSS, 1972), Landsat Thematic Mapper (TM, 1986), Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+, 1999), and Operational Land Imager (OLI, 2015) were used to the modeling of land-use changes of the study area between the periods 1972 to 2015, and also to the simulation of land-use changes of city of Gachsaran in 2044.

Findings: Based on the results obtained, the increasing growth of urban use over time, particularly in the northern part of the city, and the decline in natural and ecological land use, especially agricultural land were observed. Also, the results clearly suggest that the development process of the city of Gachsaran during the recent years did not follow a proper pattern and, especially the unbalanced growth could be observed in the western part of the city. On the other hand, according to the forecasting of model output, in 2044 about 70% of the extent of the study area, will be dedicated to urban use.

Discussion and Conclusion: In general, it can be admitted that the CA model has a high ability in simulating the urban development process and can effectively be used to study the urban dynamic, especially in rapidly growing cities.

Keywords: Urban development, Land use, Automata cellular model, Kappa coefficient, Gachsaran.

1- Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

2- Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran (Corresponding Author).

مقدمه

امروزه، شهرنشینی که با ایجاد دست‌کاری‌های گسترده بشر در چهره طبیعی زمین و به‌دنبال آن مخـاطرات عظـیم محیط زیسـتی، اجتماعی و کاهش کیفیـت زنـدگی جوامـع شـــهری و حتی جوامع غیرشـــهری همراه است، شرایط زندگی ساکنان شهرها را در معرض تهدید و نابودی قرار داده است (۱). در این خصوص، با توجه به رشد شهرنشینی در قرن حاضر می‌توان گفت جهان در سده بیست و یکم دچار شهرنشینی فزاینده‌ای شده است. از این‌رو، توسعه شهرنشینی و مهاجرت بی‌رویه جمعیت روستایی به مناطق شهری از پدیده‌ها و رخدادهای جهانی قابل توجه است. این موضوع توجه بسیاری را به مطالعه در زمینه توسعه شهرنشینی تحت شرایط تغییرات محیطی جلب کرده است (۲). بنابراین، به‌دلیل از بین رفتن محیط‌زیست شهری و همچنین اراضی طبیعی، فهم الگوهای گسترش و تغییرات فیزیکی شهرها طی زمان‌های مختلف، هدف عمده تحقیقات شهری است (۳). از این‌رو، پویش، پیش-بینی و مدل‌سازی توسعه شهری به‌عنوان یک مسأله مهم در حوزه محیط‌زیست می‌تواند ضمن جستجوی راه‌های دست‌یابی به توسعه پایدار شهری و از طرفی درک فرآیند توسعه شهری، اطلاعات جامع برای سیاستگذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری در سطوح محلی، استانی و ملی را فراهم نماید (۴).

رشد شهری یک فرایند پیچیـده چندبعدی شـامل جنبه‌های مکانی، زمانی، فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی است، و به‌همین دلیل مدل‌سازی آن امری مشکل محسوب می‌شود (۵ و ۶). در این راستا، مدل‌های توسعه شهری، از جمله مدل‌های Land-Use Transportation، Urban Dynamics Model و Cellular Automata که در قالب برنامه‌های رایانه‌ای تدوین شده‌اند، شامل توابع و فرآیندهایی است که ساختار مکانی شهر را بر اساس کـاربری زمین، جمعیت، اشتغال و حمل و نقل نشان داده و می‌توانند پیش‌بینی‌هایی از الگوهای مکانی در آینده ارایه دهند (۱). مدل‌سازی زمانی و مکانی رشد شهر راهی برای کشف فرآیندها و الگوهای زمانی-مکانی تحول پوشش و کاربری اراضی (Land Use/Land Cover) در سطوح چشم‌اندازهای شهری است. این مدل‌ها قادر هستند یک ابزار کمی برای کمک به تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی‌های شهری و مدیریت قابلیت و تناسب اراضی برای توسعه و به‌ویژه توسعه پایدار و درخور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح در بین صاحب‌نظران شهرسازی ارایه دهند (۹-۷). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل سلول‌های خودکار اشاره کرد که طی دو دهه گذشته پژوهشگران طراحی و توسعه شهری به‌عنوان یک مدل دینامیک مکانی برای غلبه بر برخی نارسایی‌ها از آن استفاده کرده‌اند.

مدل سلول‌های خودکار اولین بار توسط آلن تارینگ ریاضیدان انگلیسی پیشنهاد شد. مـدل‌هـای CA، مدل‌هایی هستند که در آن سلول‌های مجاور و پیوسته که می‌توانند چندبعدی و یا شبکه چهارگوش نیز باشند، حالت یا خصیصه‌های آن‌ها را از طریق کاربرد تکراری قوانین سـاده به‌صورت ترکیباتی از رشد و یا کاهش تغییر می‌دهند. این تغییر تابع و منبع، تغییراتی است که در سلول مجاور یا همسایه ر خ می‌دهد. به بیان دیگر، مدل CA، یک تکنیک مدل‌سازی پویا، غیرخطی، غیر متمرکز است که در فضای رستری تعریف می‌شود و در راستای مرئی‌سازی توزیع فضایی است (۱۰). مدل‌های شهری پایه‌ریزی شده بر اساس شیوه خودکار نیز با الگوبرداری از سیستم خودسازمانی بر مبنای سلول‌های خودکار با داشتن ویژگی‌های فضایی و غیرفضایی خود دارای ساختاری به منظور پردازش اطلاعات بر مبنای خصوصیات، قوانین و داده‌های خارجی است (۸ و ۱۰).

تاکنون در زمینه مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از مدل سلول‌های خودکار چندین مطالعه انجام یافته است. در پژوهشی تغییرات آتی کاربری اراضی شهر مشهد براساس الگوی بهینه بوم‌شناختی با بهره‌گیری از مدل سلول‌های خودکار و شبکه‌های عصبی مصنوعی بر مبنای تداوم وضع موجود برای سال ۱۴۰۵ شبیه‌سازی شد (۱۱). در پژوهشی تغییرات کاربری اراضی و گسترش شهر خوی با استفاده از مدل

سلول‌های خودکار در زنجیره مارکو برای سال ۱۴۰۰ شبیه-سازی شد (۱۲). در تحقیقی نسبت به بررسی عوامل مؤثر در روند توسعه فیزیکی کلانشهر تبریز با توجه به مقوله توسعه فضایی پایدار شهری از بعد بوم‌شناختی و حفظ شرایط محیط‌زیستی برای دو دهه آتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ارزیابی چند معیاری و سلول‌های خودکار اقدام شد (۸). در مطالعه‌ای دیگر از اتوماسیون سلولی و الگوریتم ژنتیک برای مدل‌سازی توسعه شهر شیراز استفاده شد (۱). در پژوهشی از مدل سلول‌های خودکار برای بررسی روند و چگونگی تاثیر طوفان کاترینا در الگوی رشد شهری منطقه ساحلی می‌سی‌سی پی استفاده شد (۱۳). از طرفی به‌منظور تجزیه و تحلیل الگوهای توسعه شهری و خودسازگار با محیط‌زیست در منطقه دریاچه پویانگ چین از یک مدل ترکیبی متشکل از مدل رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده شد (۱۴). در پژوهشی رشد شهری تورنتو با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکو برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ پیش‌بینی و شبیه‌سازی شد (۱۵). در پژوهشی از تلفیق رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکف و مدل‌های ماشین‌های سلولی برای تجزیه و تحلیل گسترش حومه منطقه کالن شهر تهران برای ای ۲۰۰۶، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ استفاده شد (۱۶). همچنین برای مدل‌سازی رشد شهری، شهر ونکور کاندا از مدل سلول‌های خودکار متغیر شبکه‌ای بهره گرفته شد (۱۷).

شهر گچساران (دوگنبدان) با توجه به دارا بودن ذخایر عظیم نفت و گاز، قرار گرفتن در مسیرهای مواصلاتی اهواز، شیراز و جزایر و بنادر جنوبی کشور و همچنین تعدد زیاد روستاها در حومه، در طی چند دهه اخیر با افزایش و رشد جمعیت و مهاجرت مواجه بوده است، لذا، این عوامل افزایش تقاضا برای اراضی شهری را نیز افزایش داده است. از این‌رو، مدل‌سازی توسعه شهری گچساران می‌تواند ضمن نشان دادن بهترین مسیر روند توسعه این شهر، به ساماندهی و رشد متوازن فضای شهری نیز منجر شود. بنابراین، این مطالعه با هدف پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات زمانی و مکانی شهر گچساران برای سال ۲۰۴۴ بر اساس الگوی تغییرات گذشته طی دوره‌های زمانی ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۵ و با استفاده از روش سلول‌های خودکار انجام یافت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد در جنوب غربی ایران بین ۳۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه طول جغرافیایی شرقی استقرار یافته است. شهر گچساران (دوگنبدان) نیز بعنوان مرکز شهرستان گچساران با جمعیت ۹۴۶۳۸ نفر در منطقه گرمسیری استان کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است و از شمال به شهرستان کهگیلویه، از شرق و شمال شرقی به شهرستان ممسنی (استان فارس)، از جنوب به بنادر دیلم و گناوه (استان بوشهر)، و از غرب به شهرستان بهبهان (استان خوزستان) محدود می‌شود. گچساران از جمله شهرهای نفت‌خیز کشور محسوب می‌شود که روزانه بالغ بر ۷۰۰/۰۰۰ بشکه نفت از دخایر آن استحصال می‌شود. قرار گرفتن این شهر در میان رشته کوه بزرگ خامی از سلسله جبال رشته کوه زاگرس در نیمه شمالی و بیابان خشک در نیمه جنوبی باعث پدیدار شدن دو نوع آب و هوای معتدل و خشک در نیمه شمالی و گرمسیری خشک در نیمه جنوبی شده است (۱۸). موقعیت استقرار استان کهگیلویه و بویراحمد در کشور و همچنین شهر گچساران در استان در شکل ۱ ارایه شده است.

تهیه تصاویر ماهواره‌ای

در گام نخست نسبت به تهیه تصاویر سنجنده‌های MSS 1972، TM 1986، ETM+ 1999 و OLI 2015 از منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی ۴۳ ساله اقدام شد. به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای و از طرفی استخراج نقشه کاربری اراضی به‌ترتیب از نسخه ۹/۱ و ۱۰/۲ نرم‌افزارهای ERDAS IMAGINE و ArcGIS و برای تعیین میزان تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مورد بررسی، از تابع Cross Tabulation در نرم‌افزار IDRISI استفاده (۱۹).

شکل ۱- موقعیت استقرار استان کهگیلویه و بویراحمد در کشور (الف) و شهر گچساران در استان (ب)

Figure 1- Location of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province in Iran (a), and Ghachsaran Tiownship in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province (b)

پردازش تصاویر

الف) تصحیحات هندسی و اتمسفری: در پردازش تصاویر ماهواره‌ای ابتدا همه تصحیحات هندسی و اتمسفری لازم انجام شد. در تصحیح هندسی به منظور هم مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای از نقشه‌های توپوگرافی رقومی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد. به این صورت‌که نقاط کنترل زمینی، شامل: تقاطع جاده‌ها، منابع آب جاری در اطراف مناطق شهری، تأسیسات موجود و غیره را از نقشه توپوگرافی انتخاب کرده و نسبت به زمین مرجع کردن (Georeferencing) تصویر سنجنده OLI 2015 با استفاده از نقاط کنترل زمینی اقدام شد. سپس تصاویر سایر سنجنده‌ها بر اساس تصویر زمین مرجع ماهواره OLI 2015 تصحیح شدند (۱۹). در نهایت تصویر MSS، TM، ETM+ و OLI با خطای RMS به‌ترتیب برابر با ۰/۰۹، ۰/۰۷ ، ۰/۰۸ و ۰/۰۵ زمین مرجع شدند. برای تصحیح اتمسفری نیز از نرم‌افزار ATCOR بر مبنای مدل MODTRAN استفاده شد.

ب) تهیه نقشه کاربری اراضی: بدین منظور و در اولین گام، تصاویر ماهواره‌ای به‌روش طبقه‌بندی نظارت نشده (Unsupervised Classification) برای آشنایی بیش‌تر با کاربری‌های منطقه، به‌خصوص در سال‌های گذشته و شناخت کلی کلاس‌های پوشش زمین، و همچنین به‌عنوان ابزار کمکی در تعیین نقاط تعلیمی (Training Samples)، طبقه‌بندی شدند. سپس با توجه به شناخت نسبی از منطقه و انجام مطالعات میدانی از قبیل برداشت‌های چشمی و کاربرد GPS، همچنین استفاده از نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت نشده و تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس تحت نرم‌افزار Google Earth، نسبت به تعیین نقاط تعلیمی برای ۵ کلاس، شامل: اراضی شهری، درختی و درختچه‌ای، بیابانی، آبی و کشاورزی اقدام شد. پس از تعیین و واردسازی نمونه‌های تعلیمی در

نسخه ۹/۱ نرم‌افزار ERDAS IMAGINE، نسبت به انجام طبقه‌بندی نظارت شده (Supervised Classification) با روش حداکثر احتمال اقدام شد. بدین منظور برای هر تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی نظارت شده به‌طور جداگانه انجام یافت و از طرفی برای هر تصویر یک نقشه کاربری اراضی استخراج شد (۲۰-۲۲).

ج) ارزیابی دقت: پس از طبقه‌بندی و تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی، ارزیابی صحت نقشه‌ها انجام یافت. بدین منظور صحت نقشه‌های کاربری حاصل در این مطالعه از طریق شاخص دقت کلی (Overall Accuracy) و ضریب کاپا (Kappa Coefficient) محاسبه شد (۱).

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

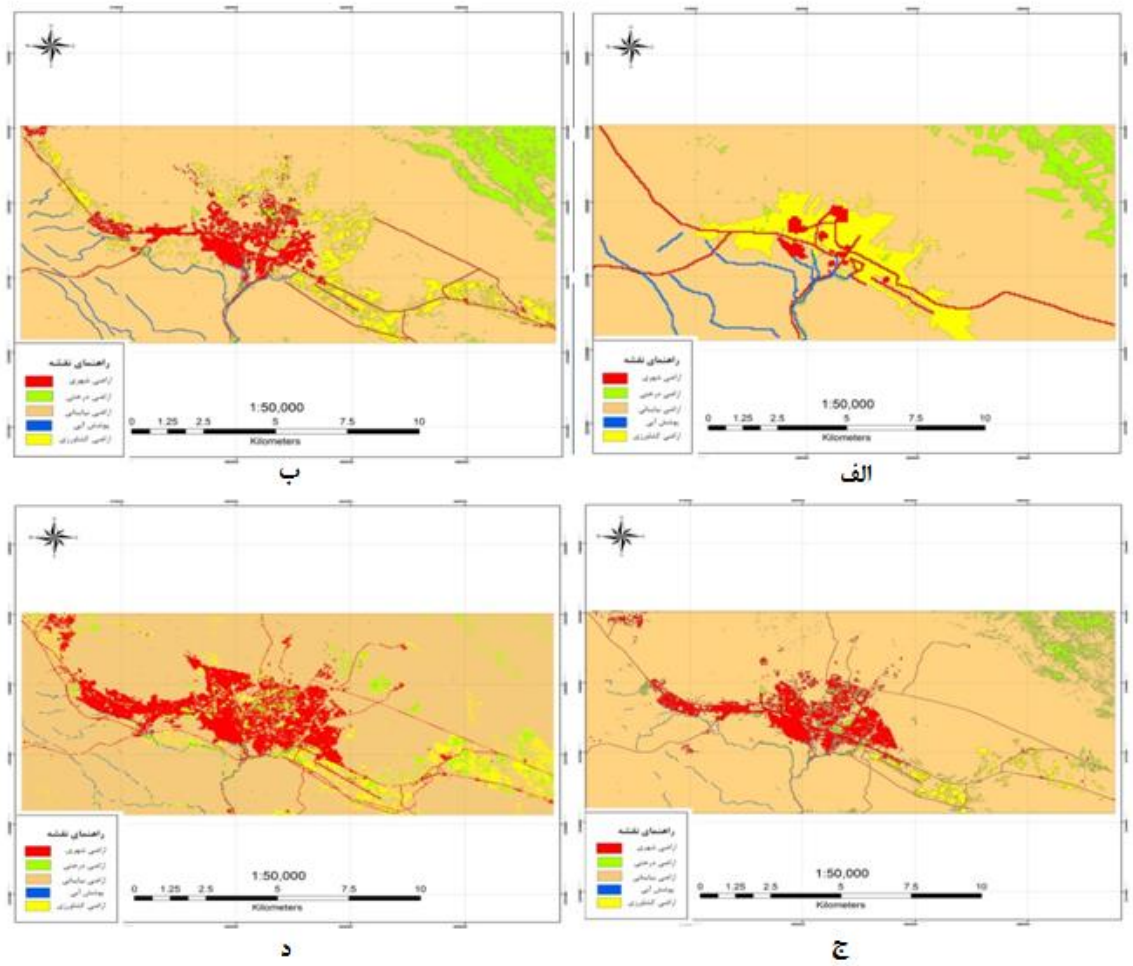
برای پی‌بردن به تغییرات حادث در محدوده مورد مطالعه، نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای دوره‌های زمانی ۱۹۸۶، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۵ دو به دو با استفاده از روش جدول متعامد (Cross Tabulation) در نرم‌افزار IDRISI با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت و در نتیجه ماتریسی که ردیف‌ها و ستون‌های آن به‌ترتیب مربوط به کاربری سال پایین و کاربری سال بالا بود، ایجاد شد. لازم به ذکر است که در این مرحله از تصاویر سنجنده MSS 1972، به‌دلیل عدم تطبیق توان تفکیک مکانی و رادیومتریک با سایر تصاویر استفاده نشد.

شبیه‌سازی و مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

در این مرحله احتمال انتقال هر کاربری به کاربری دیگر و از طرفی شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری شهری برای سال ۲۰۴۴ به‌عنوان افق پیش‌بینی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و از طریق زنجیره مارکوف با استفاده از لایه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۵ در نرم‌افزار IDRISI محاسبه شد (۲۰). بدین صورت‌که در ماژول MARKOV نرم‌افزار IDRISI، تغییراتی که تا سال ۲۰۴۴ روی خواهد داد، پیش‌بینی شد. سپس در ماژول CA_MARKOV از جدول مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرطی برای پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در دوره زمانی مورد نظر در تحلیل زنجیره مارکوف استفاده شد. پس از تولید نقشه شبیه‌سازی شده، صحت و دقت این نقشه از طریق محاسبه ضریب شاخص کاپا و دقت کلی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

نقشه‌های کاربری اراضی شهر گچساران طی سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۶، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۵ میلادی و مساحت کاربری های تعیین شده طی سال‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در شکل ۲ و جدول ۱ ارایه شده است.



شکل ۲- نقشه‌های کاربری اراضی شهر گچساران: سال ۱۹۷۲ (الف)، سال ۱۹۸۶ (ب)، سال ۱۹۹۹ (ج)، سال ۲۰۱۵ (د)

Figure 2- Land use maps of the study area: 1972 (a), 1986 (b), 1999 (c), and 2015 (d)

با استناد به نقشه‌های کاربری اراضی شهر گچساران (شکل ۲)، روند تغییرات کاربری اراضی شهر گچساران در هر دوره زمانی متفاوت است، ولی روند تغییرات کاربری اراضی شهری به‌ویژه در نیمه شمالی شهر روند صعودی داشته و از دوره‌ای به دوره دیگر همواره با افزایش همراه بوده است.

نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی

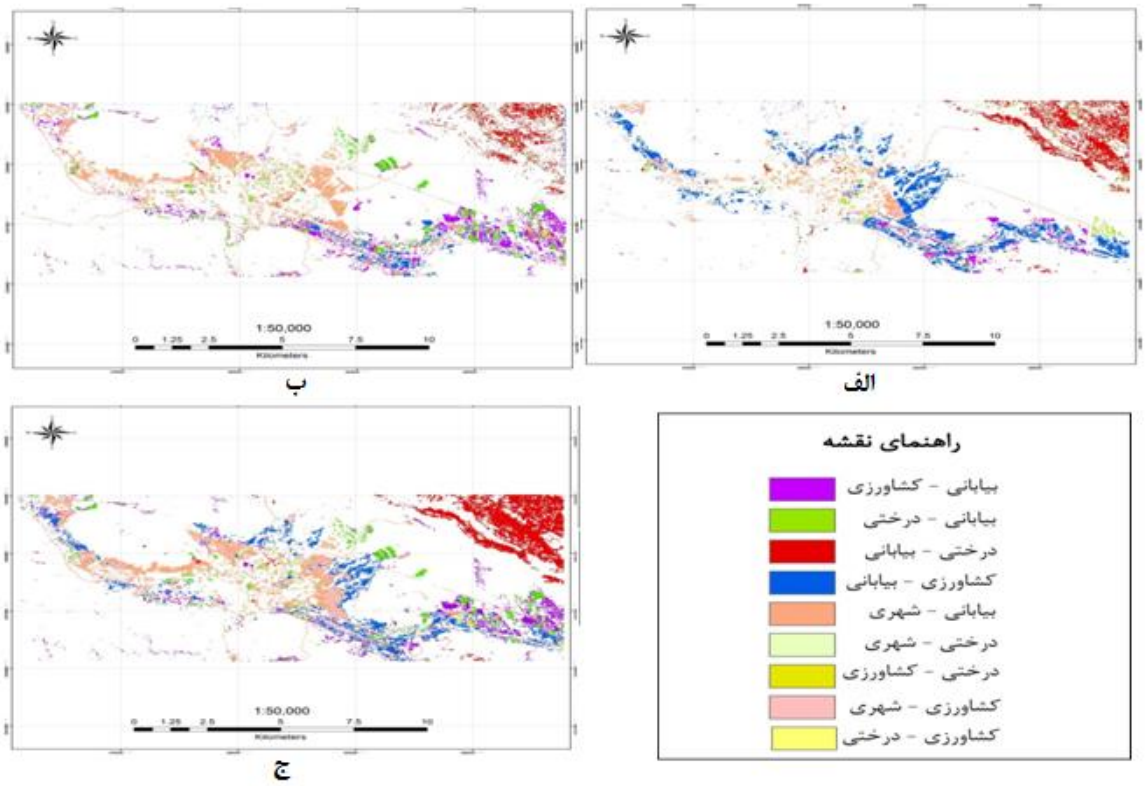
نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی نشان داد که به دلیل پایین بودن کیفیت و دقت مکانی، تصاویر سنجنده MSS 1972 از کم‌ترین دقت و صحت برخوردار بود.

جدول ۱- ارزیابی دقت کلی و ضریب شاخص کاپای نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده

Table 1- Overall accuracy and Kappa coefficient of the land use maps

نقشه کاربری اراضی	دقت کلی (٪)	ضریب کاپا
MSS 1972	۷۶	۰/۶۹
TM 1986	۸۹	۰/۷۸
ETM+ 1999	۹۱	۰/۸۳
OLI 2015	۹۳	۰/۸۷

نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی طی بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۹، نشان داد که تغییرات همراه با افزایش کاربری‌های انسان‌ساز از قبیل کاربری شهری و کاهش کاربری طبیعی و بوم‌شناختی بوده است. اما چشم‌گیرترین و شدیدترین تغییرات کاربری در این دوره زمانی مربوط به تبدیل حدود ۸۴۳ هکتار از اراضی کشاورزی به اراضی بیابانی به‌ویژه در نیمه شمالی و شرقی شهر گچساران و همچنین در امتداد جاده اصلی اهواز به شیراز بود. از طرفی مشخص شد که در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۵ به دلیل پیشرفت فناوری در زمینه‌های عمرانی، شهرسازی و همچنین کشاورزی تغییرات زیادی در کاربری‌های رایج منطقه مورد مطالعه به‌ویژه کاربری-های شهری و کشاورزی انجام یافته است. به طوری‌که در این دوره با تبدیل حدود ۶۱۰ هکتار از اراضی بیابانی نیمه شمالی شهر به کاربری شهری و نیز تبدیل حدود ۵۴۵ هکتار از اراضی بیابانی ناحیه شرقی شهر به کاربری کشاورزی، بیش‌ترین تغییرات کاربری مربوط به اراضی بیابانی بود. نتایج حاصل از جدول متعامد برای بررسی تغییرات دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ نیز بیان‌گر آن بود که بیش‌ترین تغییرات این بازه زمانی مربوط به گسترش و افزایش اراضی شهری است. به صورتی‌که حدود ۵۳۶ هکتار از اراضی بیابانی به اراضی شهری تبدیل شده است. شکل ۳ نشان‌دهنده آن است که بیش‌ترین روند گسترش اراضی شهری به‌علت قرار گرفتن رشته کوه خامی و ایجاد اقلیمی معتدل‌تر در نیمه شمالی و در اراضی بلافصل شهر و همچنین اراضی بلا استفاده درون سطح شهر انجام یافته است. همچنین نتایج نشان داد که کاربری کشاورزی در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ کاهش یافته است. بدین صورت‌که حدود ۵۵۱ هکتار از اراضی کشاورزی به بیابانی، حدود ۴۹ هکتار به اراضی درختی و حدود ۲۰۷ هکتار نیز به اراضی شهری (بیش‌تر در نیمه شمالی شهر) تغییر کاربری یافته است. روند تغییرات کاربری‌ها به یکدیگر طی دوره‌های زمانی ۱۹۸۶، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۵ بر حسب هکتار و همچنین روند تغییرات مساحتی هر کاربری از سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۵ به‌ترتیب در جدول ۲ و شکل۴ ارایه شده است.



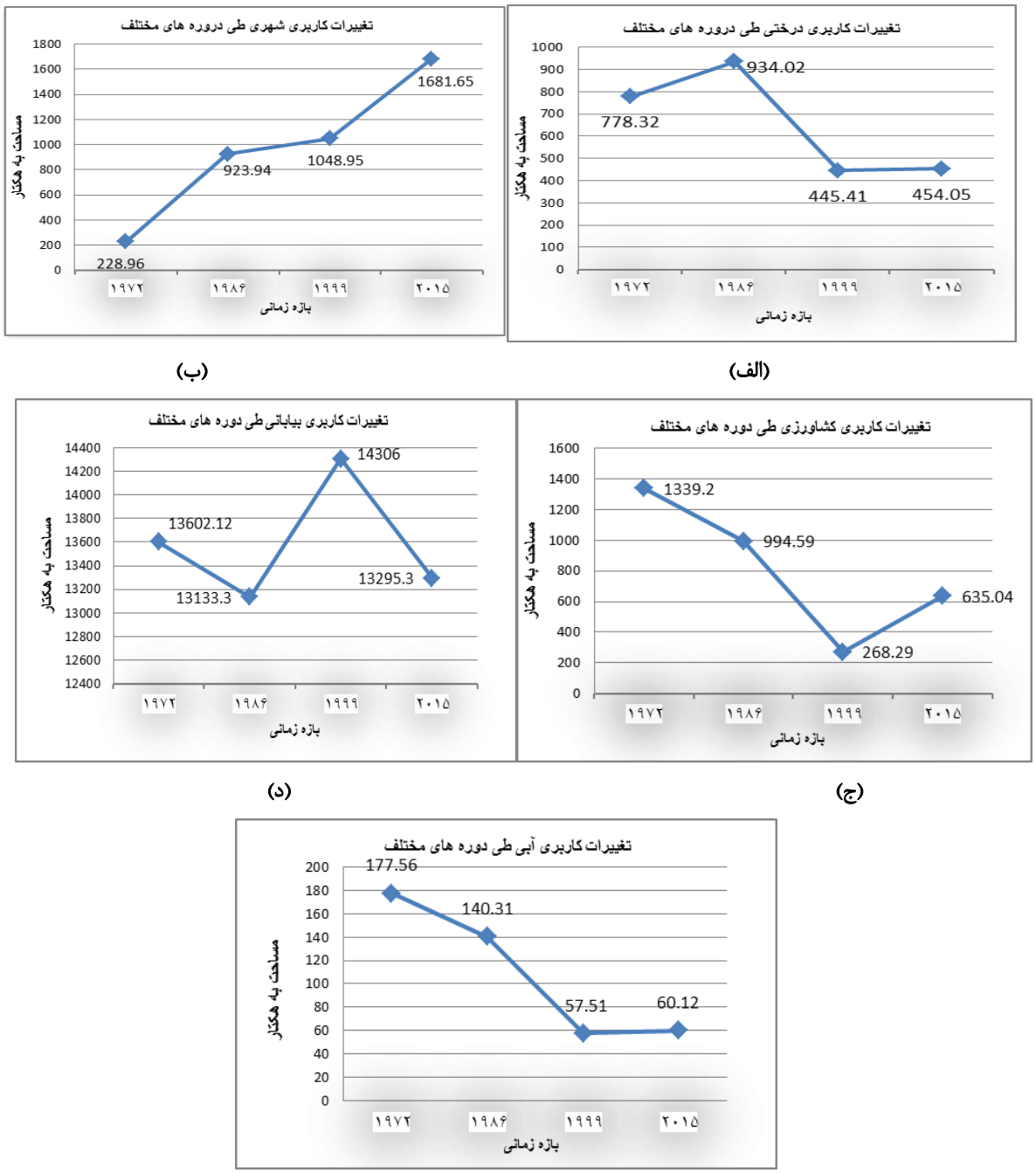
شکل ۳-نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی شهر گچساران: بازه زمانی ۱۹۹۹-۱۹۸۶ (لف)، بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۹ (ب)، بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۶ (ج)

Figure 3- Maps of land use changes of the study area: 1986-1999 (a), 1999-2015 (b), and 1986-2015 (c)

جدول ۲- تغییرات کاربری اراضی شهر گچساران بر حسب هکتار طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵

Table 2- Land use changes of the study area from 1986 to 2015 (ha)

بازه زمانی / کلاس کاربری	۱۹۹۹-۱۹۸۶	۲۰۱۵-۱۹۹۹	۲۰۱۵-۱۹۸۶
بیابانی- کشاورزی	۱۴۲/۲	۵۴۴/۹۵	۴۳۹/۹۲
بیابانی- درختی	۱۲۵/۷۳	۳۲۲/۵۶	۲۷۷/۶۵
بیابانی- شهری	۷۹/۲۶	۶۰۹/۸۵	۵۳۵/۶۸
کشاورزی- بیابانی	۸۴۲/۹۲	۱۵۹/۴۸	۵۵۰/۶۲
کشاورزی- درختی	۵/۷۶	۲۱/۱۵	۴۸/۸۷
کشاورزی- شهری	۳۰/۶۲	۱۲/۳۳	۲۰۶/۹۱
درختی- کشاورزی	۱۰/۹۸	۱۴/۷۶	۶/۹۳
درختی- بیابانی	۵۹۴	۳۰۹/۵۶	۷۸۴/۴۴
درختی- شهری	۱۵/۱۲	۱۰/۵۲	۱۵/۱۲
آبی- بیابانی	۸۲/۸	۰	۸۰/۱۹
بیابانی- آبی	۰	۲/۶۱	۰

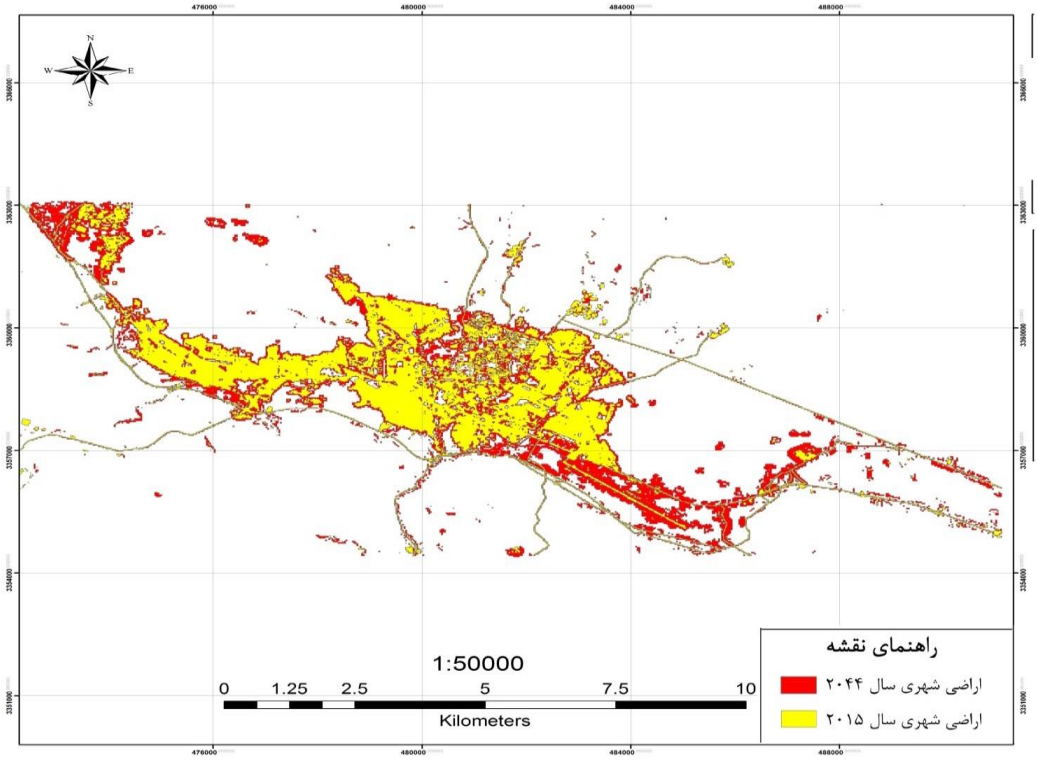


شکل ۴- نمودارهای مربوط به تغییر سطح کاربری‌ها طی بازه زمانی ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۵

Figure 4- Graphs of the changes in extent of land uses of the study area during 1972 to 2015

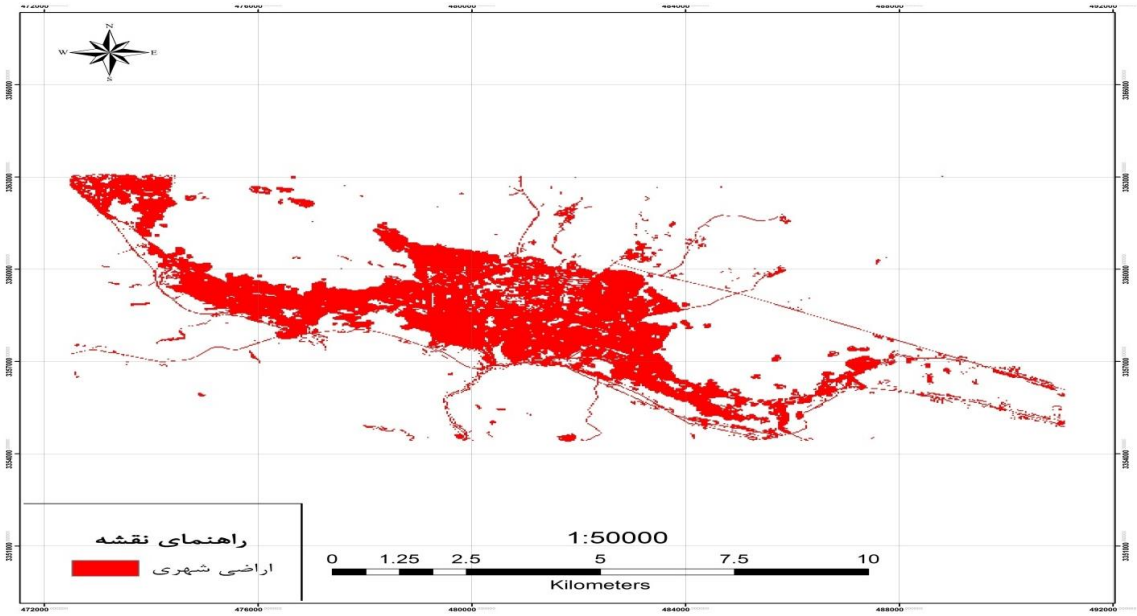
نتایج مندرج در تصویر شماره ۴ بر کاهش کاملاً محسوس در کاربری‌های بوم شناختی (اراضی درختی، پوشش آبی و کشاورزی) و افزایش سطح اراضی شهری دلالت دارد. بر این اساس، مساحت اراضی اختصاص داده شده به کاربری شهری با رشد تقریبی ۱۴۵۳ هکتاری، از ۲۲۹ هکتار در سال ۱۹۷۲ به ۱۶۸۲ هکتار در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است.

نتایج شبیه‌سازی و مدل‌سازی روند گسترش شهر گچساران برای سال ۲۰۴۴ بر مبنای تغییرات انجام یافته از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۵ و همچنین ماتریس احتمال حاصل از زنجیره مارکوف بیان‌گر وقوع تغییرات فراوان در کاربری شهری و گسترش اراضی این کاربری است. بدین صورت‌که با توجه به مدل‌سازی انجام یافته، پیش‌بینی می‌شود مساحت کاربری شهری با رشد تقریبی ٪۷۰ از ۱۶۸۲ هکتار در سال ۲۰۱۵ به حدود ۲۸۴۲ هکتار در سال ۲۰۴۴ افزایش یابد (تصویر شماره ۵). از طرفی با استناد به نقشه شبیه‌سازی شده، در سال ۲۰۴۴ شاهد گسترش فضای شهری از طریق تغییر کاربری زمین‌های رهاشده و بلا استفاده در محورهای شرق و غرب شهر به خصوص در سمت شرقی و در امتداد جاده گچساران به شیراز خواهیم بود (تصویر شماره ۶).



شکل ۵ - نقشه تغییرات کاربری شهری گچساران طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۴

Figure 5- Map of the changes in land uses of the study area during 2015 to 2044



شکل ۶- نقشه شبیه‌سازی شده روند گسترش کاربری شهری گچساران در سال ۲۰۴۴

Figure 6- Simulated map of urban development trends of the study area in 2044

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی دقت مدل به‌منظور سنجش و ارزیابی اعتبار نقشه‌های پیش‌بینی بر اساس محاسبه ضریب شاخص کاپا و همچنین دقت کلی نقشه مدل‌سازی شده نشان داد که مقدار ضریب شاخص کاپا و میزان دقت کلی آن به‌ترتیب برابر با ۰/۷۹ و ۸۷٪ بوده است.

افزایش جمعیت و پیشرفت فناوری در دو دهه اخیر سبب شده است تا بشر برای رفع نیازهای نامحدود خود اقدام به تخریب طبیعت و تغییر نوع کاربری طبیعی آن کرده و به‌دنبال آن سطح وسیعی از منابع این کره خاکی دچار تباهی شدید شود. تبدیل کاربری زمین، بیابان‌زایی، جنگل‌زدایی، فرسایش خاک و بسیاری دیگر از پیامدهایی که به‌واسطه مدیریت ضعیف و غیر اصولی در اداره سرزمین، سلامت منابع‌طبیعی جهان را به‌خطر می‌اندازند، در بیش‌تر موارد به‌دلیل استفاده غیرمنطقی از سرزمین روی می‌دهند. در این میان تبدیل اراضی طبیعی به کاربری شهری و مدیریت ناصحیح در این امر موجب بروز خسارات زیادی به محیط‌زیست طبیعی شده است (بالی و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۴). امروزه گسترش فیزیکی و بدون برنامه-ریزی شهرها با ایجاد دستکاری‌های گسترده در چهره طبیعی زمین، مهاجرت روستانشینان به شهرها، رشد بی‌رویه جمعیت و نیز توسعه اقتصادی باعث پیدایش و تداوم مخاطرات عظیم محیط‌زیستی و اجتماعی و کاهش کیفیت زندگی جوامع شهری و غیرشهری شده است. بدین صورت که شرایط زندگی ساکنان شهرها در معرض تهدید و نابودی قرار گرفته است (۱ و ۶).

نتایج حاصل از این پژوهش که با هدف مدل‌سازی روند توسعه شهر گچساران توسط مدل سلول‌های خودکار انجام یافت، نشان داد که در دوره مورد مطالعه (۲۰۱۵-۱۹۷۲) با روند توسعه شهری مواجه هستیم، که این روند با از بین رفتن سایر کاربری های طبیعی به‌خصوص کشاورزی غالباً در نیمه شمالی شهر به‌واسطه استقرار رشته کوه خامی و برخورداری از اقلیم معتدل‌تر و از طرفی مجاورت با جاده اصلی شیراز-اهواز، همراه بوده است. از دیگر سو، تغییرات شدید اراضی درختی و درختچه‌ای نیز به‌علت فرسایش بادی و آبرفتی، رانش زمین و ایجاد گسل، قطع بی‌رویه درختان توسط ساکنین و به‌تبع آن کاهش زادآوری طبیعی درختان کاملاً محسوس است، که این تغییرات منجر به ایجاد اراضی بیابانی و لخت شده است.

نتایج پیش‌بینی و شبیه‌سازی روند توسعه شهر گچساران برای سال ۲۰۴۴ میلادی نیز حاکی از آن است که در آینده نیز به مانند سه دهه گذشته که به‌واسطه بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی- فضایی شهر، تبدیل عامدانه اراضی با ارزش بوم‌شناختی به کاربری بایر شهری و سپس به کاربری های ساخته‌شده، گستره وسیعی از اراضی با کاربری کشاورزی به اراضی با کاربری شهری تغییر یافته است، بخش دیگری از اراضی کشاورزی و مرتعی (تقریباً ٪۷۰) در خارج از گستره فعلی شهر و به‌ویژه در نیمه شمالی منطقه در امتداد جاده اصلی به اراضی شهری تغییر کاربری دهند.

نتایج تحقیقی که با هدف درک عوامل مؤثر در روند توسعه فیزیکی کلان‌شهر تبریز طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ با استفاده از روش ارزیابی چند معیاری و سلول‌های خودکار انجام یافت، نشان داد که بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی- فضایی شهر به‌خصوص طی ۳۰ سال گذشته منجر به نابودی اراضی کشاورزی یا تبدیل عامدانه این اراضی به کاربری شهری شده است (۸). در مطالعه‌ای که با هدف سنجش گستردگی شهری ارومیه با روش تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف انجام یافت، نتایج بیان‌گر آن بود که در نتیجه افزایش کاربری شهری، تغییرات شدید در کاربری کشاورزی را منجر شده است. از طرفی پیش‌بینی شد که گسترش کاربری شهری، ناپایداری در توزیع بهینه خدمات را به همراه خواهد داشت (۲۳). از طرفی، نتایج پژوهشی دیگر که با هدف بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر بیجینگ چین با استفاده از ترکیب مدل رگرسیونی و روش مارکوف تحت مدل سلول‌های خودکار انجام یافت، نشان داد که اراضی مرتعی طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱ به‌شدت کاهش و کاربری شهری با رشد چشم‌گیر مواجه بوده است (۲۴).

ارزیابی و بررسی دقت و صحت مدل شبیه‌سازی شده توسعه شهر گچساران بر اساس ضریب شاخص کاپا نشان داد که با ضریب برابر با ۰/۷۹، نتایج شبیه‌سازی در مقایسه با شبیه‌سازی تصادفی قابل اعتمادتر است. همچنین دقت کلی برابر با ٪۸۷ برای مدل پیش‌بینی نیز قابل قبول بوده و نشان دهنده این موضوع است که ٪۸۷ از سلول‌ها به‌درستی شبیه‌سازی شده‌اند. در پژوهشی که به‌منظور شبیه‌سازی توسعه شهر شیراز بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ از مدل اتوماسیون سلولی (سلول‌های خودکار) و الگوریتم ژنتیک استفاده شد، نتایج نشان داد که ضریب شاخص کاپا و دقت کلی مدل به‌ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ٪۹۲ است، که دقت قابل قبولی محسوب می‌شود (۱). از طرفی، نتایج پژوهشی که طی آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس، روند توسعه شهر تهران بررسی شد، نشان داد که با شاخص کاپای برابر با ۰/۸۷ و دقت کلی برابر با ٪۹۳ مدل‌سازی مبتنی بر روش سلول‌های خودکار قابل اتکا است (۲۵). Liu و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهشی دیگر گزارش کردند که دقت و صحت مدل سلول‌های خودکار با ضریب شاخص کاپا ۰/۵۷-۰/۴۸ و دقت کلی ٪۷۹-٪۷۴ برای شبیه-سازی گسترش شهر گوانگژو چین تایید نشده است (۲).

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روند گسترش شهر گچساران در طی سالیان اخیر از الگوی مناسبی تبعیت نکرده و موجب رشد ناموزون، و به‌ویژه در قسمت غربی شهر شده است. مطابق نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی، با ثابت بودن روند تغییرات، در آینده شاهد تغییر کاربری بسیاری از اراضی کشاورزی به کاربری شهری خواهیم بود که باعث رشد خطی، ناموزون و بدقواره شهر خواهد شد. همچنین نتایج کلی پژوهش نشان داد مدل CA، مدلی مناسب برای پیش‌بینی و شبیه-سازی روند توسعه شهری است. در نهایت به‌منظور جلوگیری از پراکنش افقی شهر و حفظ منابع در راستای توسعه پایدار و درخور شهری و همچنین برنامه‌ریزی به منظور بهره‌برداری و استفاده صحیح از اراضی بیابانی و رهاشده نیمه جنوبی شهر گچساران نسبت به نظارت دقیق بر نحوه و الگوی تغییر کاربری اراضی، استفاده از الگوی شهر فشرده، نوسازی بافت‌های فرسوده شهری و استفاده از زمین‌های بایر و خالی در درون شهر توصیه می‌شود.

منابع

1- Zarei, R., Alesheikh, A.A. 2013. Urban growth modeling with cellular

automata and genetic algorithm (the study area: Shiraz City). Research and Urban Planning, 3(11): 1-16. (In Persian)

2- Liu, X., Liu, L., He, J., Ai, B. 2008, A bottom-up approach to discover transition rules of cellular automata using ant intelligence. International Journal of Geographical Information Science, 22(11-12): 1247-1269.

3- Mousavi, M.N., Yazdani Chaharborj, R. 2014. Urban growth modeling of Maraghe city by using of logistic regression. Geographical Urban Planning Research, 2(3): 323-341. (In Persian)

4- He, Ch., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., Li, J. 2008. Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. Landscape and Urban Planning, 86(1): 79-91.

5- Han, J., Hayashi, Y., Cao, X., Imura, H. 2009. Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: A case study of Shanghai, China. Landscape and Urban Planning, 91(3): 133-141.

6- Zinatizadeh, S., Azmi, A., Monavari, S.M., Sobhanardakani, S. 2017. Evaluation and prediction of sustainability of urban areas: A case study for Kermanshah city, Iran. Cities, 66: 1-9.

7- Zinatizadeh, S., Azmi, A., Monavari, S.M., Sobhanardakani, S. 2017. Multi-Criteria decision making for sustainability evaluation in urban areas: A case study for Kermanshah city, Iran. Applied Ecology and Environmental Research, 15(4): 1083-1100.

8- Ghorbani, R., Pourmohammadi, M.R., Mahmoudzadeh, H. Ecological approach in land use change modeling of Tabriz metropolitan using multi temporal satellite images, multi criteris analysis and Cellular Automata Markov Chain (1984-2038). Urban Studies, 2(8):13-30. (In Persian)

9- Batty, M. 2005. Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics. Environment and Planning A, 37(8): 1373-1394.

10- Benenson, I., Torrens, P.M. 2004. Geosimulation: Automata-based modeling of urban phenomena", London: John Wiley & Sons, Inc., 312 P.

11- Dadashpoor, H., Jahanzad, N. 2015. Simulation of future land use changes based on an ecological optimal pattern in Mashhad Metropolitan area. Geographical Urban Planning Research, 3(3): 343-359. (In Persian)

12- Maboodi, M.T., Hakimi, H. 2015. Analysis of land use changes and urban sprawl simulation in mid-sized cities (Case study: Khoy City). Geographical Urban Planning Research, 3(2): 211-226. (In Persian)

13- Qiang, Y., Lam, N.S.-N. 2016. The impact of Hurricane Katrina on urban growth in Louisiana: an analysis using data mining and simulation approaches. International Journal of Geographical Information Science, 30(9): 1832-1852.

14- Liu, Y., Dai, L., Xiong, H. 2015. Simulation of urban expansion patterns by integrating auto-logistic regression, Markov chain and cellular automata models. Journal of

Environmental Planning and Management, 58(6): 1113-1136.

15- Vaz, E., Arsanjani, J.J. 2015. Predicting urban growth of the greater Toronto Area - coupling a Markov Cellular Automata with document meta-analysis. Journal of Environmental Informatics, 25(2): 71-80.

16- Jokar Arsanjani, J., Helbich, M., Kainz, W., Darvishi Boloorani, A. 2013. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 265-275.

17- 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.

18- Poor Ahmad, A., Ziari, K.A., Mohammadi, R. Spatial distribution pattern of urban uses in oil-rich cities (Case study: Dogonbadan city). Geographical Research, 25: 21-50. (In Persian)

19- Bali, A., Monavari, S.M., Jafari, M., Abdolahi, Sh. 2012. Land uses change patterns in Anzali Wetland basin during 2000, 1989, 1975 and 2007 with emphasis on urban development and constructed lands. Journal of Environmental Science and Bioengineering, 53-54: 73-80. (In Persian)

20- Eerens, H., Haesen, D., Rembold, F., Urbano, F., Tote, C., Bydekerke, L. 2014. Image time series processing for agriculture monitoring. Environmental Modelling & Software, 53: 154-162.

21- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad, S.S., Aziz, N. 2015. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(2): 251-259.

22- Rawat, J.S., Kumar, M. 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(1): 77-84.

23- Roostayee, Sh., Ahadnezhad Rooshti, M., Farrokhe Someae, M. 2015. Spatial evaluation of urban sprawl with an emphasize on landuse charges, using satellite imagery (Case study of Urmia). Geography and Planning, 18(50): 189-206.

24- Wu, Q., Li, H-q., Wang, R-s., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B-h., Wang, Z. 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. Landscape and Urban Planning, 78(4): 322-333.

25- Kazem, A.H., Hosseinali, F., Ale-sheikh, A.A. 2015. Urban expansion modeling using medium resolution satellite imagery based on cellular automata (Case study: Tehran city). Geographical Data (SEPEHR), 24(94): 45-58. (In Persian)