

Predicting Land Use Changes and Urban Growth Using a Combined Markov Chain Model and Autonomous Cells (Case Study: Ahvaz City)

Mahnaz Hosseini Siahgoli¹

Postdoctoral Fellow in Geography and Urban Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Iraj Jabbari

Associate Professor of Geomorphology, Department of Geography, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 24 June 2025 Revised: 3 August 2025 Accepted: 7 September 2025

Abstract

Land use and cover change (LULC), as a key and dynamic factor, has significant impacts on the global and regional environment, including biodiversity, water resources, and soil quality. Access to accurate and up-to-date LULC data extracted from satellite imagery with advanced remote sensing and machine learning techniques provides a unique opportunity to identify, monitor, and model future changes in this critical phenomenon. This study aimed to investigate changes in urban land use in Ahvaz over the past years and predict future changes using the CA-Markov model. In this regard, ENVI, IDRISI TerrSet, and ARCGIS software were used to predict urban land use changes, and Spectrum software with the Demproj method was employed to analyze and predict population. The evaluation results confirm the high accuracy of the land use maps of 2006 and 2017, with kappa coefficients of 81.9% and 88.7% and overall accuracy of 93.4% and 96.6%, respectively. The land use map of 2030 was also predicted by the CA-Markov model. The findings suggest that there are 7092.44 ha of wasteland spread across eight districts of Ahvaz, which can play an important role in preventing the horizontal expansion of the city and guiding development towards dense growth. The

1. Corresponding Author: m.hosseini6768@gmail.com



©2024 The author(s). This is an open access article under the CC BY license:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

How to cite this article: Hosseini Siahgoli, M. and Jabbari, I. (2025). Predicting Land Use Changes and Urban Growth Using a Combined Markov Chain Model and Autonomous Cells (Case Study: Ahvaz City). *Journal of Geography and Regional Development*, 23(2), 403-433. Doi: 10.22067/jgrd.2025.94160.1574

lowest (10.94%) and highest areas of wasteland were found in District 7 and District 2, respectively. On average, wastelands account for 33.35% of the total areas of Ahvaz, which are clearly visible in the urban land use map amid built-up areas and urban uses. Analyses conducted by the Markov method to predict urban expansion until 2051 reveal that these wastelands, in addition to horizontal uses, can contribute to the coverage of the city surface and prompt dense urban growth.

Keywords: Urban Land Use, Urban Land Use Changes, Markov Chain, Automatic Cells, Ahvaz City.

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: شهر اهواز)

مهناز حسینی‌سیاه‌گلی (پسادکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، نویسنده مسئول)

m.hoseini6768@gmail.com

ایرج جباری (دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران)

iraj.jabbari@razi.ac.ir

چکیده

تغییر کاربری و پوشش زمین (LULC) به‌عنوان یک عامل کلیدی، اثرات چشمگیر و مهمی بر محیط زیست دارد. دسترسی به داده‌های دقیق و بروز LULC از تصاویر ماهواره‌ای که با تکنیک‌های پیشرفته پردازش می‌شوند، فرصتی بی‌نظیر برای شناسایی، نظارت و مدل‌سازی تغییرات آینده و مدیریت پایدار منابع طبیعی فراهم می‌کند. این امر به تصمیم‌گیری بهتر و برنامه‌ریزی مؤثر کمک شایانی می‌نماید. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات کاربری اراضی شهری اهواز در سال‌های گذشته و پیش‌بینی تغییرات آتی با استفاده از مدل CA-Markov انجام شده است. در این راستا، از نرم‌افزارهای ENVI، IDRISI TerrSet و ARC GIS برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهری و از نرم‌افزار Spectrom با روش Demproj برای تحلیل و پیش‌بینی جمعیت استفاده شد. نتایج ارزیابی، دقت بالای نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ را با ضرایب کاپا ۸۱/۹ درصد و ۸۸/۷ درصد و دقت کلی ۹۳/۴ و ۹۶/۶ درصد تأیید می‌کند. نقشه کاربری زمین برای سال ۲۰۳۰ نیز با مدل CA-Markov پیش‌بینی شده است. یافته‌های پژوهش حاکی از وجود ۷۰۹۲.۴۴ هکتار زمین بایر در هشت منطقه شهر اهواز است که می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از گسترش افقی شهر و هدایت توسعه به سمت رشد متراکم ایفا کند. کمترین میزان زمین بایر (۱۰/۹۴ درصد) در منطقه هفت و بیشترین آن در منطقه دو قرار دارد. به‌طور متوسط، ۳۳/۳۵ درصد از کل مناطق اهواز را زمین‌های بایر تشکیل می‌دهند که به‌وضوح در نقشه کاربری اراضی شهری در میان مناطق ساخته شده و کاربری‌های شهری قابل مشاهده‌اند. تحلیل‌ها با روش مارکوف برای پیش‌بینی گسترش شهر تا سال ۱۴۳۰

نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه ای، سال بیست و سوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، شماره پیاپی ۵۱، صص ۴۳۳-۴۰۳

تاریخ تصویب: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۴

نشان می‌دهد که این زمین‌های بایر علاوه بر کاربری‌های افقی، می‌توانند به پوشش سطح شهر کمک کرده و منجر به رشد متراکم شهری شوند.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی شهری، تغییرات کاربری اراضی شهری، زنجیره مارکوف، سلول‌های خودکار، شهر اهواز.

۱. مقدمه

در طول چند دهه گذشته، اکثر شهرها در سراسر جهان با رشد بی‌سابقه جمعیت و صنعتی شدن، گسترش سریعی را تجربه کرده‌اند (الدرویش^۱ و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۸۸۹؛ وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۲: ۲) و تقریباً ۵۵ درصد از جمعیت جهان در حال حاضر در مناطق شهری زندگی می‌کنند که تنها کمتر از ۱ درصد از مساحت زمین را تشکیل می‌دهند (لئو^۳ و همکاران، ۲۰۲۲؛ الرفع و لئو^۴، ۲۰۲۲: ۱). این روند رشد شتابان جمعیت و شهرنشینی در سراسر جهان، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، منجر به گسترش فیزیکی و کالبدی شهرها شده است (کریمی فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۳). این پدیده پیچیده، چالش‌های جدی برای توسعه پایدار ایجاد می‌کند (ساکیه^۵ و همکاران، ۲۰۱۶: ۱) و اغلب باعث تغییر کاربری زمین‌های اطراف شهرها، از جمله اراضی کشاورزی، مراتع و جنگل‌ها، به کاربری‌های شهری می‌شود (روستایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۹۰؛ بکائیان، شمسی‌پور و علی‌خواه‌اصل، ۱۳۹۹: ۶۳).

تغییرات کاربری اراضی، که اغلب در نتیجه مهاجرت روستا به شهر رخ می‌دهد (سامی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۰۵۰)، موضوعی مهم در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای است. این تغییرات، زمین‌های مختلف مانند اراضی کشاورزی و بایر را به فضاهای ساخته‌شده مانند مسکونی، تجاری، یا راه‌ها تبدیل می‌کند

1. Al-Darwish

2. Wang

3. Liu

4. Al Rifat & Liu

5. Sakieh

و در برخی موارد نیز زمین‌ها را به صورت بایر رها می‌سازد (خزایی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۲۲). عدم توجه به این تغییرات در دهه‌های اخیر، مشکلات زیست‌محیطی فراوانی مانند آلودگی آب و خاک را به دنبال داشته است (محمدپور و همکاران، ۱۴۰۱: ۲۷۹). بنابراین، آگاهی از این تغییرات و پیش‌بینی روندهای آینده برای برنامه‌ریزی درست و کاهش اثرات نامطلوب آن‌ها بسیار ضروری است.

در همین راستا می‌توان بیان کرد که با توجه به اهمیت استفاده بهینه از زمین، آگاهی از الگوهای کاربری اراضی و تغییرات آن در طول زمان یک پیش‌شرط اساسی است که امکان پیش‌بینی آینده را فراهم می‌آورد (بکائیان، شمسی‌پور و علی‌خواه‌اصل، ۱۳۹۹: ۶۳). برای مدیریت پیامدهای منفی شهرنشینی، پیش‌بینی و کنترل گسترش مناطق شهری ضروری است. به همین منظور، محققان از روش‌های متنوعی برای مدل‌سازی رشد شهری استفاده می‌کنند که داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، به دلیل ارائه اطلاعات جامع از کاربری و پوشش زمین، ابزارهای کلیدی این مدل‌ها محسوب می‌شوند (هرولد، منز و کلارک^۱، ۲۰۰۱: ۶). بنابراین، درک صحیح از روند توسعه آینده فضاهای شهری برای اجرای یک مدیریت کارآمد و حفاظت از محیط‌زیست ضروری است (سیدی‌فر و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۲).

تغییر کاربری اراضی به عنوان عاملی پایه در تغییرات زیست‌محیطی عمل کرده و به یک خطر جهانی تبدیل شده است. بازبینی این تغییرات از طریق تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی و ارزیابی پتانسیل آن‌ها از طریق مدل‌سازی می‌تواند به برنامه‌ریزان محیط‌زیست و مدیران منابع طبیعی برای تصمیمات آگاهانه‌تر کمک کند (عزیزی‌قلاتی و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۱). رهیافت‌های مختلفی برای مدل‌سازی مکانی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که از بین آن‌ها می‌توان به رهیافت‌های رگرسیون

لجستیک (مراتی فر و همکاران، ۱۴۰۱: ۲)، سلول‌های خودکار (یانگ، ژانگ و لئو^۱، ۲۰۱۲: ۱۲؛ لی^۲ و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۴۴۵؛ ریکیولی^۳ و همکاران، ۲۰۱۳: ۵۳۶۲)، الگوهای زمین‌منظر (یانگ، ژانگ و چن^۴، ۲۰۱۴: ۲)، و مدل C-Markov اشاره کرد. درواقع مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین به دو نوع تقسیم می‌شوند؛ مدل‌های تغییر کاربری زمین غیر مکانی و مدل‌های تغییر کاربری زمین مکانی. مدل‌های اولیه از نوع غیر مکانی بودند، مانند مدل زنجیره مارکوف که توانایی تعیین محل تغییر کاربری را ندارند. مدل‌های تغییر کاربری مکانی می‌توانند علاوه بر مقدار تغییر کاربری محل تغییرات را نیز تعیین کنند. برای آگاهی از محل تغییرات کاربری‌ها باید از مدل‌های تغییر کاربری زمین مکانی استفاده کرد. مدل Ca-Markov بیشتر برای پیش‌بینی تغییرات و توسعه شهری استفاده شده است. مدل Ca-Markov قدرت زیادی در مدل‌سازی کمیت تغییرات کاربری زمین دارد (مراتی فر و همکاران، ۱۴۰۱: ۲) و یکی از پرکاربرترین مدل‌ها در حیطه مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی است (سیدی فر و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۲). مدل‌سازی تغییر زمین به‌طور کامل با برنامه ایدریسی یکپارچه شده، درواقع برنامه ادریسی ابزاری برای مدیریت و برنامه‌ریزی زمین و همچنین ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری است و به کاربر اجازه می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی را به‌سرعت تجزیه و تحلیل کند (رهنا و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵۰) درواقع پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات آینده ضروری است. این فرآیند، به‌ویژه در مناطق با رشد سریع و بدون برنامه‌ریزی در کشورهای در حال توسعه، برای حفاظت از اکوسیستم‌ها اهمیت زیادی دارد. با توجه به اینکه مدل‌سازی کاربری اراضی فرآیندی پیچیده با متغیرهای متعدد است، استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌تواند به درک بهتر این تغییرات و ارائه راهکارهای مدیریتی مؤثر کمک کند (محمدیوسفی، پژوهش و هنربخش، ۱۳۹۹: ۱۲۹) با پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌توان مقدار

1. Yang, Zheng & Lv

2. Li

3. Riccioli

4. Yang, Zheng & Chen

گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (حیات‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۳). بنابراین انتخاب روشی مناسب برای شناسایی تغییرات کاربری و پوشش زمین (LULC) از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات نشان داده‌اند که ادغام سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزاری قدرتمند برای ارزیابی پویایی‌های زمانی-مکانی LULC فراهم می‌آورد. این رویکرد، امکان توسعه مدل‌های گوناگون و ارائه راهکارهای نوین، ساده، سریع و بروز در توسعه شهری را میسر می‌سازد (داداش‌پور، پناهی و شمس‌الدینی، ۱۳۹۸: ۴۱). با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه، می‌توان با صرف کمترین زمان و هزینه، نقشه‌های کاربری اراضی را استخراج کرد. مقایسه این نقشه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف، امکان ارزیابی نرخ تغییرات و شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد شهری برای سال‌های آتی را فراهم می‌آورد (محمدیوسفی، پژوهش و هنربخش، ۱۳۹۹: ۱۲۹). در این راستا، مدل‌های فضایی ابزارهای کارآمدی برای درک فرآیند توسعه شهری ارائه می‌دهند و می‌توان براساس این مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌ها، در خصوص تغییرات فرآیند توسعه شهری به سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی پرداخت (فلاح‌تکار^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). همانطور که اشاره شد، رشد سریع جمعیت در کلان‌شهرها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، به تغییرات پرشتاب در کاربری زمین منجر شده است. این تغییرات، تأثیرات مخربی بر محیط زیست مانند تخریب اراضی سبز و کشاورزی، افزایش آلودگی و آسیب‌های اکولوژیکی داشته است. بنابراین، برای مقابله با این چالش‌ها، برنامه‌ریزی کاربری زمین باید بر شناسایی الگوهای آینده توسعه با توجه به معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی متمرکز شود (داداش‌پور، پناهی و شمس‌الدینی، ۱۳۹۸: ۳۹). شهر اهواز، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین کلان‌شهرهای جنوب غربی ایران، با چالشی فزاینده همچون رشد بی‌رویه جمعیت ناشی از افزایش طبیعی و مهاجرت روستاییان روبه‌روست. این پدیده، منجر به ساخت‌وسازهای بی‌رویه و بی‌برنامه، تغییرات در ساختار فیزیکی شهر و گسترش ناموزون

آن در جهات مختلف شده است. این معضل، به‌ویژه در شهرهای کشورهای در حال توسعه، مشکلات عدیده‌ای را به بار آورده است، از جمله ناسازگاری در کاربری‌ها، آشفته‌گی محیط شهری، تخریب اراضی کشاورزی و فضاهای سبز پیرامون شهر. به‌منظور ساماندهی این فرآیند و جلوگیری از گسترش فیزیکی نامناسب شهرها و تعدیل مشکلات ناشی از آن، اهمیت و ضرورت مطالعه دقیق بر روی نحوه گسترش فیزیکی شهر و تغییرات کاربری اراضی مرتبط با آن بیش از پیش نمایان می‌شود. از این رو، برای تدوین برنامه‌ریزی اصولی و آینده‌نگر، ضروری است که ابتدا تغییرات کاربری و پوشش اراضی در شهر اهواز و پیرامون آن شناسایی شده و جهت و پیامدهای آن‌ها به دقت تعیین شود. بر این اساس، می‌توان برنامه‌ریزی کاربری زمین و آمایش سرزمین را برای شهر اهواز به گونه‌ای مؤثر تدوین کرد. این پژوهش، با تمرکز بر پیش‌بینی این تغییرات با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، گامی مهم در این راستا برمی‌دارد.

۲. پیشینه پژوهش

در حوزه کاربری اراضی شهری و پویایی تغییرات آن، پژوهش‌های متعددی در مقیاس‌های بین‌المللی و داخلی صورت گرفته است. در ادامه به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود: هانون^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای بر روی شهر ناصریه عراق، با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تکنیک‌های نوین GIS، رشد بی‌برنامه و اتفاقی این شهر را به نمایش گذاشتند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که مساحت شهری از ۲.۵ درصد در سال ۱۹۹۲ به ۱۲.۲ درصد در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته که مؤید گسترش تقریباً ۱۲ درصدی شهر و تأثیرات مخرب آن بر سیستم‌های شهری و طبیعی است.

شو^۱ و همکاران (۲۰۲۲) به پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین شهری با اتکاء بر مدل اتوماتای سلولی و PLUS پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از دقت بالای این روش در شناسایی انواع تغییرات کاربری اراضی بود و قابلیت آن را برای شبیه‌سازی گسترش شهری، به‌ویژه در دوره‌های کوتاه‌مدت، تأیید کرد.

کیم و کیم^۲ (۲۰۲۲) در پژوهش خود، مدل‌سازی و پیش‌بینی گسترش شهری در کره جنوبی را با استفاده از مدل هوش مصنوعی بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که گسترش شهری به‌طور فزاینده‌ای در مناطق نزدیک به نواحی توسعه‌یافته اقتصادی با توپوگرافی ملایم رخ می‌دهد. همچنین، وجود مناطق کوهستانی و محدودیت‌های قانونی کاربری اراضی، به‌طور قابل توجهی از این گسترش می‌کاهد.

ژو^۳ و همکاران (۲۰۲۰)، به شبیه‌سازی چند سناریوی تغییر زمین شهری در شانگهای با بهره‌گیری از جنگل تصادفی و مدل CA-Markov پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل CA-Markov توانایی بالایی در شبیه‌سازی دقیق زمین شهری در سال ۲۰۱۵ دارد. در شانگهای، عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه شهری شامل جمعیت، تولید ناخالص داخلی و فاصله تا مترو بودند. براساس سناریوی غیرقابل پیش‌بینی، پیش‌بینی می‌شود مناطق شهری شانگهای بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ حدود ۱۵۷.۷۹ کیلومتر مربع افزایش یابد و گسترش مکانی الگویی متمرکز را دنبال کند. این در حالی است که در سناریوی با مداخله برنامه‌ریزی، به دلیل محدودیت‌های حفاظت از محیط زیست، اراضی زراعی و مناطق فرهنگی، توسعه شهری با سرعت کمتری انجام شده و متراکم‌تر خواهد بود؛ به‌طوری که پیش‌بینی می‌شود مناطق شهری در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۵ حدود ۹۵.۴۶ کیلومتر مربع افزایش یابد که نشان‌دهنده توسعه‌ای پایدار تحت محدودیت‌های زیست‌محیطی و کشاورزی است.

1. Xu

2. Kim & Kim

3. Zhou

واکود و همکاران^۱ (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست به بررسی گسترش اراضی ساخته شده در منطقه حیدرآباد هند پرداختند. پژوهش آن‌ها نشان داد که در دوره زمانی ۱۹۸۹-۲۰۱۱، گسترش شهری با چگالی بالا اتفاق افتاده و تغییرات کاربری اراضی به‌طور عمده در جهت‌های جنوبی و شمال شرقی شهر مشهود بوده است. رشد شهری در جهت شمال شرقی عمدتاً ناشی از توسعه مناطق مسکونی، و در جهت جنوبی بیشتر تحت تأثیر رشد و گسترش مناطق صنعتی و مسکونی قرار داشته است.

میشرا^۲ و همکاران (۲۰۱۴) به مدل‌سازی گسترش شهری بوی‌تسوار با استفاده از داده‌های سنجش از دور و آمارهای جمعیتی پرداختند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵، میزان اراضی ساخته‌شده شهری برای سال ۲۰۳۱ براساس مدل‌سازی ارتباط بین جمعیت و گسترش شهری در دوره زمانی ۱۹۳۰-۲۰۰۵ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که توسعه مناطق شهری جدید در منطقه مورد مطالعه بیشتر در جهت‌های شمال، شمال غربی و جنوب غربی و در امتداد مسیرهای حمل‌ونقل اصلی شهر و در اراضی فضای سبز و کشاورزی رخ داده است.

ارخی (۱۴۰۴) در پژوهش خود به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در شهر گرگان با استفاده از تصاویر چندزمانه و مدل CA-Markov پرداخت. یافته‌های این تحقیق نشان داد که بیشترین افزایش کاربری‌ها مربوط به کاربری‌های شهری (ساخته شده) است که از ۶۰۰۵.۷۹ هکتار در سال ۱۴۰۰ به ۷۱۴۱.۶۶ هکتار در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. براساس این نتایج، رشد شهر گرگان طی سال‌های آینده به سمت زمین‌های زراعی در پیرامون شمال، شمال غربی و شمال شرقی گرایش خواهد داشت. قدوسی و همکاران (۱۴۰۴) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری در اردبیل پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها تأکید داشت که ابزارهایی نظیر سنجش از دور، GIS و مدل‌ها و الگوریتم‌های موجود در این سیستم‌ها، می‌توانند مدل‌سازی مکانی و فضایی مناسبی برای

1. Wakode

2. Mishra

کاربری‌های اراضی ارائه دهند. همچنین، استفاده از تصاویر با دقت بالاتر و مدل‌های متعدد، به بررسی دقیق‌تر موضوعاتی از این دست کمک شایانی می‌کند و می‌تواند در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های مدیران شهری مؤثر باشد. نتایج کلی نشان‌دهنده روند کاهشی مناطق ساخته شده و تداوم این روند برای سال ۲۰۳۸ بود؛ در حالی که کاربری راه و فضای سبز، روندی روبه‌رشد را از گذشته تا سال ۲۰۲۱ تجربه کرده‌اند و این روند برای سال ۲۰۳۸ نیز ادامه خواهد داشت.

خزایی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر تهران با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تمایل به ساخت‌وساز در مناطق جنوب تهران بیشتر است و روند کاهنده باغات و فضای سبز شهری همچنان ادامه خواهد یافت. مناطق مرکزی تهران به دلیل غلبه بافت شهری، به‌طور کامل از درختان عاری خواهند شد و نکته قابل تأمل، نابودی کمربند سبز شمال تهران در آینده است.

موغلی (۱۴۰۲) در پژوهش خود، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و اتوماتای سلولی را در مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر بوانات بررسی کرد. نتایج وی نشان داد که شبکه راه‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل در رشد و گسترش شهر بوانات بوده و علاوه بر آن، درصد شیب زمین نیز از پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی رشد این شهر محسوب می‌شود.

کریم‌زاده‌مطلق و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Markov پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که کاربری انسان‌ساخت از ۱۳۰۱۶ هکتار در سال ۱۹۹۶ به ۱۵۴۱۹۴ هکتار در سال ۲۰۵۰ تغییر خواهد یافت که نیازمند مدیریت دقیق توسعه آتی شهر است. در مقابل، میزان اراضی کشاورزی از ۱۷۷۰۶۷ هکتار در سال ۱۹۹۶ به ۴۰۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. این تغییرات به‌صورت گسترش مناطق شهری و کاهش مساحت کاربری کشاورزی نمود یافته است. روند تغییرات پس از سال ۱۹۹۶ پویا و تشدید شده است؛ به‌طوری که در سال ۲۰۱۸ بخش وسیعی از اراضی کشاورزی به مناطق شهری و صنعتی تبدیل

شده‌اند. اراضی کشاورزی و باغات که در سال ۲۰۱۸ شامل ۷۴۰۵۷ هکتار بوده‌اند، تا سال ۲۰۵۰ می‌توانند به ۴۰۰۰۰ هکتار کاهش یابند که به معنای از دست دادن ۳۴۰۵۷ هکتار از این نوع کاربری است.

محمدپور و همکاران (۱۴۰۱) به طبقه‌بندی و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در دشت ری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه، ۲۶۰۷ کیلومتر مربع از اراضی بایر این محدوده به اراضی کشاورزی، صنعتی و مسکونی تغییر کاربری داده است. در نتیجه، مساحت اراضی بایر در طول سال‌های مورد مطالعه روند کاهشی و سایر کاربری‌ها روند افزایشی داشته‌اند؛ به‌طوری که وسعت اراضی با کاربری کشاورزی، صنعتی و مسکونی به ترتیب ۱۴۰۶ کیلومتر مربع، ۹۰۷ کیلومتر مربع و ۱۰۶۴ کیلومتر مربع افزایش یافته است. تحلیل مساحت این کاربری‌ها نشان داد که سطح اراضی کشاورزی افزایش چشمگیری پیدا کرده که عمدتاً نتیجه تبدیل کاربری بایر به کشاورزی است.

محمدیوسفی، پژوهش و هنربخش (۱۳۹۹) به مدل‌سازی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در حوزه آبخیز بهشت‌آباد پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها دقت بالای مدل‌سازی (۶۲ تا ۹۴ درصد) و خطای حدود ۴۰۲۳ درصد در سال ۱۳۹۵ را نشان داد که مؤید انطباق زیاد تصویر پیش‌بینی‌شده مدل با واقعیت زمینی و قابل قبول بودن مدل است. همچنین، نتایج پیش‌بینی تغییرات برای سال‌های ۱۴۲۰ و ۱۴۲۹ نشان داد که مساحت اراضی مرتعی و اراضی بایر کاهش و مساحت مناطق ساختمانی-شهری، اراضی باغی و اراضی کشاورزی افزایش خواهند یافت.

سیدی‌فر و همکاران (۱۳۹۹) به پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری تبریز با استفاده از مدل SLEUTH پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با توجه به سناریوی تاریخی، ضرایب زایش و انتشار غالب هستند. نرخ بالای ضریب زایش در این منطقه، احتمال تبدیل هر سلول شهری به سلول مرکز انتشار شهر و در نتیجه میزان رشد مراکز انتشار جدید را افزایش می‌دهد. بالا بودن ضریب انتشار نیز، بیانگر احتمال بسیار زیاد به وجود آمدن لکه‌های شهری جدید حاصل از رشد خودبه‌خودی

و تبدیل آن‌ها به مراکز جدید رشد شهری است. نتایج صحت‌سنجی با استفاده از ضریب کاپا، دقت ۹۷.۷۲ درصدی مدل‌سازی را نشان می‌دهد که این مدل را برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری مناسب می‌سازد.

کریمی‌فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۷) به پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۴۱۹ با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از گسترش بی‌رویه شهر بابل طی ۳۰ سال گذشته بود؛ به‌طوری که رشد ۹۲ درصدی مساحت اراضی ساخته شده، سبب تخریب بیش از حد اراضی زراعی و فضای سبز در حاشیه شهر شده است. با افزایش فاصله از اراضی ساخته شده، میزان تغییرات کاربری اراضی کاهش چشمگیری داشته است. همچنین، پیش‌بینی می‌شود که تغییرات کاربری اراضی تا سال ۱۴۱۹ نسبت به سال ۱۳۹۴، رشد ۳۳ درصدی اراضی ساخته شده و کاهش ۷۰۴ هکتاری اراضی زراعی را به دنبال داشته باشد.

نوآوری اصلی این پژوهش در ارائه یک تحلیل مکانی-زمانی بی‌سابقه از تغییرات کاربری اراضی در هشت منطقه شهری اهواز است که با استفاده از مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار صورت گرفته است. این رویکرد پیشرفته، با پرکردن شکاف مطالعات پیشین، امکان شناسایی دقیق الگوهای رشد شهری در هر یک از مناطق هشت‌گانه را فراهم می‌آورد. به این ترتیب، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند با در نظر گرفتن جزئیات مکانی و پویایی‌های گذشته شهر اهواز، تصمیمات استراتژیک و واقع‌بینانه‌تری برای مدیریت بهینه زمین‌های بایر و توسعه پایدار اتخاذ کنند. تاکنون، هیچ مطالعه دیگری با این سطح از جزئیات و تمرکز بر مناطق شهری اهواز و با استفاده از این مدل تلفیقی انجام نشده است که این امر پژوهش حاضر را به ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی روندهای آینده و آمایش سرزمین تبدیل می‌کند.

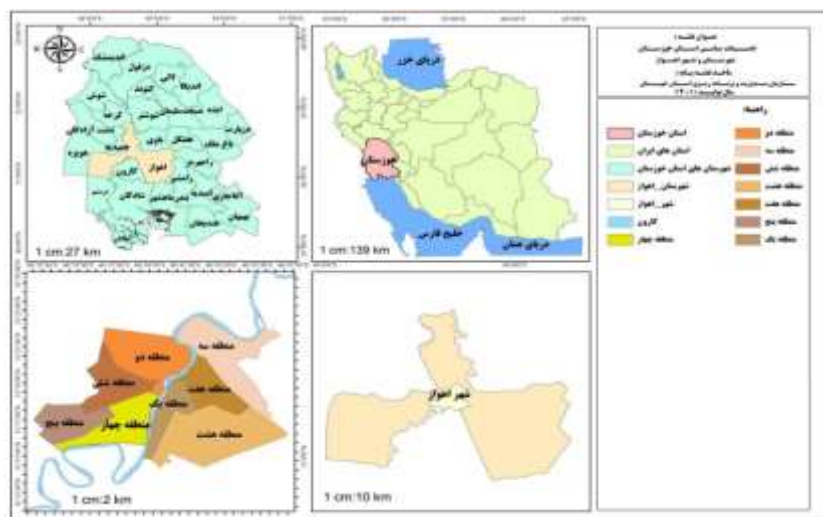
۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، با هدف کاربردی، رویکردی توصیفی-تحلیلی را اتخاذ کرده است. برای گردآوری داده‌های مورد نیاز، ترکیبی از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای به کار گرفته شده است. در این راستا، از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سه مقطع زمانی ۱۹۹۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۶ استفاده شده است که یک بازه زمانی ۲۶ ساله را پوشش می‌دهد. جهت دستیابی به بالاترین دقت در طبقه‌بندی، از ترکیب باندهای بهینه‌سازی شده برای سنجنده‌های مختلف لندست استفاده شده است: برای سنجنده‌های ETM+ و TM، ترکیبی از باندهای ۱، ۳، ۴، ۵ و ۶؛ و برای سنجنده OLI، ترکیبی از باندهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به کار گرفته شده‌اند. فرآیند طبقه‌بندی و تحلیل تصاویر با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای قدرتمند ENVI، IDRISI TerrSet و ARC GIS صورت پذیرفته است. ابتدا، تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI تحت تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری قرار گرفته و سپس با استفاده از روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه (Nearest Neighbor)، نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده‌اند. دقت طبقه‌بندی، با محاسبه ضریب کاپا، برای سال ۲۰۰۶ برابر با ۰.۹۱۹ و برای سال ۲۰۱۷ برابر با ۰.۹۳۷ ارزیابی گردیده که نشان‌دهنده صحت بالای نتایج است. در گام بعدی، تصاویر طبقه‌بندی شده در نرم‌افزار ARC GIS برای ورود به محیط نرم‌افزار TerrSet آماده‌سازی شده‌اند. در نهایت، نرم‌افزار IDRISI TerrSet به عنوان ابزار اصلی برای مدل‌سازی توسعه شهری اهواز به کار گرفته شده است. شایان ذکر است که برای تحلیل و پیش‌بینی جمعیت، از نرم‌افزار Spectrom و روش Demproj استفاده شده تا ابعاد جمعیتی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به دقت لحاظ شود. این رویکرد جامع و یکپارچه، پایه و اساس تحلیل‌های دقیق و پیش‌بینی‌های آتی در این پژوهش را تشکیل می‌دهد.

۴. معرفی منطقه مورد بررسی

شهر اهواز به عنوان یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز شهرستان اهواز و استان خوزستان از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی در

جلگه‌ای با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا قرار گرفته است و براساس آخرین آمار شهر اهواز در محدوده مصوب استانداری دارای ۱,۳۰۲,۵۹۱ نفر جمعیت بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). همچنین براساس آخرین مستندات شهر اهواز، ۸ منطقه شهری، ۳۴ ناحیه و ۱۲۴ محله دارد (معاونت برنامه‌ریزی شهری اهواز، ۱۳۹۶: ۶). شکل ۱ بیانگر محدوده جغرافیایی شهر اهواز است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر اهواز.

مأخذ: (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خوزستان، ۱۴۰۲)

اهمیت این پژوهش در این است که با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی و مدیریت رشد شهری اهواز فراهم می‌گردد. این مدل می‌تواند با دقت بالا، تغییرات کاربری اراضی را تا سال ۱۴۳۰ پیش‌بینی کرده و الگوهای گسترش افقی و متراکم شهری را شناسایی کند. با توجه به وجود ۴۴۷۰۹۲ هکتار زمین بایر در اهواز، این پژوهش به مدیران شهری کمک می‌کند تا با اتخاذ تصمیمات آگاهانه، از گسترش بی‌رویه شهر

جلوگیری کرده و زمین‌های بایر را به فرصتی برای توسعه پایدار و متراکم تبدیل کنند. این رویکرد پیشگیرانه، نه تنها به حفظ منابع طبیعی و محیط زیست کمک می‌کند، بلکه کیفیت زندگی شهروندان را نیز بهبود می‌بخشد.

۵. یافته‌های پژوهش

در این قسمت از داده‌های ماهواره لندست ۷ برای سال ۲۰۰۶ و از تصویر ماهواره لندست ۸ برای سال ۲۰۱۷ استفاده شده است. دلیل استفاده از تصاویر این سال‌ها بررسی داده‌های آماری سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ با وضعیت رشد شهر اهواز بوده است. پس از تصحیحات هندسی بر روی تصویر TM، تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ذکر شده در نرم‌افزار envi به صورت طبقه‌بندی نظارت شده با روش نزدیک‌ترین همسایه طبقه‌بندی شده‌اند. لازم به ذکر است بالاترین دقت برای طبقه‌بندی را این روش داشته و کاربری شهری را با دقت بیشتری استخراج کرده است. سپس تصاویر در نرم‌افزار GIS برای ورود به نرم‌افزار ادریسی آماده و در نهایت تحلیل مارکوف^۱ و کا-مارکوف^۲ بر روی تصاویر ماهواره‌ای صورت پذیرفته است.

۵.۱. مدل‌سازی تغییرات به وسیله مدل‌های سلول خودکار و مارکوف در سال ۱۴۳۰

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، جهت اجرای مدل مارکوف از نقشه سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ به عنوان نقشه‌های کاربری اراضی در دوره اول و دوم استفاده شد. به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیرهای مارکوف (MARKOV-CA) از جدول مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمالی شرطی شد و ماتریس احتمال انتقال برای دو دوره بررسی شد و نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۳۰ تولید شد. باتوجه به اینکه در مدل مارکوف به تنهایی نتیجه مطلوب به دلیل نداشتن مؤلفه مکانی حاصل می‌شود با ترکیب مدل سلول‌های خودکار با مدل مارکوف ابتدا با نقشه سال‌های ۱۳۷۵،

1. MARCOV

2. CA-MARCOV

۱۳۸۵، ۱۳۹۵ بررسی می‌شود؛ جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری برای دوره سه قابل قبول است. سپس با نقشه سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ نقشه کاربری اراضی برای سال ۱۴۳۰ با مؤلفه مکانی پیش‌بینی می‌شود.

در این قسمت پژوهش با استفاده از روش‌های سلول‌های خودکار به بررسی وضعیت رشد شهر اهواز در سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۹۵ و پیش‌بینی آن تا سال ۱۴۳۰ پرداخته شده است.

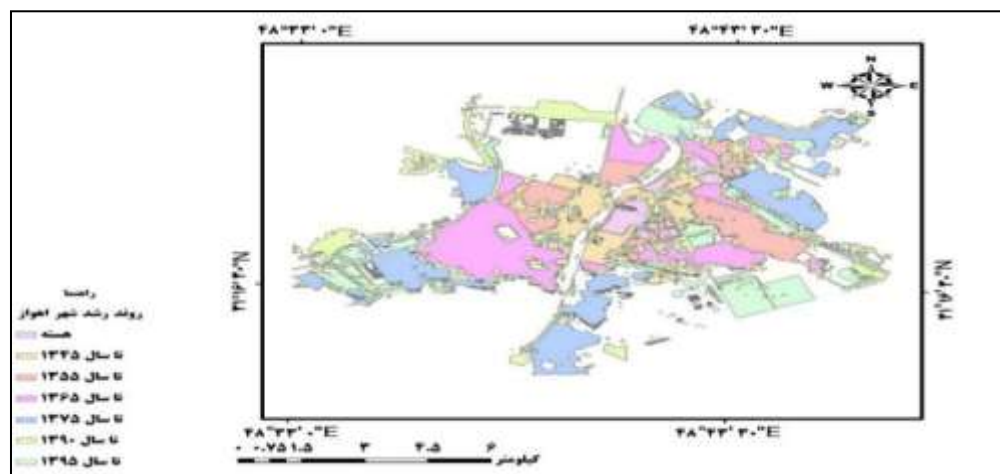
جدول ۱. مساحت شهر اهواز در سه دوره ۱۳۸۵-۱۴۳۰

مأخذ: (محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۲)

۱۳۷۵	۱۳۸۵	۱۳۹۵	۱۴۳۰	
هکتار	۹۷۴۳/۴	۱۳۳۲۶/۸	۱۶۰۰۳	۲۳۴۸۶

۵.۲. رشد فیزیکی شهر از ۱۳۷۵ تا سال ۲۰۲۲

به‌طور میانگین در هر سال ۱۵۶ هکتار در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ به شهر اهواز اضافه شده است. مساحت ساخته شده در سال ۱۳۷۵ برابر با ۹۷۴۳ هکتار بوده است که در سال ۱۳۸۵ به ۱۳۳۲۶ هکتار رسیده است. در سال ۱۳۹۵ مساحت شهر اهواز به ۱۶۰۰۳ هکتار رسیده و جمعیت سال ۱۳۷۵ از ۸۰۴۹۸۰ نفر به ۱۱۸۴۷۸۸ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش داشته است. جمعیت در این ده سال حدود ۳۸۰ هزار نفر افزایش داشته است. در شهر اهواز در هر سال حدود ۱۸۹۹۰ نفر به شهر اضافه شده‌اند که به‌طور متوسط به‌ازای هر نفر اضافه شده به شهر ۱۲ متر مربع شهر گسترش پیدا کرده است.



شکل ۲. روند رشد شهری اهواز از ابتدا تا سال ۱۳۹۵

مأخذ: (نگارندگان، ۱۴۰۲)

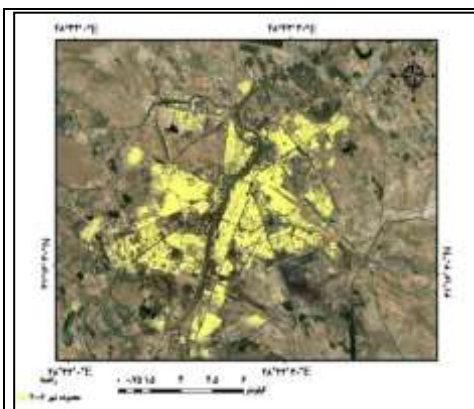
جدول ۲. روند رشد شهری اهواز از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵

مأخذ: (محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۲)

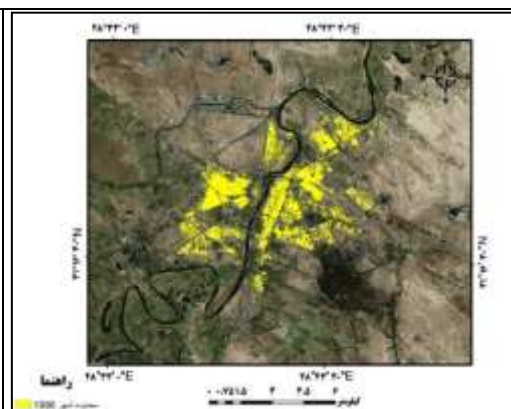
۷۶۸	۱۴۵۶۳۳/۷۸۲۷	هسته شهر اهواز
۱۴۱۳/۴	۱۷۵۶۶۳/۲۶۶۳	تا سال ۱۳۴۵
۱۶۰۲/۴	۱۰۱۵۱۰/۷۰۸۳	تا سال ۱۳۵۵
۲۸۱۰	۱۰۳۹۹۷/۸۱۰۸	تا سال ۱۳۶۵
۳۱۴۹/۶	۱۴۷۷۵۲/۴۲۴	تا سال ۱۳۷۵
۳۵۸۳/۴	۸۴۰۸۲۵/۵۲۷۴	تا سال ۱۳۹۰
۲۶۷۶/۲	۷۱۷۱۷۱/۳۸۹	تا سال ۱۳۹۵

با توجه به جدول (۲) می‌توان گفت که روند رشد شهری اهواز از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵ نشان‌دهنده گسترش قابل توجه هسته شهر در طول این نیم‌قرن است. در آغاز این دوره، یعنی تا سال ۱۳۴۵، هسته شهر اهواز مساحتی حدود ۱۴۱۳/۴ هکتار را شامل می‌شد. این مساحت تا سال ۱۳۵۵ به ۱۶۰۲/۴ هکتار افزایش

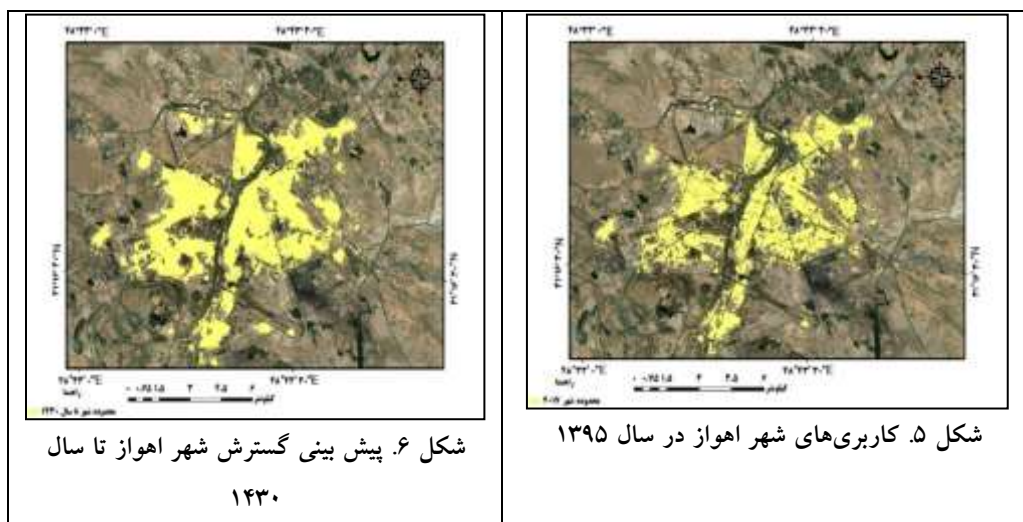
یافت که نشانگر رشد تدریجی در دهه‌های اولیه است. اوج رشد شهری در دوره پس از انقلاب و جنگ تحمیلی، یعنی تا سال ۱۳۶۵، با افزایش چشمگیر مساحت به ۲۸۱۰ هکتار رسیده است که می‌تواند بیانگر مهاجرت و گسترش سریع شهر در این دوران باشد. پس از آن، روند رشد با شیبی ملایم‌تر ادامه یافته و تا سال ۱۳۷۵ به ۳۱۴۹.۶ هکتار و تا سال ۱۳۹۰ به ۳۵۸۳.۴ هکتار رسیده است. در آخرین دوره مورد بررسی، یعنی تا سال ۱۳۹۵، مساحت هسته شهر اهواز به ۲۶۷۶.۲ هکتار کاهش یافته است. این کاهش در مساحت هسته شهر ممکن است ناشی از تغییر در روش‌های محاسبه، یا تکمیل ظرفیت توسعه در هسته مرکزی و هدایت رشد به سمت مناطق پیرامونی و توسعه اقماری باشد که نیاز به تحلیل‌های بیشتر و جزئی‌تر دارد.



شکل ۴. کاربری‌های شهر اهواز در سال ۱۳۸۵



شکل ۳. کاربری‌های شهر اهواز در سال ۱۳۷۵



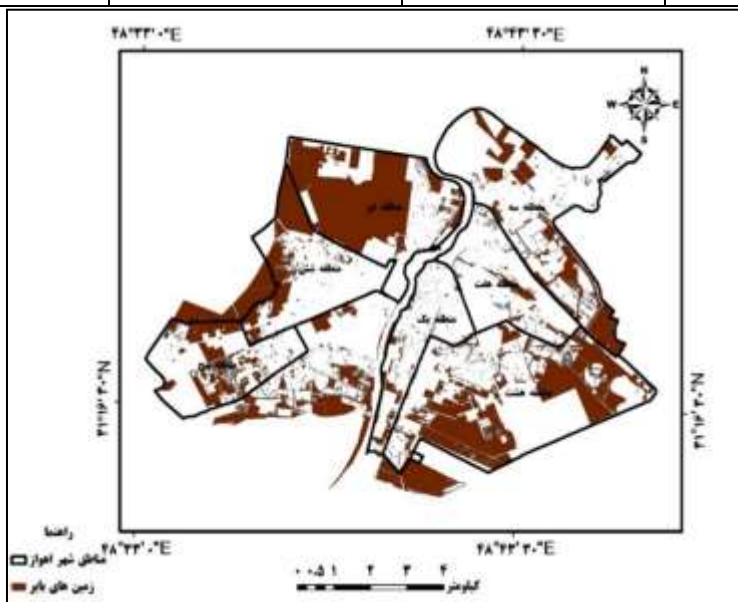
منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۲)

شهر اهواز ۷۰۹۲.۴۴ زمین بایر دارد که در دل مناطق هشتگانه آن جای گرفته است. این زمین‌های بایر می‌توانند برای توسعه شهر در آینده از گسترش افقی شهر جلوگیری کنند. در جدول شماره (۲) درصد زمین‌های بایر مناطق شهری آورده شده است که کمترین آن ۱۰.۹۴ درصد در منطقه ۷ و بیشترین آن مربوط به منطقه دو است. به‌طور متوسط ۳۳.۳۵ درصد کل مناطق اهواز از زمین‌های بایر تشکیل شده است. این مناطق به‌وضوح در نقشه کاربری اراضی شهر اهواز در بین مناطق ساخته شده و در میان کاربری‌های شهری به چشم می‌خورد. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته با روش مارکوف برای پیش‌بینی گسترش شهر تا ۱۴۳۰ می‌توان مشاهده کرد که کاربری‌ها می‌توانند علاوه بر کاربری افقی، زمین‌های بایر سطح شهر را پوشش دهند.

جدول ۲. درصد زمین‌های بایر مناطق شهر اهواز نسبت به کل مساحت

مأخذ: (محاسبات نگارنده، ۱۴۰۲)

نام منطقه	مساحت بایر (هکتار)	مساحت کل منطقه	درصد زمین‌های بایر
منطقه یک	۱۷۴/۲۷۷۶۹	۱۳۷۰/۴۰۷۷۵۱	۱۲/۷۱۷۲۱
منطقه دو	۱۷۲۰/۹۸۷۴۱	۲۹۸۱/۱۲۶۴۴۴	۵۷/۷۲۹۴۳
منطقه سه	۷۸۹/۰۰۸۲۱۹	۳۳۸۸/۴۳۵۰۹۲	۲۳/۲۸۵۳۳
منطقه چهار	۵۷۹/۳۷۰۸۸۷	۲۲۱۹/۰۲۵۵۲۲	۲۶/۱۰۹۲۵
منطقه پنج	۶۷۱/۹۹۸۱۳۸	۱۸۲۳/۹۳۵۹۰۷	۳۶/۸۴۳۳
منطقه شش	۷۸۴/۷۹۹۳۰۹	۱۹۸۹/۶۷۱۶۷۷	۳۹/۴۴۳۶۶
منطقه هفت	۱۸۶/۹۲۷۳۹	۱۷۰۷/۹۰۶۵۷۲	۱۰/۹۴۴۸۳
منطقه هشت	۱۷۹۹/۸۳۵۵۳۷	۴۶۲۸/۷۰۳۹۹۹۱	۳۸/۸۸۴۲۲



شکل ۷. زمین‌های بایر در محدوده مناطق شهر اهواز

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

۵. ۲. سناریوهای جمعیتی

۵. ۲. ۱. پیش‌بینی جمعیت در حالت‌های مختلف باروری

با توجه به نرخ باروری در شهر اهواز که بنابر آخرین سرشماری حدود ۱/۸۷ است و روند تاریخی باروری در شهرستان اهواز که طی فاصله سال‌های ۹۵-۸۵ حدود ۰/۰۵ افزایش باروری را تجربه کرده است، سه فرض باروری برای پیش‌بینی جمعیت شهر اهواز در نظر گرفته شده که بدین شرح است:

- فرض اول: پیش‌بینی جمعیت با افزایش باروری

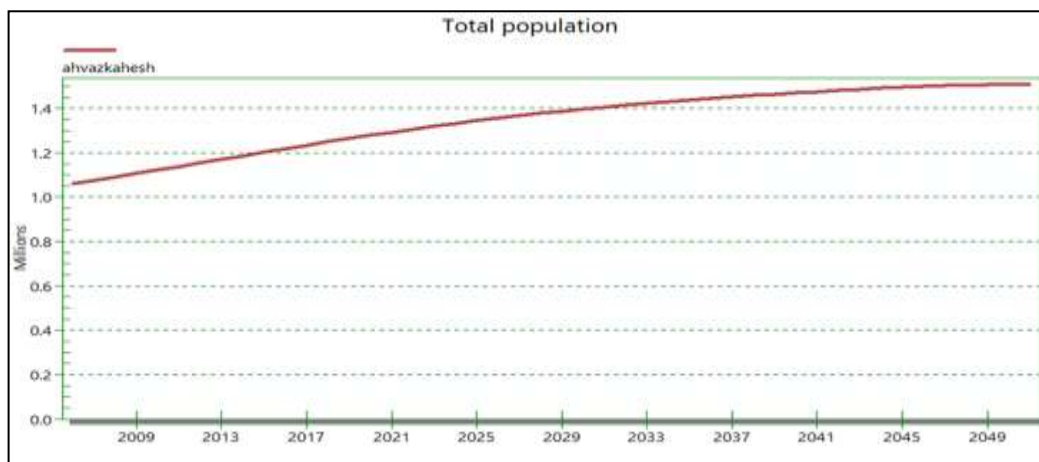
- فرض دوم: پیش‌بینی جمعیت با ثبات باروری

- فرض سوم: پیش‌بینی جمعیت با کاهش باروری

فرض اول: پیش‌بینی جمعیت با افزایش باروری: در مرحله اول، پیش‌بینی جمعیت شهر اهواز با فرض باروری ۱۸۲ که همان نرخ جایگزینی جمعیت است، در نظر گرفته می‌شود. نتایج به دست آمده از این فرض در نرم‌افزار اسپکتروم نمایش داده می‌شود: فرض افزایش جمعیت شهر اهواز با نرخ باروری موجب روند صعودی افزایش جمعیت در این کلان‌شهر خواهد شد. این روند صعودی تا حدودی سریع است و موجب افزایش جمعیت این شهر از ۱/۲۴۱/۸۱۳ هزار نفر به ۱/۶۷۰/۴۵۱ هزار نفر خواهد شد. در پیش‌بینی جمعیت با فرض افزایش باروری جمعیت اهواز در افق سال ۱۴۳۰ به ۱/۶۷۰/۴۵۱ هزار نفر خواهد بود. میزان جمعیت در سال‌های مابین ۱۳۹۵ و ۱۴۳۰ را در جدول (۳) مشاهده می‌کنید. روند رشد جمعیت در این فرض مقداری سریع است. در پیش‌بینی جمعیت با فرض باروری افزایشی، هرم سنی کلان‌شهر اهواز در افق سال ۱۴۳۰ در گروه سنی ۰-۱۴ سال کوچکتر شده و شاهد جمعیت کمتری از دوره فعلی خواهیم بود، این پیامد حاصل کم‌شدن زنان در سن باروری در دهه‌های قبل‌تر است.

فرض دوم: پیش‌بینی جمعیت با ثبات باروری: این فرض نشان می‌دهد که اگر میزان باروری در سطح فعلی باقی بماند و کاهش و افزایشی در میزان باروری فعلی نداشته باشیم، میزان جمعیت کلان‌شهر اهواز در افق ۱۴۳۰ چه تغییراتی خواهد کرد. در این نرخ باروری باز هم شاهد روند صعودی افزایش جمعیت در کلان‌شهر اهواز خواهیم بود. علت این امر جوانی جمعیت و بالا بودن سطح زادوولد نسبت به مرگ‌ومیر است. در این فرض جمعیت کلان‌شهر اهواز از حدود یک میلیون و ۲۲۵ هزار نفر به حدود یک میلیون و ۵۹۱ هزار نفر خواهد رسید. در فرض باروری ۱/۸۲ برای شهر اهواز در افق سال ۱۴۳۰، جمعیت این شهر در حدود ۱/۵۹۱/۹۰۴ میلیون نفر خواهد شد. درواقع این نرخ رشد همان نرخ رشد فعلی شهر اهواز بوده و اگر نرخ باروری در این شهر به همین منوال ادامه داشته باشد، در آینده شاهد افزایش آرام جمعیت در این شهر خواهیم بود. در فرض باروری ۱/۸۲ درصد برای شهر اهواز هرم سنی این شهر بعد از ۳۰ سال و در افق سال ۱۴۳۰ تقریباً رو به تعادل با اندکی کاهش نسبت به جمعیت گذشته حرکت خواهد کرد. درواقع به دلیل وجود افراد در سن فرزندآوری در این شهر ابتدا در ۵ سال اول شاهد ثابت ماندن باروری و در ۳۰ سال آتی با کاهش باروری نسبت به ۵ سال اول روبه‌رو خواهیم بود. این نرخ رشد موجب کاهش تعداد افراد در سنین ۱۴-۰ سال خواهد شد.

فرض سوم: پیش‌بینی جمعیت با کاهش باروری: در این فرض باروری نیز به‌صورت نمایی محاسبه شده و کاهشی است. با توجه به شرایط اقتصادی حال حاضر در کشور، میزان بیکاری قشر جوان و تا حدودی گذر متولدین دهه شصت از زمان فرزندآوری احتمال وقوع این فرض در کلان‌شهر اهواز بسیار بالا است.



شکل ۸. پیش‌بینی جمعیت کلان‌شهر اهواز با فرض کاهش باروری

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

در این فرض پیش‌بینی، باز هم شاهد افزایش جمعیت در کلان‌شهر اهواز خواهیم بود. البته این افزایش بسیار آرام و در یک روند صعودی ملایم اتفاق می‌افتد. درواقع هرچند میزان باروری نسبت به دوره جاری کاهش پیدا کرده است، اما به دلیل بالا بودن میزان ولادت نسبت به مرگ‌ومیر باز هم شاهد افزایش جمعیت در کلان‌شهر اهواز خواهیم بود، اما در صورت تحقق این فرض شاهد کاهش بسیار سریع کودکان و خردسالان در افق ۱۴۳۰ خواهیم بود. در این فرض جمعیت کلان‌شهر اهواز به حدود یک میلیون ۴۸۸ هزار نفر خواهد رسید.

جدول ۳. پیش‌بینی جمعیت کلان‌شهر اهواز با فرض کاهش باروری

مأخذ: (محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۲)

سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت
۱۳۹۵	۱/۲۱۰/۷۲۱	۱۴۰۷	۱/۳۶۵/۳۰۰	۱۴۱۹	۱/۴۵۳/۸۴۰
۱۳۹۶	۱/۲۲۵/۷۵۶	۱۴۰۸	۱/۳۷۴/۹۵۱	۱۴۲۰	۱/۴۵۸/۹۸۸

سال	جمعیت	سال	جمعیت	سال	جمعیت
۱۳۹۷	۱/۲۴۰/۵۵۴	۱۴۰۹	۱/۳۸۴/۱۱۸	۱۴۲۱	۱/۴۶۳/۸۶۶
۱۳۹۸	۱/۲۵۵/۰۴۸	۱۴۱۰	۱/۳۹۲/۸۳۳	۱۴۲۲	۱/۴۶۸/۴۳۱
۱۳۹۹	۱/۲۶۹/۱۸۸	۱۴۱۱	۱/۴۰۱/۱۳۷	۱۴۲۳	۱/۴۷۲/۶۸۶
۱۴۰۰	۱/۲۸۲/۹۳۹	۱۴۱۲	۱/۴۰۹/۰۷۴	۱۴۲۴	۱/۴۷۶/۵۳۸
۱۴۰۱	۱/۲۹۶/۲۶۶	۱۴۱۳	۱/۴۱۶/۵۷۷	۱۴۲۵	۱/۴۷۹/۸۹۰
۱۴۰۲	۱/۳۰۹/۱۱۷	۱۴۱۴	۱/۴۲۳/۶۵۱	۱۴۲۶	۱/۴۸۲/۷۰۷
۱۴۰۳	۱/۳۲۱/۴۴۴	۱۴۱۵	۱/۴۳۰/۳۳۹	۱۴۲۷	۱/۴۸۴/۹۶۳
۱۴۰۴	۱/۳۳۳/۲۲۲	۱۴۱۶	۱/۴۳۶/۶۷۷	۱۴۲۸	۱/۴۸۶/۶۳۸
۱۴۰۵	۱/۳۴۴/۴۴۹	۱۴۱۷	۱/۴۴۲/۶۹۱	۱۴۲۹	۱/۴۸۷/۷۰۶
۱۴۰۶	۱/۳۵۵/۱۳۷	۱۴۱۸	۱/۴۴۸/۴۰۶	۱۴۳۰	۱/۴۸۸/۱۴۹

نتایج جدول (۳) روند تغییرات تعداد جمعیت شهر اهواز را براساس سه سناریوی (بالا، متوسط و پایین) شهر اهواز تا سال ۱۴۳۰ نشان می‌دهد. برطبق ارقام مندرج در جدول (۳)، تعداد جمعیت در سناریوی رشد پایین از ۱۱۹۲۴۳۹ نفر در سال ۱۳۹۵ به ۱۲۱۰۷۲۱ نفر در سال ۱۴۳۰ افزایش خواهد یافت، هم‌چنین در سناریوی رشد متوسط به ۱۲۲۵۴۲۱ نفر افزایش خواهد یافت و در نهایت در سناریوی رشد بالا به ۱۲۴۱۸۱۳ نفر افزایش خواهد یافت. هم‌چنین در فرض باروری کاهشی نیز که مبنای هر سه فرض را سال پایه ۱/۸۲ قرار دادیم، کلان‌شهر اهواز در ۳۰ سال آینده و در افق سال ۱۴۳۰ قاعده هرم سنی این شهر کوچک‌تر و کم‌عرض‌تر از وضع فعلی خواهد شد. این نکته بیانگر این است که نرخ باروری ۱.۸۲ در این شهر کمتر از میزان باروری و رشد جمعیتی حال حاضر این شهر است. در این فرض شاهد کاهش سریع افراد ۱۴-۰ ساله خواهیم بود که در آینده نه‌چندان دور معضلات بسیاری در ارتباط با نیروی کار و سایر مسائل جمعیتی پدید خواهد آورد.

۶. نتیجه‌گیری

گسترش فزاینده شهرها، به‌ویژه در اهواز، چالش‌های جدی در زمینه برنامه‌ریزی شهری ایجاد کرده است. رشد کالبدی اهواز، با وجود موانع طبیعی و انسانی، ضرورت ارزیابی دقیق پیامدهای این گسترش بر کاربری‌های دیگر را آشکار می‌سازد. در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت مهم‌ترین عامل این رشد بوده است، اما پیش‌بینی کاهش نرخ زادوولد در آینده، می‌تواند از شتاب رشد شهری بکاهد. از این رو، در مدل‌های پیش‌بینی گسترش شهری، جمعیت باید به‌عنوان اصلی‌ترین عامل محرک، تحلیل شود. این امر اهمیت زمین به‌عنوان یک کالای ارزشمند را در شهری مانند اهواز دوچندان می‌کند. این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی، عامل اصلی تغییرات کاربری اراضی در هشت منطقه اهواز است. افزایش چشمگیر اراضی بایر در این مناطق، یکی از مهم‌ترین نتایج این تغییرات است. هدف اصلی این تحقیق، پیش‌بینی و کمی‌سازی تغییرات کاربری اراضی بوده است تا پایه‌ای برای پژوهش‌های آینده درباره ارتباط بین تغییرات کاربری‌ها و رشد جمعیت فراهم شود. نتایج این مطالعه، کارآمدی تلفیق مدل‌سازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد. این ابزار به برنامه‌ریزان شهری کمک می‌کند تا با مدیریت هوشمندانه تغییرات کاربری‌ها، به سمت توسعه پایدار حرکت کنند. همچنین، در این پژوهش تأکید شده که در مدل‌سازی توسعه شهری، باید میزان افزایش جمعیت و تأثیر آن بر گسترش مساحت شهر مورد توجه قرار گیرد. در فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، شهر اهواز به‌طور میانگین سالانه ۱۵۶ هکتار گسترش یافته و ۱۸۹۹۰ نفر به جمعیت آن افزوده شده است. این روند رشد منجر به افزایش مساحت شهر از ۹۷۴۳ هکتار در سال ۱۳۷۵ به ۱۶۰۰۳ هکتار در سال ۱۳۹۵ و افزایش جمعیت از ۸۰۴۹۸۰ نفر به ۱۱۸۴۷۸۸ نفر شده است. نکته قابل توجه این است که به‌ازای هر نفر افزایش جمعیت، ۱۲ متر مربع به مساحت شهر اضافه شده که این نسبت نشان‌دهنده اهمیت توجه به رشد جمعیت در برنامه‌ریزی شهری است. پژوهش‌ها اغلب این عامل حیاتی را نادیده گرفته‌اند.

در حال حاضر، ۱۰۲۲ هکتار زمین بایر در داخل بافت شهری اهواز وجود دارد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که تا سال ۱۴۳۰، ۱۳۸ هکتار از این زمین‌ها به کاربری‌های شهری تبدیل خواهد شد که به کاهش گسترش افقی شهر کمک می‌کند. با این حال، همچنان ۶۳۵ هکتار از رشد آینده شهر به صورت افقی خواهد بود و کل گسترش افقی ۷۷۳ هکتار پیش‌بینی می‌شود. در واقع می‌توان گفت که نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ۷۰۹۲/۴۴ هکتار زمین بایر در مناطق هشت‌گانه شهر اهواز وجود دارد. این اراضی که ۳۳/۳۵ درصد از کل مساحت مناطق اهواز را تشکیل می‌دهند و به وضوح در نقشه‌های کاربری اراضی قابل مشاهده‌اند، پتانسیل عظیمی برای جلوگیری از گسترش افقی شهر و هدایت توسعه به سمت رشد متراکم دارند. کمترین میزان زمین بایر (۱۰/۹۴ درصد) در منطقه هفت و بیشترین آن در منطقه دو قرار گرفته است. تحلیل‌های صورت گرفته با روش مارکوف برای پیش‌بینی گسترش شهر تا سال ۱۴۳۰ نشان می‌دهد که این زمین‌های بایر می‌توانند علاوه بر کاربری‌های افقی، به پوشش سطح شهر کمک کرده و منجر به رشد متراکم شهری شوند.

بنابراین، پیش‌بینی تغییرات کاربری و جمعیت، مبین این واقعیت است که در صورت تداوم شرایط و روند حاکم بر تغییرات سرزمین، مساحت مناطق انسان‌ساخت نسبت به وضعیت کنونی افزایش خواهد یافت. این روند افزایشی، می‌تواند به تغییر ماهیت کاربری‌ها منجر شود. ادامه این رقابت بر سر زمین و گسترش کنترل‌نشده مناطق انسان‌ساخت، به دلیل نیاز روزافزون به فضا، می‌تواند در نهایت به کاهش اراضی مرغوب و تکه‌تکه شدن آن‌ها بینجامد و چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی جدی را در پی داشته باشد. نتایج این پژوهش در اهواز، با دقت بالای نقشه‌های کاربری اراضی (کاپا ۸۱٪/۹ و ۸۸٪/۷) و پیش‌بینی گسترش متراکم شهر با مدل CA-Markov، از جهات مختلفی با تحقیقات پیشین همسو و درعین حال دارای تفاوت‌های نوآورانه‌ای است. این مطالعه در کارایی مدل CA-Markov و اهمیت سنجش از دور و GIS برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی با پژوهش‌هایی همچون ژو و همکاران (۲۰۲۰)، ارخی (۱۴۰۴)، سیدی‌فر و همکاران (۱۳۹۹) و کریمی فیروزجایی

و همکاران (۱۳۹۷) هم‌راستا است. همچنین، یافته‌های ما مبنی بر افزایش کاربری‌های انسان‌ساخت و کاهش اراضی طبیعی، روندی جهانی است که در مطالعاتی نظیر هانون و همکاران (۲۰۲۳)، کریم‌زاده‌مطلق و همکاران (۱۴۰۱) و کریمی‌فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۷) نیز مشاهده شده است. با این حال، تفاوت کلیدی پژوهش حاضر در پیش‌بینی رشد متراکم با بهره‌گیری از پتانسیل زمین‌های بایر درون‌شهری (۷۰۹۲.۴۴ هکتار)، در مقابل گسترش بی‌برنامه که در برخی مطالعات دیگر (مانند هانون و همکاران (۲۰۲۳)) ذکر شده، نهفته است. این پژوهش بر اهمیت ۳۳.۳۵٪ زمین‌های بایر اهواز برای جلوگیری از گسترش افقی تأکید دارد که این رویکرد توسعه درون‌زا، از اغلب تحقیقاتی که به گسترش به سمت اراضی پیرامونی می‌پردازند (مانند میثرا و همکاران (۲۰۱۴))، متمایز است. علاوه بر این، تمرکز بر تحلیل تفکیک‌شده در هشت منطقه شهری اهواز، یک رویکرد جزئی‌نگر و کاربردی را ارائه می‌دهد که سطح آن در پیشینه‌ها کمتر دیده شده است. به‌طور خلاصه، این مطالعه با تأکید بر مدیریت هوشمندانه زمین‌های بایر و ارائه تحلیل منطقه‌ای، گامی نوآورانه در جهت برنامه‌ریزی پایدار شهری برداشته و به برنامه‌ریزان شهری اهواز، ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری‌های آتی ارائه می‌دهد.

۷. پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش، پیشنهادهای عملیاتی زیر برای مدیریت بهینه زمین‌های بایر ارائه می‌شود:

- برنامه‌ریزی جامع کاربری اراضی: شهرداری اهواز باید یک طرح جامع و دقیق برای تبدیل این ۴۴۷۰۹۲ هکتار زمین بایر تهیه کند. این طرح باید شامل اختصاص این اراضی به کاربری‌های متنوعی مانند فضاهای سبز عمومی، پارک‌ها و مراکز تفریحی برای بهبود کیفیت زندگی شهروندان باشد.
- تشویق به ساخت‌وساز متراکم: برای مقابله با گسترش افقی، باید ساخت‌وسازهای عمودی و متراکم در این مناطق تشویق شود. شهرداری می‌تواند با ارائه تسهیلاتی مانند تخفیف در عوارض

ساخت‌وساز، کاهش فرآیندهای اداری و اعطای مجوزهای سریع‌تر، سرمایه‌گذاران و سازندگان را به احداث ساختمان‌های چندطبقه مسکونی و تجاری در این اراضی ترغیب کند.

- توسعه شبکه حمل‌ونقل عمومی: رشد متراکم شهری نیازمند یک زیرساخت حمل‌ونقل قوی است. توسعه و بهبود شبکه حمل‌ونقل عمومی در مناطقی که پتانسیل رشد متراکم دارند، ضروری است. این اقدام به کاهش ترافیک، کاهش وابستگی به خودروهای شخصی و دسترسی آسان‌تر به مناطق تازه توسعه‌یافته کمک می‌کند.

- حفاظت از اراضی باقیمانده و ایجاد کمربند سبز: بخش‌هایی از این زمین‌های بایر را می‌توان به‌عنوان کمربند سبز شهری یا مناطق کشاورزی شهری در نظر گرفت. این کار به حفظ تعادل اکولوژیکی شهر کمک کرده و منبعی برای تولید محصولات تازه برای ساکنان فراهم می‌کند.

- استفاده از تحلیل مارکوف در تصمیم‌گیری‌ها: شهرداری و سازمان‌های برنامه‌ریزی شهری باید از مدل تحلیل مارکوف که در پژوهش حاضر به آن اشاره شده، به‌طور مداوم برای پیش‌بینی دقیق‌تر رشد شهری استفاده کنند. این ابزار به آن‌ها کمک می‌کند تا به‌صورت فعالانه گسترش شهری را مدیریت کرده و از تبدیل زمین‌های بایر به کاربری‌های افقی و نامنظم جلوگیری کنند.

- این راهکارها به اهواز کمک می‌کند تا زمین‌های بایر خود را به فرصتی برای توسعه پایدار، افزایش کیفیت زندگی و جلوگیری از رشد بی‌رویه شهری تبدیل کند.

کتابنامه

۱. ارخی، ص. (۱۴۰). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر چندزمانه و مدل CA-MARKOV (مطالعه موردی: شهرگران). *مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای*، ۶(۳)، ۱۲۱-۱۳۸.
۲. بکائیان، ف؛ شمسی‌پور، ع؛ و علی‌خواه‌اصل، م. (۱۳۹۹). پایش روند تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر توسعه فیزیکی شهر تهران. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۱)، ۶۱-۷۸.

۳. حیات‌زاده، م؛ اختصاصی، م؛ ملکی‌نژاد، ح؛ فتح‌زاده، ا؛ و عظیم‌زاده، ح. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی نقشه کاربری آینده حوزه حوضه، با ادغام اتوماتای سلولی و مدل‌های زنجیره مارکوف براساس انتخاب بهترین طبقه‌بندی الگوریتم (مطالعه موردی حوضه فخرآباد مهریز یزد). *تحقیقات فرسایش محیطی*، ۶(۴)، ۱-۲۲.
۴. خزایی، ع؛ عباس‌پور، م؛ بابایی‌کفاکی، س؛ تقوی، ل؛ و رشیدی، ی. (۱۴۰۲). بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر تهران با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور. *فصلنامه علوم محیطی*، ۲۱(۲)، ۱۳۸-۱۲۱.
۵. داداش‌پور، ه؛ پناهی، ح؛ و شمس‌الدینی، ع. (۱۳۹۸). تحلیل عوامل محرک و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران با تأکید بر یک مدل منطقه‌ای یکپارچه. *فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۹(۳۵)، ۳۹-۵۶.
۶. روستایی، ش؛ احدنژادروشن، م؛ و فرخی‌صومعه، م. (۱۳۹۳). سنجش فضایی گستردگی شهری با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (مطالعه موردی شهر ارومیه). *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸(۵۰)، ۱۸۹-۲۰۶.
۷. رهنما، م؛ عجزه‌شکوهی، م؛ و عطا، ب. (۱۳۹۶). تشخیص تغییرات کاربری یا پوشش اراضی در شهرستان گنبدکاوس با استفاده از سنجش از دور. *فصلنامه داده‌های جغرافیایی (SEPEHR)*، ۲۶(۱۰۳)، ۱۴۸-۱۶۰.
۸. سامی، ا؛ کرباسی، پ؛ کریمی‌سلطانی، پ؛ و سنگین‌آبادی، م. (۱۴۰۱). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات فضایی و روند رشد شهری با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: شهر قروه). *مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، ۱۷(۴)، ۱۰۴۹-۱۰۶۱.
۹. سیدی‌فر، ل؛ دارابی، ح؛ امیری، م.ج؛ کرباسی، ع؛ و آقامحمدی، ح. (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری تبریز، با استفاده از مدل SLEUTH. *برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، ۷(۳)، ۳۳-۲۱.

۱۰. عزیزی‌قلاتی، س؛ رنگزن، ک؛ سدیدی، ج؛ حیدریان، پ؛ و تقی‌زاده، ا. (۱۳۹۵). پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف - CA (مطالعه موردی: منطقه کوهمره سرخی استان فارس). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)*، ۷(۱)، ۵۹-۷۱.
۱۱. فیضی‌زاده، ب. (۱۳۹۶). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS. *هیدروژئومورفولوژی*، ۳(۱۱)، ۲۱-۳۸.
۱۲. قدوسی، و؛ رحمتی، م؛ و نظم‌فر، ح. (۱۴۰۴). تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری (مطالعه موردی شهر اردبیل). *مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای*، ۶(۳)، ۱۶۸-۱۸۴.
۱۳. کریمی‌فیروزجایی، م؛ کیاورز، م؛ و کلانتری، م. (۱۳۹۷). پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۴۱۹ با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست. *برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، ۵(۳)، ۳۲-۵۲.
۱۴. محمدپور، پ؛ ارجمندی، ر؛ حسنی، ا؛ و قدوسی، ج. (۱۴۰۱). طبقه‌بندی و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: دشت ری). *انسان و محیط زیست*، ۲۰(۳)، ۲۷۹-۲۹۷.
۱۵. محمدیوسفی، م؛ پژوهش، م؛ و هنربخش، ا. (۱۳۹۹). مدل‌سازی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM بر پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بهشت‌آباد). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۱(۲۱)، ۱۲۹-۱۴۲.
۱۶. مراتی‌فر، م؛ کبودوندپور، ش؛ و امان‌اللهی، ج. (۱۴۰۱). بررسی قابلیت مدل Ca-Markov در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده بیجار). *فضای جغرافیایی*، ۲۲(۷۹)، ۱-۱۹.
۱۷. موغلی، م. (۱۴۰۲). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و Cellular Automata در مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر بوانات. *مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، ۱۸(۳)، ۲۵۵-۲۷۰.

۱۸. نیازی، ی؛ اختصاصی، م.ر؛ ملکی‌نژاد، ح؛ حسینی، س.ز؛ و مرشدی، ج. (۱۳۸۹). مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام). *جغرافیا و توسعه*، ۸ (پیاپی ۲۰)، ۱۱۹-۱۳۲.

19. Al Rifat, S. A., & Liu, W. (2022). Predicting future urban growth scenarios and potential urban flood exposure using Artificial Neural Network-Markov Chain model in Miami Metropolitan Area. *Land Use Policy*, 114, 105994.
20. Al-Darwish, Y., Ayad, H., Taha, D., & Saadallah, D. (2018). Predicting the future urban growth and its impacts on the surrounding environment using urban simulation models: Case study of Ibb city-Yemen. *Alexandria engineering journal*, 57(4), 2887-2895.
21. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International journal of remote sensing*, 25(9), 1565-1596.
22. Han, H., Yang, C., & Song, J. (2015). Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China. *Sustainability*, 7(4), 4260-4279.
23. Hanoon, S. K., Abdullah, A. F., Shafri, H. Z., & Wayayok, A. (2023). Urban growth forecast using machine learning algorithms and GIS-based novel techniques: a case study focusing on Nasiriyah City, Southern Iraq. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2), 76.
24. Herold, M., Menz, G., & Clarke, K. C. (2001, June). Remote sensing and urban growth models-demands and perspectives. *Symposium on remote sensing of urban areas, Regensburg, Germany* 2(35), 1-12.
25. Kim, M., & Kim, G. (2022). Modeling and predicting urban expansion in South Korea using explainable artificial intelligence (xAI) model. *Applied Sciences*, 12(18), 9169.
26. Li, D., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Li, S., Liu, K., ... & Lao, C. (2012). GPU-CA model for large-scale land-use change simulation. *Chinese Science Bulletin*, 57(19), 2442-2452.
27. Liu, X., Wei, M., Li, Z., & Zeng, J. (2022). Multi-scenario simulation of urban growth boundaries with an ESP-FLUS model: A case study of the Min Delta region, China. *Ecological Indicators*, 135, 108538.
28. McDonald, R. I., Green, P., Balk, D., Fekete, B. M., Revenga, C., Todd, M., & Montgomery, M. (2011). Urban growth, climate change, and freshwater availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(15), 6312-6317.

29. Mishra, M., Mishra, K. K., Subudhi, A. P., Phil, M., & Cuttack, O. (2011). Urban sprawl mapping and land use change analysis using remote sensing and GIS. In *Geospatial World Forum*, 1(1), 12-25.
30. Park, S., Jeon, S., Kim, S., & Choi, C. (2011). Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea. *Landscape and urban planning*, 99(2), 104-114.
31. Riccioli, F., El Asmar, T., El Asmar, J. P., & Fratini, R. (2013). Use of cellular automata in the study of variables involved in land use changes: An application in the wine production sector. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(7), 5361-5374.
32. Sakieh, Y., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S. H., & Saeidi, S. (2017). Measuring the relationships between landscape aesthetics suitability and spatial patterns of urbanized lands: an informed modelling framework for developing urban growth scenarios. *Geocarto International*, 32(8), 853-873.
33. Wakode, H. B., Baier, K., Jha, R., & Azzam, R. (2014). Analysis of urban growth using Landsat TM/ETM data and GIS—a case study of Hyderabad, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 109-121.
34. Wang, Y., Dong, P., Liao, S., Zhu, Y., Zhang, D., & Yin, N. (2022). Urban Expansion Monitoring Based on the Digital Surface Model-A Case Study of the Beijing–Tianjin–Hebei Plain. *Applied Sciences*, 12(11), 5312.
35. Xu, L., Liu, X., Tong, D., Liu, Z., Yin, L., & Zheng, W. (2022). Forecasting urban land use change based on cellular automata and the PLUS model. *Land*, 11(5), 652.
36. Yang, X., Zheng, X. Q., & Chen, R. (2014). A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA. *Ecological Modelling*, 283, 1-7.
37. Yang, X., Zheng, X. Q., & Lv, L. N. (2012). A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling*, 233, 11-19.
38. Zhou, L., Dang, X., Sun, Q., & Wang, S. (2020). Multi-scenario simulation of urban land change in Shanghai by random forest and CA-Markov model. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102045.