Urban Ecological Research Open Access

Vol. 16(4), (Series 41): 117-130

DOI: 10.30473/grup.2024.70674.2837

Received: 24/Feb/2024 Accepted: 7/Oct /2024

ORIGINAL ARTICLE

Modeling Land use Changes and Providing an Optimal Model for Urban Expansion, Case Study: Qazvin City

Amir Sadeghi[1], Roxana Moogouei[2*], Saeed Malmasi[3], Alireza Gharagozlou[4]

1. Ph.D. Candidate, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Environmental Planning, management and Education, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Associate Professor, Department of Geotechnique and Transport, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran.

***Correspondence**
Roxana Moogouei
Email:r-moogoui@iau-tnb.ac.ir

Receive Date: 24/Feb/2024
Revise Date: 19/July/2024
Accept Date: 07/Oct/2024

How to cite
Sadeghi, A., Moogouei, R., Malmasi, S., & Gharagozlou, A.R. (2026). Modeling Land use Changes and Providing an Optimal Model for Urban Expansion, Case Study: Qazvin City. *Urban Ecological Research*, 16(4), 117-130.

ABSTRACT

Qazvin city has experienced rapid growth over the last few years, owing to its important economic, agricultural, communication, and proximity to Tehran. This study aimed to model land use changes in Qazvin city and determine optimal places for city development. In this study, spatial information, geometric and radiometric correction, and functional maps from 1990 to 2020 were prepared using the Artmap fuzzy model. Land use changes until 2025 were then analyzed utilizing land use change models, Markov chain models and cellular automata. In addition, appropriate factors were identified to determine suitable areas for urban development, and standardization and integration of layers were carried out using the geographic information system and weighting operations using the Analytical Hierarchy process. According to the results, in these 30 years, the area of built land has grown by 67.43 % and if this trend continues, it will reach 3709.6 hectares in 2025. The conversion of 69.12 and 172.98 hectares of green space and other uses to urban areas will take place during this process. Also, the total area of agricultural land and green space will decrease by 72.9 hectares to 5427.63 hectares. The results of the optimal location of urban expansion also showed that 10.03% of the area (983.16 hectares) has a high potential for city expansion, which often includes the northern and eastern parts. These findings can be used as a suitable model for identifying places prone to urban development and a suitable tool for urban planning.

KEYWORDS

Modeling, Integrated Model of Markov Chain and Automatic Cells, Urban Development, Hierarchical Analysis Process, Qazvin City.

Copyright © 2026, by the author (s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه علمی

پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری

سال شانزدهم، شماره چهارم، (پیاپی ۴۱)، زمستان۱۴۰۴، (۱۳۰-۱۱۷)

DOI: 10.30473/grup.2024.70674.2837

E-ISSN: 2538-3949 P-ISSN: 2538-3930

«مقاله پژوهشی»

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و ارائه الگوی بهینه برای گسترش شهری، مطالعه موردی: شهر قزوین

امیر صادقی[۱]، رکسانا موگوئی[۲*]، سعید ملماسی[۳]، علیرضا قراگوزلو[۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.
۲. دانشیار، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.
۳. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.
۴. دانشیار، گروه ژئوتکنیک و حمل‌ونقل، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: رکسانا موگوئی
رایانامه: r-moogoui@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

استناد به این مقاله:
صادقی، امیر؛ موگوئی، رکسانا؛ ملماسی، سعید و قراگوزلو، علیرضا (۱۴۰۳). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و ارائه الگوی بهینه برای گسترش شهری، مطالعه موردی: شهر قزوین. *فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۶(۴) ۰ ۱۳۰ -۱۱۷.

چکیده

شهر قزوین به علت نقش مهم اقتصادی، کشاورزی، ارتباطی و نزدیکی به تهران، در چند سال اخیر رشد بیش از اندازه‌ای را تجربه کرده است. هدف از این مطالعه مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر قزوین و تعیین مکان‌های بهینه برای توسعه شهر می‌باشد. در این پژوهش ابتدا اطلاعات مکانی، تصحیح هندسی و رادیومتریک و نقشه‌های کاربری شهر از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، به کمک مدل فازی آرتمپ تهیه شد. سپس با استفاده از مدل‌های تغییرات کاربری و مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، تغییرات کاربری اراضی تا سال ۲۰۲۵ بررسی شد. همچنین شاخص‌های مناسب برای تعیین پهنه‌های مناسب توسعه شهری شناسایی و عملیات استانداردسازی و تلفیق لایه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و عملیات وزن‌دهی به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. نتایج نشان داد که مساحت اراضی ساخته شده، در این دوره ۳۰ ساله، ۶۷/۴۳ درصد رشد داشته و با ادامه یافتن این روند در سال ۲۰۲۵ به ۳۷۰۹/۶ هکتار خواهد رسید. در طی این فرایند نیز به ترتیب ۶۹/۱۲ و ۱۷۲/۹۸ هکتار فضای سبز و سایر کاربری‌ها به اراضی شهری تبدیل خواهند شد. همچنین مجموع مساحت زمین‌های کشاورزی و فضای سبز با ۷۲/۹ هکتار کاهش به ۵۴۲۷/۶۳ هکتار خواهد رسید. نتایج به دست آمده از مکان‌یابی بهینه گسترش شهری نیز نشان داد که ۱۰/۰۳ درصد از سطح منطقه (۹۸۳/۱۶ هکتار) دارای پتانسیل بالایی برای گسترش شهر هستند که اغلب شامل قسمت‌های شمالی و شرقی می‌شوند. یافته‌های به‌دست آمده از رویکرد پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان مدل مناسبی برای شناسایی مکان‌های مستعد توسعه شهری و ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی شهری باشد.

واژه‌های کلیدی

مدل‌سازی، زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، برنامه‌ریزی شهری، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، قزوین.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. © ۱۴۰۴ ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
This is an open access article under the CC BY (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

تا سال ۱۸۰۰ میلادی از مجموع جمعیت جهان تنها ۳ درصد ساکن شهرها بودند. اما پس از انقلاب صنعتی در قرن ۱۸ که منجر به تولیدات بیش‌تر، چرخش در اقتصاد شهری و افزایش درآمد شهرنشینان شد. مهاجرت از روستاها به شهرها افزایش ناگهانی یافت و منجر به رشد سریع شهرنشینی شد (Acheampong et al., 2018). این روند مهاجرت به شهرها در کنار افزایش سریع جمعیت جهان موجب افزایش عظیم شهرنشینی گردید؛ به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود که جمعیت شهری جهان طی سه دهه آینده ۲/۵ میلیارد رشد کند و ۹۰ درصد از این رشد در کشورهای آفریقایی و آسیایی اتفاق می‌افتد (United Nations, 2018). این افزایش جمعیت شهری پیامدهای بسیاری به همراه داشت که گسترش افقی شهرها و به‌تبع آن کمبود زمین، کاهش پوشش گیاهی، تخریب زمین‌های مرغوب کشاورزی، تبدیل اراضی مجاور به ساخت‌وسازهای شهری و در نتیجه تغییرات گسترده در کاربری اراضی نمود بارز آن است (Acheampong et al., 2018).

کاربری و پوشش زمین نتیجه تعاملات پویا بین سیستم‌های پیچیده انسانی و محیطی است (Azizi et al., 2022) و تغییرات آن در طول زمان و مکان اغلب در نتیجه فشارهای انسانی و توسعه بوده است (Acheampong et al., 2018). تغییرات گسترده در کاربری اراضی معمولاً همراه با تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی بوده و به‌عنوان قابل توبرایرین تأثیر انسان بر محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شود و یکی از موضوعات جدی در دنیای امروز است (Alijani et al., 2020). با این حجم عظیم تغییرات کاربری و پوشش زمین، فقدان بینش دقیق در مورد اثرات زیست‌محیطی شهرنشینی و عدم وجود فرایندهای برنامه‌ریزی مناسب، تعادل توسعه پایدار را تضعیف می‌کند (Azizi et al., 2022). بر این اساس شناسایی، نظارت و کنترل رشد شهری به ضروری‌ترین نیاز در فرایند برنامه‌ریزی و توسعه شهری برای دستیابی به نتایج مورد انتظار تبدیل شده که می‌تواند پایه‌ای ملموس برای تصمیم‌گیران ایجاد کند تا سیاست‌ها را به سمت بهترین مسیر سوق دهند. مدل‌سازی شهری نیز به‌عنوان بخشی از تلاش برای تعیین کمیت روند رشد براساس اصول علمی پدید آمده است (Hassan & Elhassan, 2020).

با پیشرفت‌های اخیر در زمینهٔ مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمین، دسترسی به منابع داده و استفاده از توان محاسباتی بالای مدل‌ها، این امکان برای مدیران فراهم شده است تا نتایج احتمالی تصمیمات خود را در حالت‌های مختلف و با کم‌ترین هزینه ممکن پیش‌بینی کنند (Ullah et al., 2023; Saeidi et al., 2018) علاقه به مدل‌سازی تغییر کاربری زمین در سال‌های اخیر به سرعت افزایش یافته است و تعداد فزاینده‌ای از محققان در تلاش هستند تا فرایند توسعه شهری را با استفاده از تکنیک‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دهند (Mahmoudzadeh et al., 2022).

مناطق عمده شهری ایران اغلب با شهرنشینی سریع و افزایش جمعیتی که در سایر کشورهای نوظهور طی چند دهه اخیر دیده شده است، همگام بوده‌اند (Pilehvar, 2021). شهر قزوین نیز به دلیل نقش مهم اقتصادی، کشاورزی و ارتباطی از یک‌سو و نزدیکی به پایتخت (تهران) از طرف دیگر در چند سال اخیر رشد بیش از اندازه‌ای را تجربه کرده است. این شهر مانند بیش‌تر سکونتگاه‌های ایران، در مراحل اولیه شکل‌گیری، با هدف استفاده از خاک‌های مرغوب به‌منظور زراعت، در میان اراضی زراعی استقرار یافته است و به مرور زمان همراه با توسعه شهرنشینی، اراضی مرغوب زیر پیکر شهر مدفون شده و فعالیت‌های زراعی ناگزیر به سمت اراضی نامرغوب عقب نشسته است. در نتیجه مشکلات فراوانی از جمله تخریب پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی همزمان با گسترش شهر به‌وجود آمده و به دلیل عدم شناسایی مکان‌های در معرض تخریب ناشی از توسعه شهری و پیش‌بینی توسعه آتی شهر در این محدوده، دسترسی به تکنیک سریع و مدیریت هر چه بهتر بسیار ضروری است. از این‌رو هدف کلی پژوهش حاضر شناسایی مناطق مناسب توسعه شهری شهر قزوین در برای حفظ زمین‌های مرغوب کشاورزی و پوشش‌های گیاهی آن بوده و سؤال اصلی این است که الگوی مناسب تغییرات کاربری اراضی برای گسترش شهری شهر قزوین، چه الگویی است؟

مبانی نظری

چارچوب نظری

در حال حاضر ۵۵ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند. نسبتی که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸ درصد افزایش یابد. براساس اطلاعات سازمان ملل، تا سال ۲۰۵۰ با رشد جمعیت جهان، ۲/۵ میلیارد نفر به مناطق شهری اضافه می‌شود که نزدیک به ۹۰ درصد از این افزایش در آسیا و آفریقا اتفاق می‌افتد (United Nations, 2018). این افزایش رشد شهرنشینی مستلزم رشد شهرهای موجود، یا خلق شهرهای جدید و یا هر دو مورد است (فرهمند و اکبری، ۱۳۸۷). با این روند توسعه پایدار بلندمدت در کشورهای در حال توسعه نیازمند مطالعات و طرح‌های پژوهشی در رابطه با رشد فیزیکی شهری و تغییر کاربری و پوشش زمین[1] است (Azizi et al., 2022) و پرداختن به این مسئله در رابطه با شهرها یکی از مسائل ضروری دنیای امروز است.

1. Land use/land cover change (LUCC).

تغییر کاربری و پوشش زمین

تغییرات کاربری و پوشش زمین یک مسئله بزرگ زیست‌محیطی جهانی است (Entahabu et al., 2023). در دهه‌های اخیر به دلیل فعالیت‌های انسانی تغییراتی در سطح زمین با سرعت زیاد در حال رخ دادن است. برخی از پژوهش‌ها بیش‌تر این تغییرات را نتیجه تغییر پوشش گیاهی به زمین‌های زیرکشت و افزایش فعالیت‌های کشاورزی دانسته‌اند (Kabat et al., 2004; Wood et al., 2004)، در حالی‌که در بعضی مناطق بهبود پوشش گیاهی به دلیل فعالیت‌های جنگل‌کاری و بازسازی زمین مشاهده شده است (Bantider et al., 2011 ،Bewket, 2002) و در عین حال بسیاری از مطالعات بیش‌تر تغییرات را ناشی از ساخت و سازهای شهری دانسته‌اند (Khan et al., 2022، Lia et al., 2023). بنابراین بررسی تجربی مسئله تغییر کاربری و پوشش زمین به صورت محلی لازم است.

مدل‌سازی تغییرکاربری و پوشش زمین برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های تغییر کاربری به سرعت در حال توسعه است (Mahmoudzadeh et al., 2022). در حال حاضر انواع مختلفی از مدل‌ها و روش‌ها با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌طور کلی برای مدل‌سازی روند رشد شهری و در شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین استفاده می‌شوند. مدل‌سازی الگوهای رشد شهری براساس تکنیک‌های RS و GIS برای درک فرایند فضایی حرکت شهری در یک زمان خاص به سمت ایجاد سیاست‌های آینده توسعه پایدار انجام می‌شود (Aburas et al., 2017).

طبق منابع موجود در سال‌های اخیر پژوهشگران بیش‌تر ترجیح می‌دهند، برای بررسی مسائل رشد شهری از RS و تصاویر ماهواره‌ای، مدل رگرسیون[1]، برنامهGIS و مدل اتوماتای سلولی[2] استفاده کنند. علاوه بر این استفاده از مدل‌های SA، زنجیره مارکوف[3] و GEOMOND نیز عمدتاً به صورت ترکیب با هم یا مدل‌ها و روش‌های دیگر بسیار مورد توجه بوده است (Hassan & Elhassan, 2020).

پژوهش‌های زیادی نیز تلاش کرده‌اند که فرایند توسعه شهری را با استفاده از مدل‌های مبتنی بر عامل[4]، شبکه‌های عصبی مصنوعی[5]، زنجیره مارکوف و ماشین بردار پشتیبانی[6] مورد ارزیابی قرار دهند (Mahmoudzadeh et al., 2022). در مجموع، استفاده از این مدل‌ها به عنوان ابزاری معقول برای تخمین یا شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد شهری مطرح شده و بخش اساسی و الزامی برای ایجاد یک برنامه مدیریتی ملموس برای رشد شهری است.

مدل CA از زمانی که توبلر برای اولین بار این مفهوم را در مدل‌سازی جغرافیایی به کار برد، به‌طور گسترده برای مدل‌سازی رشد شهری مورد استفاده قرار گرفته است. این تغییرات پویا تحت تأثیر عوامل طبیعی و اجتماعی–اقتصادی و تأثیر متقابل آن‌ها در مقیاس‌های زمانی– مکانی متفاوت است. با توجه به این که CA می‌تواند از قوانین ساده برای شبیه‌سازی فرایندهای دینامیکی مکانی–زمانی پیچیده استفاده کند و به راحتی با تصاویر با وضوح بالا و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ادغام شود، CA و مدل‌های مبتنی برCA پتانسیل بسیار زیادی در شبیه‌سازی رشد شهری در سال‌های گذشته نشان داده‌اند (Hassan & Elhassan, 2020)، مدل CA ساختار باز دارد و می‌تواند با مدل‌های دیگر برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی الگوهای رشد شهری ادغام شود. انعطاف‌پذیری، وضوح و قابلیت ادغام جنبه‌های دینامیکی و مکانی–زمانی فرایندهای شهرنشینی و همچنین قابلیت مدل‌سازی سیستم‌های دینامیکی پیچیده، دلایل اصلی استفاده گسترده از مدل CAدر پیش‌بینی و شبیه‌سازی روند گسترش شهری و تغییرات کاربری و پوشش زمین در سال‌های اخیر است.

مدل مارکوف به‌طور معمول در پیش‌بینی ویژگی‌های جغرافیایی بدون هیچ اثر ثانوی استفاده می‌شود و در حال حاضر به یک روش پیش‌بینی مهم در پژوهش‌های جغرافیایی تبدیل شده است. زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲، انجام می‌گیرد که به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۰). اهمیت استفاده از مدل تلفیقی CA-Markov این است که نقش مهمی در مدل‌سازی رشد شهری، به ویژه در کشورهای در حال توسعه که دارای ویژگی‌های شهری متفاوتی هستند، ایفاء می‌کند. CA-Markov یک مدل فضایی ساختار باز است که می‌تواند برای بهبود قابلیت شبیه‌سازی رشد شهری استفاده شود (Aburas et al., 2017).

چندین مطالعه نیز تأیید کرده‌اند که در مقایسه با سایر روش‌های مدل‌سازی، مدلLCM[7] مبنی بر تلفیق با زنجیره

1. Regression model
2. Cellular automata (CA)
3. Markov Chain (MC)
4. Agent-based models
5 .Artificial neural networks
6. Support vector machine
7. Land Change Model

مارکوف، یک مدل قوی برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تغییر کاربری و پوشش زمین است و نتایج معتبری ارائه می‌دهد. LCM قابل دسترس در نرم‌افزار IDRISI بوده و به صورت اکستنشن در ArcGIS وجود دارد. با استفاده از این مدل روند کلی تغییرات شهر بین سال‌های موردنظر و نقش آن در میزان تخریب پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی منطقه تعیین می‌شود (Entahabu et al., 2023).

توسعه آتی شهرها

تسریع شهرنشینی به‌طور قابل توجهی موجب افزایش تقاضا برای منابع زمین برای ساخت و ساز و در نتیجه گسترش شهر می‌شود که می‌تواند به صورت گسترش افقی و عمودی صورت گیرد (Zhao et al., 2022). توسعه افقی و عمودی شهر در آینده بیش از هر عاملی به شرایط طبیعی مکان شهر بستگی دارد. در مطالعه فیزیکی شهرها، باید عوامل و موانع طبیعی و انسانی را مطالعه و ارتباط و تأثیر متقابل این پدیده‌ها بر یکدیگر و بر توسعه شهر بررسی شود؛ زیرا عدم شناخت و آگاهی لازم از این محدودیت‌ها و عدم رعایت حریم مناسب آنها، باعث هدایت و گسترش شهر در برای این موانع می‌شود که در نهایت شهر و فضاهای شهری را با مشکلات جدی مواجه خواهد کرد (کیانی و سالاری سردری، ۱۳۹۹).

یکی از مسائل حیاتی در برنامه‌ریزی شهری، تعیین مکان‌های مناسب برای رشد شهری در مناطق حاشیه‌ای مجاور شهر است. در واقع هدف از مکان‌یابی در تعیین برای توسعه فیزیکی شهر، ارزیابی قابلیت زمین‌ها برای استقرار سکونتگاه‌های شهری و تعیین بهترین مکان برای توسعه است که کم‌ترین اثرات سوء را در حال حاضر و در بلند مدت به دنبال داشته باشد.

پیشینه پژوهش

ارخی و همکار (۱۳۹۸)، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر چند زمانه و مدل زنجیره‌ایMARKOV شهر ایلام را مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج این مطالعه، طی مقطع زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۶, افزایش ۱۹۰۵/۷۳ هکتاری اراضی مسکونی و تخریب ۲۰۶۶/۱۶ هکتاری کاربری جنگل را نشان می‌دهد و مشخص شد که گسترش شهر ایلام تا چه ابعاد و مقیاسی، به ترتیب «شدت عمل کاربری‌های اراضی مسکونی و کشاورزی» با روند افزایشی و «کاربری‌های جنگل، اراضی بایر و باغ» با روند کاهشی, پیرامون خود را تحت گسترش فضایی-کالبدی خود قرار داده است و با این روند، اراضی مسکونی در سال ۱۳۵۵ با ۲۶۸/۶۷ هکتار و طبق پیش‌بینی‌های انجام شده در سال ۱۴۱۹ به ۲۶۰۰/۷۷ هکتار خواهد رسید. همچنین روند توسعه شهر نشان دهندهٔ تمایل گسترش کالبدی-فضایی شهر ایلام در تمامی ابعاد است.

کریم‌زاده و همکاران (۱۴۰۱)، به ارزیابی ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل Markov-CA در شهر اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد تغییرات کاربری اراضی به صورت گسترش مناطق شهری و کاهش مساحت کاربری کشاورزی است. چنین تغییراتی در دو مرحلهٔ مشخص رخ داده است .اراضی شهری از سال ۲۰۱۳ با تأثیر مستقیم در کاهش پوشش گیاهی به‌مثابهٔ یک نتیجه از تبدیل اراضی کشاورزی به سایر کاربری‌ها توسعه می‌یابد. همچنین تأیید شده است که روند تغییرات پس از سال ۱۹۹۶ پویا بوده و شدت یافته است؛ زیرا در سال ۲۰۱۸ منطقهٔ وسیعی از اراضی کشاورزی به مناطق شهری و صنعتی تبدیل شده است. اراضی کشاورزی و باغ‌ها در سال ۲۰۱۸ شامل ۷۴۰۵۷ هکتار است و تا سال ۲۰۵۰ می‌تواند به ۴۰۰۰۰ هکتار کاهش یابد که به معنی از دست دادن ۳۴۰۵۷ هکتار نسبت به پوشش اراضی کشاورزی و باغ‌ها در سال ۲۰۱۸ است.

درخش و همکاران (۱۴۰۱)، روند تغییرات کاربری اراضی شهر گچساران با استفاده از مدل سلول‌های خودکار شبیه‌سازی نمودند. نتایج بیانگر رشد فزاینده کاربری شهری طی زمان به‌ویژه در نیمه شمالی شهر و کاهش کاربری طبیعی و بوم‌شناختی و به ویژه 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.

انتابو[1] و همکاران (۲۰۲۳)، به مدل‌سازی و پیش‌بینی کاربری زمین/تغییر پوشش زمین با استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین در حوضه رودخانه سولوه، ارتفاعات شمالی اتیوپی پرداختند. نتایج نشان داد که علی‌رغم کاهش ۹۷/۲ درصدی اراضی جنگلی، چرای ۸۹/۸ درصد، زمین‌های مزارع ۸۹/۱ درصد، بوته‌ها و بوته‌ها به میزان ۱/۵درصد و آب‌های ۸۴/۸ درصدی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲، اراضی بایر افزایش یافته است. ۱۰/۶ درصد، زمین ساخته شده ۲۹/۴ درصد و زمین زیر کشت ۶۴/۴ درصد. پروژه‌های نمونه، زمین‌های لخت، ساخته شده و زیرکشت به بهای آب، چرا، جنگل، بوته‌ها و زمین‌های مزرعه بین سال‌های ۲۰۲۸ تا ۲۰۴۸ افزایش می‌یابد. بارندگی، شیب، ارتفاع، فاصله تا رودخانه‌ها، فاصله تا بزرگراه ها، فاصله از شهرها و تراکم جمعیت عوامل اصلی تغییر LULC در منطقه مورد مطالعه بودند. بنابراین برای ارتقای توسعه پایدار،

1. Entahabu

حفاظت از حوزه رودخانه و کاهش شدت تغییرات، باید مدیریت مناسب و اقدام به موقع توسط سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران صورت گیرد.

اگمن[1] و همکاران (۲۰۲۳)، به مدل‌سازی و شبیه‌سازی «شهرسازی غیررسمی»: یک مدل خودکار مبتنی بر عامل و سلولی یکپارچه رشد مسکونی شهری در غنا پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نتایج نشان داد که TI-City در هر مقیاس بهتر از SLEUTH عمل می‌کند، که نشان می‌دهد این مدل می‌تواند یک ابزار پشتیبانی تصمیم ارزشمند در زمینه‌های شهری مشابه ارائه دهد.

جاداوالا[2] و همکاران(۲۰۲۱)، به پیش‌بینی رشد شهری مبتنی بر اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف در شهر گاندیناگار هند پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که از سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۹ کاهش قابل‌توجهی در پوشش گیاهی و زیر کشت مشاهده شده است. این را می‌توان به رشد سریع شهری در بخش‌هایی از منطقه برنامه‌ریزی گاندیناگار نسبت داد. بین سال‌های ۱۹۷۲ و ۲۰۱۹، منطقه شهری به میزان قابل‌توجهی ۴۲ درصد رشد کرده است. بخش عمده شهرنشینی در بازه زمانی مذکور در بخش مرکزی و غربی شهر رخ داده است. از ضلع شرقی شهر به رودخانه سابارمتی محدود می‌شود که منجر به گسترش شهری در جبهه غربی شده است.

روش انجام پژوهش

تحقیق حاضر یک مطالعه کاربردی است. همچنین از آنجا که هدف پژوهش حاضر تبیین یک الگوی کارآمدتر و مؤثرتر از الگوی گسترش فعلی است، در تحقیقات کاربردی جزء دسته کاربردی توسعه‌ای می‌باشد که می‌تواند موجب گسترش ادبیات علمی در این زمینه گردد. ماهیت پژوهش کیفی-کمی بوده و رویکرد کلی تحقیق توصیفی-تحلیلی و اکتشافی است.

در این پژوهش برای ارائه مدل نوین توسعه آتی کاربری شهری و رسیدن به نتایج مورد انتظار گام‌های زیر صورت گرفت (شکل ۳).

گام اول، جمع‌آوری اطلاعات توصیفی و مکانی، تصحیح هندسی، رادیومتریک، اتمسفری، آشکارسازی و بارزسازی داده‌ها: در این پژوهش، برای مدل‌سازی از ابزار سنجش از دور استفاده گردید. برای این منظور از تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ استفاده شد و تصاویر هر دوره در اواسط فصل تابستان انتخاب گردید. مشخصات کلی سنجنده مورد استفاده در جدول ۱، آمده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

تاریخ	تعداد باند	اندازه پیکسل	سنجنده	ماهواره
۱۹۹۰- ۲۰۰۰	۷	۳۰	TM	Landsat ۵-۴
۲۰۱۰	۸	۳۰	ETM^+	Landsat ۷
۲۰۲۰	۱۱	۳۰	OLI / TIRS	Landsat ۸

برای تطابق هندسی تصاویر مورد نظر از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ به‌عنوان نقشه مبناء استفاده شد. در مرحله بعد با استفاده از روش تصویر به تصویر، زمین مرجع نمودن[3] انجام گرفت تا تمام تصاویر از نظر هندسی با هم تطابق پیدا کنند و شرایط یکسانی به دست آورند. همچنین برای کاهش تیرگی پدیده از روش DOS[4] برای تصحیح رادیومتریک تصاویر استفاده شد. روش تصحیح اتمسفری QUAC[5] نیز بر روی تصاویر صورت گرفت.

در مرحله بعد نقشه کاربری زمین در دوره زمانی مورد مطالعه، با روش طبقه‌بندی نظارت شده و با استفاده از مدل فازی آرت‌مپ[6] تهیه شد. به‌منظور آشکارسازی و بارزسازی داده‌ها در باندهای مورد مطالعه، تحلیل مؤلفه‌های اصلی[7] در نرم‌افزار IDRISI انجام گرفته است. در این پژوهش بعد از اعمال این شاخص به جای تمام باندهای لندست ۵ و ۸ تنها ۳ باند اصلی برای هر سال که به شکل بارزتر تغییرات کاربری‌ها را در تصاویر نشان می‌دهد، استفاده شد. برای ارزیابی دقت این طبقه‌بندی از تصاویر گوگل ارث[8] با کیفیت در حدود ۰/۵ متر استفاده شد.

گام دوم- ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده: براساس ماتریس خطا، صحت‌سنجی و ضریب کاپا[9] به ترتیب از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد که در رابطه (۱) p_{ii} تعداد سلول‌هایی که مطابقت دارند، n تعداد کل سلول‌های تصویر در نقشه کاربری اراضی است و در رابطه (۲) p_o درستی مشاهده و pc توافق مورد انتظار است.

رابطه ۱. $$GA = 100\ \frac{\sum_{i=1}^{m} Pii}{n}$$

1. Agyemang
2. Jadawala
3. Georeferencing
4. Dark Object Subtraction
5. Quick atmospheric corretion
6. Fuzzy ARTMAP supervised classification
7. Principal component analysis (PCA)
8. Google Earth
9. Kappa Coefficient

رابطه ۲. $Kappa = \frac{po-pc}{1-pc} \times 100$

صحت سنجی طبقه‌بندی بیانگر میزان اعتبار طبقه‌بندی انجام شده است و در نقشه‌های کاربری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، باید بیش از ۸۵ درصد باشد. همچنین مقدار ضریب کاپا بین ۰ تا ۱ متغیر است که ضریب کاپا معادل ۱ نشان‌دهنده یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح و مقدار صفر نشان‌دهنده تصادفی بودن طبقه‌بندی و منفی نشان‌دهنده خطای طبقه‌بندی است.

گام سوم- پایش و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به روش LCM: پس از اتمام مراحل پیش‌پردازش و انتخاب نمونه‌های تعلیمی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی مربوط به هر ۴ دوره زمانی مدنظر، داده‌های مورد نظر برای ورود به این مدل آماده شدند. برای مدل‌سازی تغییر سرزمین از نرم‌افزار Terrset استفاده شد.

گام چهارم- پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل تلفیقی CA-MARKOV: در این مرحله احتمال انتقال از هر کاربری به کاربری دیگر محاسبه و ماتریس احتمال انتقالات ارائه شد. سپس پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر قزوین برای سال ۲۰۲۵ انجام شد. سپس نقشه‌ها اعتبارسنجی شدند. بر اساس احتمال شرطی فرمول بیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در این مدل با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود.

رابطه ۳. $S(t+1) = p_{ij} \times S(t)$

در رابطه بالا S(t) و S(t+1) حالت‌های سیستم در زمان t و t+1 هستند و pij ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است و از طریق رابطهٔ (۴) محاسبه می‌شود.

رابطه ۴.
$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

$$(0 \le p_{ij} < 1 \; and \; \sum_{j=1}^{n} p_{ij} = 1, \; (i, j = 1, 2, \dots, n))$$

در این مرحله از مطالعه، نقشه سه کلاس کاربری اراضی شامل اراضی ساخته شده زمین کشاورزی – فضای سبز و سایر کاربری‌ها شامل اراضی بایر، سنگلاخی، کوهستانی و... معین شد. برای تصاویر سال ۲۰۲۰ که نقشه واقعی آن نیز با استفاده از روش طبقه‌بندی حدبیش‌تر احتمال تهیه شده بود، با استفاده از عملگر مارکوف در نرم‌افزار IDRISI براساس نقشه کاربری سال‌های ۲۰۲۰ مدل‌سازی گردید. در مرحله بعد نقشه به‌دست آمده از مدل‌سازی در سال با نقشه واقعی کاربری به دست آمده از روش طبقه‌بندی حدبیش‌تر احتمال[1] اعتبارسنجی شدند.

گام پنجم- تعیین مناطق مستعد توسعه شهری آتی با استفاده از مدل ترکیبی GIS- AHP - CA-MARKOV:

شناسایی شاخص‌های مؤثر بر تعیین مناطق مستعد توسعه شهری آتی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و بازدید میدانی انتخاب شدند. این شاخص‌ها شامل نقشه کاربری اراضی، فاصله از جاده‌های اصلی، شیب، پوشش گیاهی، فاصله از مناطق مسکونی فعلی و فاصله از رودخانه است. نقشه هر کدام از این شاخص‌ها تهیه گردید. نقشه تراکم پوشش گیاهی نیز با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده (OLI/TIRS) تهیه شد. برای محاسبه پوشش گیاهی از شاخص تفاضلی نرمال شده استفاده گردید. با استفاده از رابطه ۵، می‌توان عوارض پوشش گیاهی را نسبت به دیگر عوارض مشخص کرد.

رابطه ۵. $NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R}$

با توجه به اینکه تصویر مورد استفاده برای تهیه شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی از داده‌های مرتبط با سنجنده OLI است؛ بنابراین طبق رابطه ۵، باند ۵ که در این سنجنده باند مادون قرمز است را با باند ۴ که باند قرمز است، وارد معادله شد. بعد از تهیه این شاخص در نرم‌افزار EDRISI با طبقه‌بندی مجدد تصویر، فضاهای متشکل از پوشش گیاهی از غیرپوشش گیاهی تمیز داده شده و بدین ترتیب نقشه نهایی پوشش گیاهی برای منطقه مورد نظر ایجاد شد.

در مرحله بعد، برای تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های مؤثر، پرسشنامه نظرسنجی براساس مقایسات زوجی تهیه و تنظیم و در اختیار کارشناسان از میان افراد مسلط به امور برنامه‌ریزی شهری و آمایش سرزمین (اداره راه و شهرسازی استان قزوین و سازمان حفاظت محیط زیست استان قزوین) قرار داده شد. جامعه آماری کارشناسان در حوزه برنامه‌ریزی شهری و آمایش سرزمین بودند. برای این منظور از گروه پانل دلفی استفاده شد. دلفی روشی برای استخراج نظرات از یک گروه متخصصان در مورد یک موضوع است (Li et al., 2023).

برای تعیین اهمیت نسبی شاخص‌ها از روش AHP استفاده شد. برای انجام این کار، از یک ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از مقیاس نه سطحی Saaty استفاده شد. محاسبه وزن عامل‌ها پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی به روش (Saaty, 1980) اعمال شد. سپس نسبت سازگاری[2] برای اندازه‌گیری سازگاری بین نظرات کارشناسان محاسبه گردید. CR <0.10 نشان‌دهنده سطح معقولی

1. Maximum-likelihood classifier
2. Consistency Ratio (CR)

از سازگاری در مقایسه‌های زوجی است. در مقابل، $CR > 0.10$ پس از تعیین وزن و آماده‌سازی نقشه‌ها اقدام به ترکیب آن‌ها گردید. برای تعیین پتانسیل توسعه آتی شهری با استفاده از تکنیک ترکیب خطی وزنی در محیط Arc GIS و بر اساس رابطه ۵، به‌دست آمد. سپس با ضرب وزن نسبی در مقدار آن شاخص، یک وزن نهایی برای هرکدام به‌دست آمد. در رابطه ۶ S_{ij} تناسب پیکسل واقع شده در ردیف i و ستون j در نقشه شبکه‌ای، W_k وزن اختصاص داده شده به فاکتور k و x_{ijk} مقدار فاکتور k در پیکسل (i, j) است. شایان ذکر است در این مرحله تمام شاخص‌ها به همراه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا سال ۲۰۲۵ (گام چهارم) تهیه و با ادغام تمامی نقشه‌ها با استفاده از دستور رسترکلکیولیتر نقشه مناطق مستعد برای توسعه کاربری شهری در آینده تعیین شد.

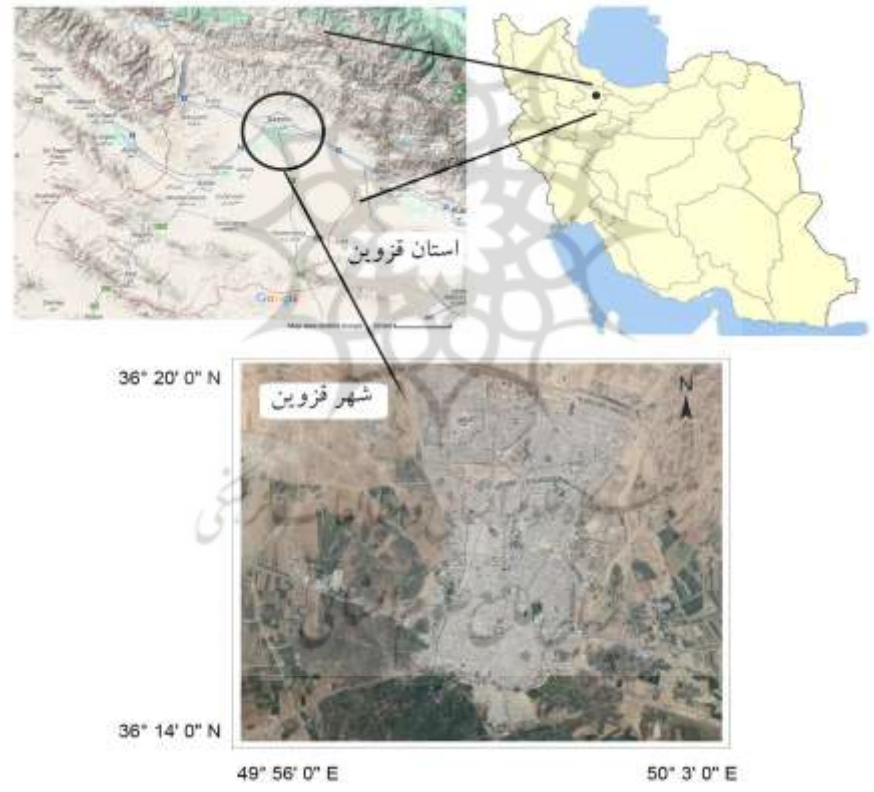
نشان دهنده قضاوت‌های ناسازگار است.

رابطه ۶

$$Sij = \sum Wk \times XijK$$

محدوده مورد مطالعه

شهر قزوین به وسعت ۹۷/۹۹ کیلومتر مربع، در محدوده مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). این شهر مطابق سرشماری سال ۱۳۹۵ با جمعیتی معادل ۴۰۲۷۴۸ نفر به‌عنوان یکی از شهرهای میانی کشور و مرکز استان قزوین است (مرکز آمار ایران).



شکل ۱. موقعیت شهر قزوین در استان قزوین و تقسیمات کشوری

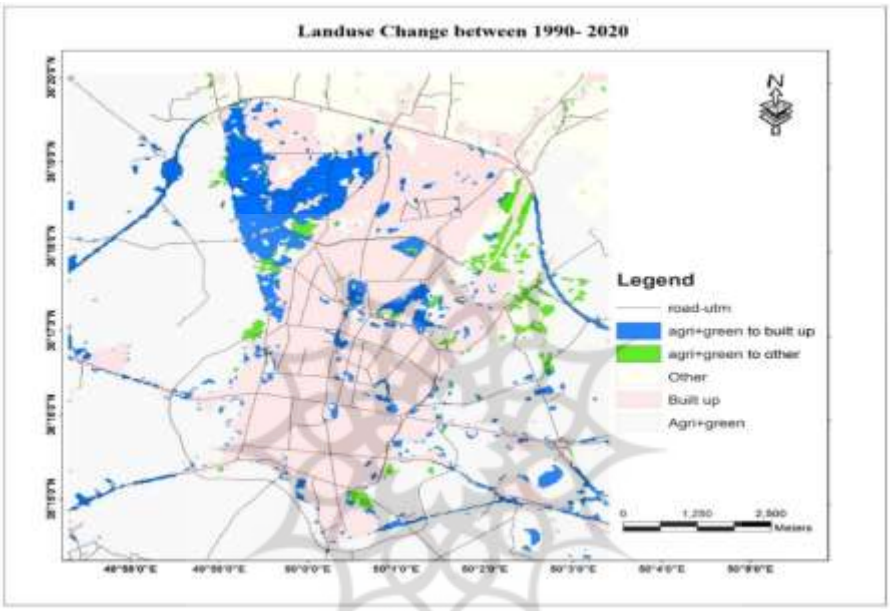
یافته‌ها

یافته‌های مدل فازی آرت‌مپ نشان داد که مجموع اراضی ساخته شده برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر با ۲۰۸۹/۰۸ و ۳۵۱۷/۲۰ هکتار است. بدین ترتیب شهر قزوین در یک بازه ۳۰ ساله ۱۴۲۸/۱۲ هکتار (معادل ۶۸%) رشد داشته و مساحت اراضی کشاورزی و فضای سبز منطقه از ۵۹۴۵/۴۹ هکتار در سال ۱۹۹۰ در یک روند کاهشی به ۵۱۲۵/۸۶ هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است (جدول ۲). بر این اساس در دوره زمانی مورد مطالعه ۸۱۹/۶۳ هکتار از اراضی کشاورزی و فضای سبز شهری تخریب گردیده است (شکل ۲). برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی ضریب کاپا برای هر تصویر محاسبه گردید. یافته‌های به‌دست آمده از تعیین دقت کاربری‌ها برابر با ۹۷/۰۸ و ضریب کاپا هر دوره، برای دوره اول (۱۹۹۰–۲۰۰۰) برابر با ۰/۹۶۳، دوره دوم (۲۰۰۰–۲۰۱۰) ۰/۹۷۱، دوره سوم (۲۰۱۰–۲۰۲۰) برابر با ۰/۹۵۷

و برای کل دوره مورد مطالعه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) مساوی با ۰/۹۶۰ به دست آمد. از آنجایی که ضریب کاپا در تمام دوره‌ها رقمی بالاتر از ۰/۸ بوده است؛ بنابراین می‌توان اذعان نمود که پردازش تصاویر در این بخش از دقت بسیار بالایی برخوردار است.

جدول ۲. تغییرات کاربری بین سال‌های ۱۹۹۰ - ۲۰۲۰

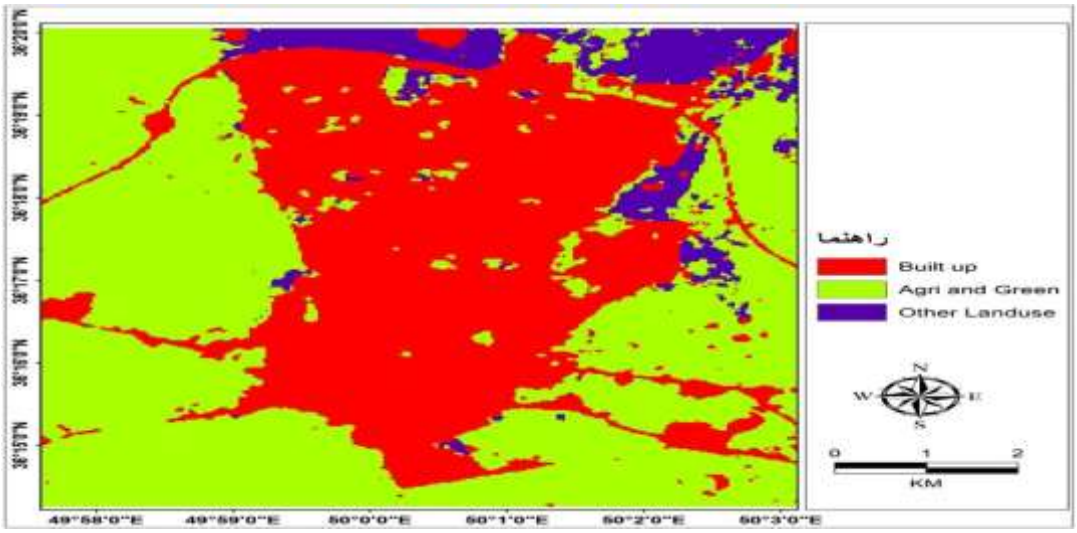
نوع کاربری	اراضی ساخته‌شده	کشاورزی و فضای سبز	سایر کاربری‌ها	مجموع (۱۹۹۰)
اراضی ساخته‌شده	۲۰۸۹/۰۸	۰	۰	۲۰۸۹/۰۸
کشاورزی و فضای سبز	۷۳۵/۶۶	۵۰۵۱/۰۷	۱۵۸/۷۶	۵۹۴۵/۴۹
سایر کاربری‌ها	۶۹۲/۴۶	۷۴/۷۹	۹۹۷/۸۳	۱۷۶۵/۰۸
مجموع (۲۰۲۰)	۳۵۱۷/۲	۵۱۲۵/۸۶	۱۱۵۶/۵۹	۹۷۹۹/۶۵



شکل ۲. تغییرات اراضی کشاورزی و فضای سبز به سایر کاربری‌ها

براساس یافته‌های به دست آمده از پیش‌بینی مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار تا سال ۲۰۲۵، اراضی ساخته شده افزایش مساحتی برابر با ۳۷۰۹/۶۲ هکتار که از این مقدار ۶۹/۱۲ هکتار فضای سبز و ۱۷۲/۹۸ هکتار سایر کاربری‌ها تخریب شده و به اراضی شهری تغییر کاربری خواهند داد. همچنین مجموع مساحت زمین‌های کشاورزی و رسید (شکل ۳). میزان بالای شاخص کاپا (۰/۹۸) مربوط به نقشه پیش‌بینی‌شده و نقشه واقعی در سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که این مدل، مدل مناسبی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها در شهر قزوین بوده است.

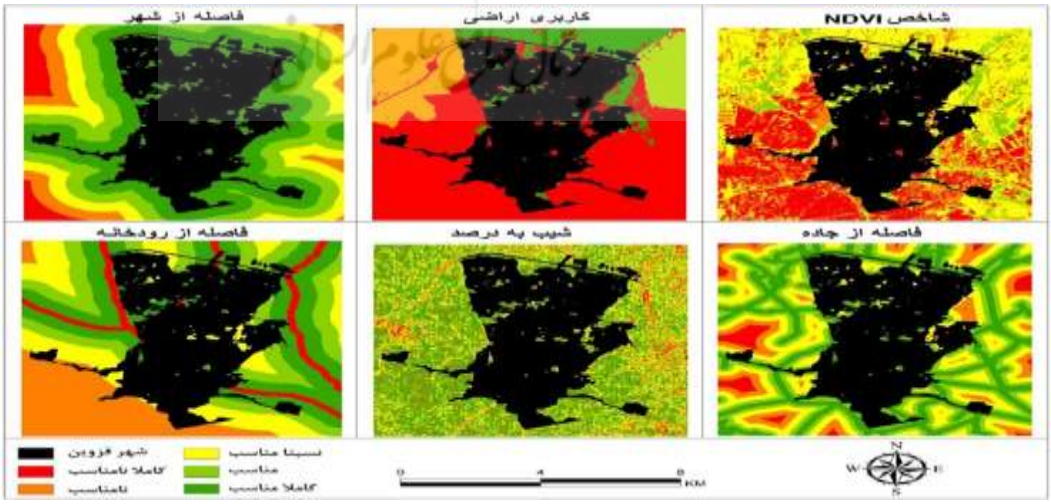
یافته‌های به دست آمده از تعیین اهمیت نسبی هریک از شاخص‌های مؤثر در فرایند تعیین مناطق مستعد برای گسترش آتی شهر در منطقه مورد مطالعه نشان داد که میزان ناسازگاری کل معادل ۰/۰۳ است که نشان‌دهنده رعایت سازگاری در قضاوت‌ها است. وزن شاخص‌های استخراج شده نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان اهمیت شاخص کاربری اراضی (۰/۳۴)، تراکم پوشش گیاهی (۰/۲۱) و کم‌ترین میزان اهمیت شاخص فاصله از رودخانه (۰/۰۸) را در فرایند مناطق مستعد برای توسعه کاربری شهری را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). نقشه‌های به دست آمده برای شناسایی نقاط مستعد توسعه شهری عبارتند از ۶ نقشه که در ۵ سطح به‌صورت کاملاً مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و کاملاً نامناسب و از همپوشانی این لایه‌ها (شکل ۴) و نقشه نهایی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مدل CA-MARCOV تا سال ۲۰۲۵ (شکل ۳)، مناطق مستعد برای توسعه فضای سبز با ۷۲/۹ هکتار کاهش به ۵۴۲۷/۶۳ هکتار خواهد کاربری شهری آتی استخراج گردید (شکل ۵).



شکل ۳. نتیجه پیش‌بینی مدل CA-MARCOV تا سال ۲۰۲۵

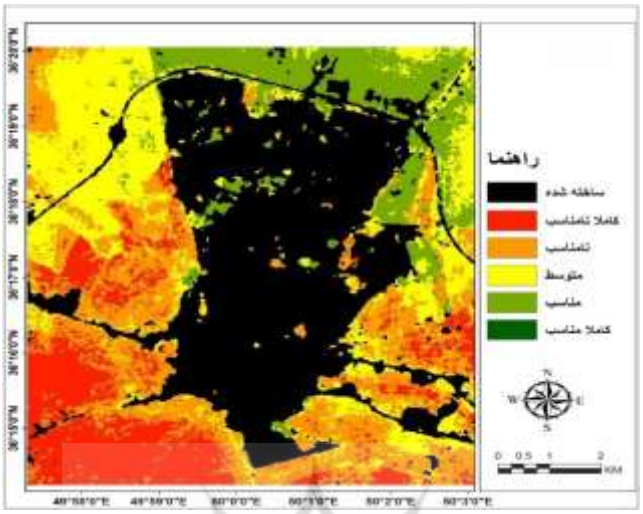
جدول ۳. عوامل مؤثر برانتخاب مکان‌های مناسب رشد شهری

پوشش گیاهی	امتیاز	اهمیت نسبی	فاصله از شهر (متر)	امتیاز	اهمیت نسبی	فاصله از رودخانه (متر)	امتیاز	اهمیت نسبی
فاقد پوشش گیاهی	۹		۰–۵۰۰	۹		۱۰۰–۶۰۰	۹	
پوشش بسیار ضعیف	۷		۵۰۰–۱۰۰۰	۷		۶۰۰–۱۱۰۰	۷	
پوشش ضعیف	۵	۰/۲۱	۱۰۰۰–۱۵۰۰	۵	۰/۱۶	۱۱۰۰–۲۰۰۰	۵	۰/۰۸
پوشش گیاهی متراکم	۳		۱۵۰۰–۲۰۰۰	۳		بیش از ۲۰۰۰	۳	
پوشش بسیار متراکم	۱		بیش از ۲۰۰۰	۱		۰–۱۰۰	۱	
شیب			**کاربری اراضی**			**فاصله از جاده (متر)**		
۲–۵	۹		زمین بایر	۹		۱۰۰–۲۰۰	۹	
۵–۸	۷		مرتع ضعیف	۷		۲۰۰–۳۰۰	۷	
۸–۱۵	۵		–	۵		۳۰۰–۴۰۰	۵	
۱۵–۳۰	۳	۰/۰۹	کشاورزی دیم	۳	۰/۳۴	۴۰۰–۵۰۰	۳	۰/۱۲
بیش از ۳۰	۱		کشاورزی آبی باغ و فضای سبز ساخته‌شده	۱		بیش از ۵۰۰ و حریم راه‌ها	۱	



شکل ۴. عوامل مؤثر بر انتخاب مکان‌های مناسب رشد شهری

براساس نتایج به دست آمده از نقشه مناطق مستعد برای توسعه آتی کاربری شهری در منطقه مورد مطالعه (شکل ۵)، ۰/۰۷ درصد از سطح منطقه (۶/۷۵ هکتار) دارای وضعیتی کاملاً مناسب و ۹/۹۶ درصد (۹۷۶/۴۱ هکتار) دارای شرایط پتانسیل تبدیل شدن به اراضی شهری به دست آمد (جدول ۴).



شکل ۵. پهنه‌های مناسب برای رشد آتی شهر

جدول ۴. طبقه‌بندی پهنه‌های مناسب برای رشد شهر

طبقه	نامناسب	کم	متوسط	مناسب	کاملاً مناسب	مجموع
مساحت (هکتار)	۱۹۶۰/۲	/۹۹ ۴۵۴۵	۲۳۱۰/۳	۹۷۶/۴۱	۶/۷۵	۹۷۹۹/۶۵
درصد	۲۰	۴۶/۳۹	۲۳/۵۸	۹/۹۶	۰/۰۷	۱۰۰

بحث و نتیجه‌گیری

توسعه پایدار شهری یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های حفظ محیط زیست شهری است. در این راستا پژوهش حاضر با هدف ارائه مدل برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی و شناسایی مکان‌های مستعد گسترش آینده شهر انجام شده است. نتایج به دست آمده از این مدل نشان داد که در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ اراضی ساخته شده به ترتیب برابر با ۲۰۷۱/۰۸، ۲۸۹۳/۲۳، ۳۳۱۰/۳۸ و ۳۴۶۷/۳۳۱۰ هکتار بوده و روند افزایشی داشته است. این در حالی است که کاربری زمین کشاورزی و فضای سبز برابر با ۶۰۰۰/۵۷، ۵۳۸۴/۰۷، ۵۱۳۳/۳۳ و ۵۵۰۰/۵۳ هکتار بوده و روند کاهشی داشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر، مساحت شهر در سال ۱۹۹۰ برابر با ۲۰۷۱/۰۸ هکتار بود که در یک دوره ۳۰ ساله به ۳۴۶۷/۵۲ هکتار رسیده است. این به معنای افزایش ۱۳۹۶/۴۴ هکتاری که معادل ۶۷/۴۳ درصد رشد است؛ که براساس آن ۶۹۸/۵۸ هکتار از اراضی کشاورزی و پوشش گیاهی تخریب و به ساخت و ساز شهری تبدیل شده است. در مطالعه تیموری و همکاران (۱۳۹۲) نیز مشاهده شده است که از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۱ مساحت ساخته شده شهر قزوین افزایش دو برابری داشته است. نتایج به دست آمده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در پژوهش حاضر نیز نشان داد که این روند در شهر قزوین همچنان ادامه خواهد یافت. روند مشابه با این نتایج در بسیاری از مناطق ایران و جهان در نتیجه رشد و توسعه شهرسازی مشاهده شده است (Azizi et al., 2022؛ Khan et al., 2022؛ Lia et ql., 2023؛ Mamitimin et al., 2023؛ Mansour et al., 2023؛ Maurya et al., 2023).

تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی و پوشش گیاهی به مناطق مسکونی شهری پیامدهای زیست‌محیطی قابل توجهی خواهد داشت. از آن جمله می‌توان به از دست رفتن تنوع زیستی، کاهش خدمات اکوسیستم، تغییر اقلیم کوچک، افزایش اثرات جزیره گرمایی شهری و کاهش غلظت اکسیژن اشاره کرد. طبق نتایج مطالعه تیموری و همکاران (۱۳۹۲)، ۵۸/۳۶ درصد از رشد فیزیکی شهر قزوین در سال‌های گذشته مربوط به عامل جمعیت و ۴۱/۶۴ درصد آن مربوط به رشد نامتوازن شهر بوده است. افزایش جمعیت شهرنشینی تغییری اجتناب ناپذیر است. ولی تحلیل و هدایت آگاهانه رشد شهر به سمت پهنه‌های مطلوب امری مهم است تا در

عین حال که جمعیت بیش‌تری از مزایای شهرنشینی بهره‌مند می‌شوند کم‌ترین تخریب محیط‌زیست و زمین‌های کشاورزی و فضای سبز صورت گیرد.

در این مطالعه پس از ارزیابی لایه‌های اطلاعاتی مکانی و ارزش‌گذاری، پهنه‌بندی مناطق مناسب برای گسترش شهر قزوین بررسی شد و محدوده مطالعاتی به ۵ کلاس تقسیم گردید. این پهنه‌بندی با تلفیق داده‌های به دست آمده از شاخص‌های NDVI، کاربری اراضی، فاصله از مرکز شهر، فاصله از جاده، شیب زمین و فاصله از رودخانه انجام شده است. با توجه به شاخص‌های مورد استفاده می‌توان گفت مناطقی که در گروه بسیار مناسب و مناسب قرار گرفته‌اند دارای پتانسیل بالایی برای اهداف گسترش شهری هستند. این مناطق که به ترتیب حدود ۰/۰۷ درصد از سطح منطقه (۶/۷۵ هکتار) و ۹/۹۶ درصد (۹۷۶/۴۱ هکتار) را شامل می‌شوند، اغلب شامل قسمت‌های شمال و شرق می‌شوند و دارای تناسب بالایی برای اهداف مورد نظر هستند. به ترتیب، ۲۰ و ۴۶ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای وضعیت کاملاً نامناسب و نامناسب مشخص شد.

در اهداف کلان طرح‌های فرادست قزوین مسئله توجه به حفظ محیط زیست و زمین‌های کشاورزی در طی توسعه شهر مطرح بوده است. به‌عنوان مثال در طرح آمایش سرزمین، مبنای توسعه استان قزوین بر پایه توسعه صنعت و کشاورزی در برای بازرگانی و گردشگری مطرح شده بود. در سند توسعه استان نیز بر توسعه و گسترش فعالیت‌های کشاورزی تأکید شده بود. از اهداف اکولوژیکی و زیست‌محیطی طرح ناحیه نیز کاهش روند تخریب اراضی کشاورزی و حفظ خاک‌های قابل کشت بوده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در راستای این اهداف سرعت تخریب زمین‌های کشاورزی کاهش یافته است. ولی این اهداف کاملاً محقق نشده و کاهش زمین‌های کشاورزی تا حدی رخ داده است.

در طرح جامع شهر قزوین برنامه‌های مناسب برای گسترش شهر در شمال شرق و شرق پیشنهاد شده است. در این طرح علت محدودیت سمت شمال شهر را خطر زلزله و شیب زمین مطرح کرده‌اند. در رابطه با شیب زمین در طرح جامع ذکر شده است که شهر قزوین در رده شیب زیر ۲/۵ درصد قرار دارد و فقط شمال شهر دارای شیب‌های بالای ۲/۵ درصد است. البته در منابع، شیب تا ۵ درصد هم برای ساخت‌وساز شهری مناسب ذکر شده است. در مورد خطر زلزله نیز در طرح جامع ذکر شده است که تمامی منطقه مطالعاتی در پهنه خطر بسیار زیاد زلزله قرار دارد. بنابراین برای گسترش شهر در تمامی جهات را مستلزم رعایت اصول مقاوم‌سازی در برابر زلزله دانسته است.

راهکارها

متناسب با روند توسعه شهر تاکنون و همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش در خصوص توسعه آتی شهر قزوین، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ گرایش به رشد میان‌افزا و فراهم کردن شرایط مطلوب برای بلندمرتبه سازان برای جلوگیری از گسترش شدید افقی شهر قزوین.
- ✓ تخصیص بسته‌های تشویقی و تنبیهی (مانند هدف‌مندی مالیات بر زمین‌های خالی و یا دادن وام کم‌بهره برای ساخت و سازهای اراضی بایر داخل شهر) به مالکین اراضی بایر و رها شده فراوان در داخل شهر برای استفاده از این زمین‌ها برای ساخت و ساز.
- ✓ تأکید بیش‌تر بر گسترش شهر در سمت شمال شرق طبق برنامه‌های طرح جامع شهر برای حفظ زمین‌های کشاورزی.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله اینجانب تحت عنوان «ارائه الگوی بهینه گسترش شهر قزوین با رویکرد حفظ زمین‌های کشاورزی و فضای سبز شهری» می‌باشد برخود وظیفه می دارم از حمایت شهرداری قزوین در جمع‌آوری اطلاعات شهری، تشکر و قدردانی نماییم.

References

Aburas, M. M., Ho, Y.-M., Firuz Ramli, M. & Ash'aari, Z.H. (2017) Improving the Capability of an Integrated CA-Markov Model to Simulate Spatio-Temporal Urban Growth Trends Using an Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 59, 65-78. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.03.006

Acheampong, M., Yu, Q., Enomah, L.D., Anchang, J., & Eduful, M. (2018). Land use/cover change in Ghana's oil city: Assessing the impact of neoliberal economic policies and implications for sustainable development goal number one-A remote sensing and GIS approach. *Land Use Policy*, 73, 373-384. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.019

Agyemang, F.S.K., Silva, E., & Fox, S. (2023). Modelling and simulating 'informal urbanization': An integrated agent-based and cellular automata model of urban residential growth in Ghana. *Urban Analytics and City Science*, 50(4), 863-877. DOI: https://doi.org/10.1177/23998083211068843

AlFanatseh, A. (2022). Land suitability analysis of urban development in the Aqaba area, Jordan, using a GIS-based analytic hierarchy process. *Geo Journal*, 87, 4143-4159. DOI: https://doi.org /10.1007/s10708-021-10488-1

Alijani, Z., Hosseinali, F., & Biswas, A. (2020). Spatio-temporal evolution of agricultural land use change drivers: A case study from Chalous region, Iran. *Journal of Environmental Management*, 262, 110326. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110326

Arkhi, S., & Esfahani, M. (2019). Forecasting land use changes using multi-temporal images and the Marko chain model (Case Study: Ilam city). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 9(30), 95-112. (In Persian). DOI: 10.22111/gaij.2019.4529

Azizi, P., Bagheri, F., Sharifi, Sh., & Mikaeili, M. (2022). An Integrated Modelling Approach to Urban Growth and Land Use/Cover Change. *Land*, 11, 17-15. DOI: https://doi.org/10.3390/ land11101715

Bamrungkhul, S., & Tanaka, T. (2022). The assessment of land suitability for urban development in the anticipated rapid urbanization area from the Belt and Road Initiative: A case study of Nong Khai City. Thailand. *Sustainable Cities and Society*, 83, 103988. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103988

Bantider, A., Hurni, H., & Zeleke, G. (2011). Responses of rural households to the impacts of population and land-use changes along the Eastern Escarpment of Wello, Ethiopia. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 65, 42–53. DOI: https://doi.org/10.1080/00291951.2010.549954

Bewket, W. (2002). Land covers dynamics since the 1950s in Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Mountain Research and Development*, 22, 263–269. DOI: https://doi.org/10.1659/0276-4741(2002)022[0263:LCDSTI]2.0.CO;2

Derakhsh, M., & Sobhanardakani, S. (2022). Simulation of the Spatial Pattern of Land Use Change in the City of Gachsaran Using Cellular Automata Model. *Human and Environment*, 20(3), 83 - 97. (In Persian)

Entahabu, H.H., Minale, A.S., & Birhane, E. (2023). Modeling and Predicting Land Use/Land Cover Change Using the Land Change Modeler in the Suluh River Basin, Northern Highlands of Ethiopia. *Sustainability*, 15, 8202. DOI: https://doi.org/10.3390/su15108202

Farahmand, S., & Akbari, N. (2008). Spatial Analysis of Urban Development in Iran. *Iranian Journal of Economic Research*, *10*(34), 73-98.

Guvel, S.P., Akgul, M.A., & Akkoyunlu, M.F. (2023). Monitoring and Evaluation of 2015 Devrek Zonguldak Landslide within the scope of Flood Risk Assessment by Landsat-8 Satellite Data. *Journal of Natural Hazards and Environment*, 9(1), 81-89. DOI: https://doi.org/10.21324/dacd.1152670

Hassan, M.I. & Elhassan, S.M.M. (2020) Modelling of Urban Growth and Planning: A Critical Review. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 8, 245-262. DOI:10.4236 /jbcpr.2020.84016

Jadawala, S.H., Shukla, S.H., & Tiwari, P.S. (2021). Cellular Automata and Markov Chain Based Urban Growth Prediction, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(3), 337-343. DOI: https://doi.org/10.30897/ijegeo.781574

Kabat, P., Claussen, M., Dirmeyer, P.A., Gash, J.H., de Guenni, L.B., & et al. (Eds.) (2004). Vegetation, Water, Humans and the Climate: A New Perspective on an Internactive System. *Springer Science & Business Media*, Berlin/Heidelberg, Germany. DOI: https://doi.org/10.1007 /978-3-642-18948-7

Karimzadeh Motlagh, Z., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Ahmadizadeh, S. (2022). Evaluation and Prediction of Land-Use Changes using CA_Markov Model. *Geography and Environmental Planning*, 33 (2), 1-6. (In Persian) DOI: 10.22108/gep.2022.130601.1458

Khan, F., Das, B., & Mohammad, P. (2022). Urban Growth Modeling and Prediction of Land Use Land Cover Change Over Nagpur City, India Using Cellular Automata Approach. In: Rai, P.K. Mishra, V.N. Singh, P. (eds) Geospatial Technology for Landscape and Environmental Management. *Advances in Geographical and Environmental Sciences*. DOI: https://doi.org/10. 1007 /978-981-16-7373-3_13

Lia, J., Caoa, Y., Lib, Y., Chua, J., Wanga, Y., & Maa, M. (2023). Using EL-CA Model to Predict Multi-Scenario Land Sustainable Use Simulation and Urban Development. *Journal of Experimental Nanoscience*, 18(1), 2170352. DOI: https://doi.org/10.1080/17458080.2023.2170352

Liu, J., Hu, C., Kang, X., & Chen, F. (2023). A Loosely Coupled Model for Simulating and Predicting Land Use Changes. *Land*,12, 189. DOI: https://doi.org/10.3390/land12010189

Mahmoudzadeh, H., Abedini, A., & Aram, F. (2022). Urban Growth Modeling and Land-Use/Land-Cover Change Analysis in a Metropolitan Area (Case Study: Tabriz). *Land*, 11, 2162. DOI: https://doi.org/10.3390/land11122162

Mamitimin, Y., Simayi, Z., Mamat, A., Maimaiti, B, & Ma, Y. (2023). FLUS Based Modeling of the Urban LULC in Arid and Semi-Arid Region of Northwest China: A Case Study of Urumqi City. *Sustainability*,15, 4912. DOI: https://doi.org/10.3390/su15064912

Mansour, S., Ghoneim, E., El-Kersh, A., Said, S., & Abdelnaby, S. (2023). Spatiotemporal Monitoring of Urban Sprawl in a Coastal City Using GIS-Based Markov Chain and Artificial Neural Network (ANN). *Remote Sensing*, 15, 601. DOI: https://doi.org/10.3390/rs15030601

Maurya, N.K., Rafi, S., & Shamoo, S. (2023). Land use/land cover dynamics study and prediction in jaipur city using CA markov model integrated with road network. *GeoJournal*, 88, 137–160. DOI: https://doi.org/10.1007/s10708-022-10593-9

Pilehvar, A.A. (2021). Spatial-geographical analysis of urbanization in Iran. *Humanities and Social Sciences Communications*. 8, 63. DOI: https://doi.org/10.1057/s41599-021-00741-w

Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York. DOI: https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8

Saeidi, S., Mirkarimi, SH., Mohammadzadeh, M., Salmanmahiny, A., & Arrowsmith, C. (2018). Designing an integrated urban growth prediction model: a scenario-based approach for preserving scenic landscapes. *Geocarto international*, 33(12), 1381-1397. DOI: https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1353647

Salman Mahini, A.R., & Ghayab, H. (2018). *Remote sensing and applied geographic information systems with address software*. Tehran, Mehr Mahdis Publications.

Shooshtariana, M.R., Dehghanib, M., Margheritac, F., Conti Geac, O., & Mortezazadehd, S. (2018). Land use change and conversion effects on ground water quality trends: An integration of land change modeler in GIS and a new Ground Water Quality Index developed by fuzzy multi-criteria group decision-making models. *Food and Chemical Toxicology*, 114, 204–214. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.025

Ullah, N., Siddique, M.A., Ding, M., Grigoryan, S., Khan, I.A., Kang, Z., Tsou, S., Zhang, T., Hu, Y., & Zhang, Y. (2023). The Impact of Urbanization on Urban Heat Island: Predictive Approach Using Google Earth Engine and CA-Markov Modelling (2005–2050) of Tianjin City, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 2642. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph20032642

United Nations (2018). *World Urbanization Prospects*: The 2018 Revisions.

Walker, R. (2004). Theorizing land-cover and land-use change: the case of tropical deforestation. *International regional science review*, 27. DOI: https://doi.org/10.1177/0160017604266026

Wang, Y., Tao, S., Chen, X., Huang, F., Xu, X., Liu, X., Liu, Y., & Liu, L. (2022). Method multi-criteria decision-making method for site selection analysis and evaluation of urban integrated energy stations based on geographic information system. *Renewable Energy*, 194, 273-292. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.087

Wood, E., Tappan, G., & Hadj, A. (2004). Understanding the drivers of agricultural land use change in south-central *Senegal. Journal of Arid Environments*., 59, 565–582. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.022

Xu, C., Hu, X., Liu, Z., Wang, X., Tian, J., & Zhao, Z. (2023). Predicting the Evolution Trend of Water and Land Resource Carrying Capacity Based on CA–Markov Model in an Arid Region of Northwest China. *Sustainability*, 15, 1269. DOI: https://doi.org/10.3390/su15021269

Zhang, T. (2000). Land Market Forces and Government's Role in Sprawl. *Cities*, 17, 123-135. DOI: https://doi.org/10.1016/S0264-2751(00)00007-X

Zhao, L., Liu, X., Xu, X., Liu, C., & Chen, K. (2022). Three-Dimensional Simulation Model for Synergistically Simulating Urban Horizontal Expansion and Vertical Growth. *Remote Sensing*, 14, 1503. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14061503

Https://www.usgs.gov

www.amar.org.ir