



Simulating Urban Growth via LTM and Modeling Ecological Capacity to Measure Land Suitability for Urban Development Using WLC in 2046 (Case study: Isfahan)

Aboozar Bakhshi ¹, Jamal Mohammadi Seyed Ahmadiani ²✉

¹. Department of geography and urban planning, Faculty of geographical sciences and planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Email: aboozar.bakhshi@gmail.com

². Department of of geography and urban planning, Faculty of geographical sciences and planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran. Email: j.mohammadi@geo.ui.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

4 October 2023

Received in revised form:

23 November 2023

Accepted:

3 December 2023

pp.x-xx

Keywords:

Land use change,
Urban growth modeling,
LTM,
WLC,
Scenario,
Isfahan.

ABSTRACT

A precise understanding of urban expansion patterns using urban growth models contributes to efficient urban management and planning. The present study aims to model the optimal urban growth of Isfahan by presenting the optimal scenario of its physical-spatial development. The study area covers Isfahan city with an area of 55218 hectares. The "applied" study employed a combined data collection method via "historical, case study, survey research, post-hoc, and action research" methods. Using the classification of Landsat TM satellite imagery related to the years 1986, 1998, and 2016, the trend of urban distribution and land-use changes and factors affecting the spatial-physical development of the city during 30 years were investigated. Then, to predict Isfahan urban development using LTM, the future growth for 2046 was examined, simulated, and evaluated. Land use changes were predicted as a "trend scenario" during the next three decades (2016-2046) based on the proposed LTM model. To achieve the "optimal scenario", modeling the ecological power zoning of urban development for 2046 using WLC was presented. The results of land use changes during the period 1986-2016 show a 178% increase in built-up lands and a decrease in agricultural (-13%), tree-covered (-75%), and pasture land uses (-28%). The results obtained from the methods of forecasting the future development of Isfahan for 2046 with the LTM model demonstrate the spatial expansion in the coming years as a spiral and the conversion of other uses into built-up areas to the extent that in the year of the horizon, the area of the built-up areas of the city increases 33% (5918 hectares) will reach 23781 hectares in 2046 from 17863 hectares in 2016. The zoning results modeling the ecological potential of Isfahan urban development to identify and measure land suitability of development in 2046 via WLC also indicate that the total area of lands with high and medium suitability for urban development covers 5712 hectares.

Citation: Bakhshi, A.; Mohammadi, J. (0000). Simulating urban growth via LTM and modeling ecological capacity to measure land suitability for urban development using WLC in 2046 (case study: Isfahan city). *Human Geography Research Quarterly*, 0 (0), 0-0.

<http://doi.org/>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press



DOI:

Extended Abstract

Introduction

The present study aims to present an analytical framework for the effect of urban sprawl on land use changes in Isfahan City, to predict the trend of land development and land use developments until 2046, and finally, to find a suitable and scientific framework to identify suitable places for the development of human settlements. The first goal is to determine the spatial-physical development process of Isfahan city and its effect on agricultural, tree-covered, pasture, and water surface land uses. The second goal is to use LTM to predict land use developments in the next three decades (2046). The third goal is to identify and measure land suitability for Isfahan development in 2046 by modeling urban development's ecological potential zoning using WLC. The questions answered in this research are: 1- What is the spatial-physical development pattern of Isfahan city, and what effect has it had on its expansion? 2- Based on the "trend" and "optimal situation" scenarios, what will be the modeling of land use changes and growth and spatial-physical development of Isfahan City in 2046?

Methodology

The applied study employed a combination of "documentary, descriptive, analytical, causal, and survey research" methods due to the dependence of the dependent variable of Isfahan urban growth on the independent variables effective in Isfahan development. Data analysis methods were four methods proposed by Tsai (agglomeration grade, equal distribution grade, density, and metropolis size), LTM, and WLC.

Results and discussion

Isfahan's physical growth and land use changes were simulated using LTM. First, land use maps of the city were prepared, and

changes in land uses and urban growth areas were examined during the 30 years from 1986 to 2016. LTM was employed to train, test, simulate, and predict the possible development of the city on the horizon of 2046; on this basis, the "trend scenario" was compiled. The results of the LTM model show a decrease in the extent of wastelands, agricultural land uses, pastures, and tree-covered land uses. In contrast, it offers an increase in residential areas. The area of built land will increase to 23,781 hectares in this period, which will increase by 5,918 hectares (33%) compared to the base year (2016), with an area of 17,863 hectares. To formulate the "optimal situation scenario", WLC was used to model the ecological capacity of urban development to identify suitable lands for the development of Isfahan City in 2046. The WLC results method indicate that suitable lands for Isfahan's future development are mainly located on the city westerly, northwesterly, northerly, easterly, and northeasterly.

Conclusion

The research results can be employed as a model for choosing suitable areas for urban development. Therefore, via the proper methods, it is possible to prevent urban growth and development in the direction of inappropriate areas.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

شبیه‌سازی رشد شهری با استفاده از مدل LTM و مدل‌سازی توان اکولوژیک به منظور سنجش تناسب اراضی برای توسعه شهری با روش WLC در چشم‌انداز سال ۱۴۲۵ (مطالعه موردی: شهر اصفهان)^۱

ابوذر بخشی^۱، جمال محمدی سید احمدیانی^۲✉

۱- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: aboozar.bakhshi@gmail.com

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: j.mohammadi@geo.ui.ac.ir

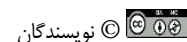
اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	درک دقیق الگوهای گسترش شهری با استفاده از مدل‌های رشد شهری به مدیریت و برنامه‌ریزی شهری کارآمد کمک می‌کند. هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی رشد بهینه شهری اصفهان با ارائه سناریوی وضع مطلوب توسعه فضایی-کالبدی آن است. محدوده مورد مطالعه، پهنه محدوده و حریم شهر اصفهان به مساحت ۵۵۲۱۸ هکتار می‌باشد. نوع تحقیق بر مبنای هدف، «کاربردی» و از نظر ماهیت، روش و نحوه گردآوری اطلاعات، ترکیبی از روش‌های «تاریخی، موردی، پیمایشی، پس رویدادی و عمل‌نگر» است. با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۵ روند پراکنش شهری و تغییرات کاربری اراضی و عوامل مؤثر بر توسعه فضایی-کالبدی شهر طی دوره ۳۰ ساله بررسی شده است. سپس برای پیش‌بینی توسعه شهری اصفهان با استفاده از مدل LTM توسعه آینده برای سال ۱۴۲۵ مورد بررسی، شبیه‌سازی و ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس الگوی احتمالی مدل LTM، تغییرات کاربری اراضی در قالب «سناریوی روند» در طی سه دهه آتی (۱۳۹۵-۱۴۲۵) پیش‌بینی گردیده است. برای دستیابی به «سناریوی مطلوب»، مدل‌سازی پهنه‌بندی توان اکولوژیک توسعه شهری برای سال ۱۴۲۵ با استفاده از روش WLC ارائه شده است. نتایج حاصل از تغییرات کاربری اراضی طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵ نشان‌دهنده افزایش ۱۷۸ درصدی اراضی ساخته‌شده و کاهش اراضی کشاورزی (۱۳-٪)، پوشش درختی (۷۵-٪) و مراتع (۲۸-٪) می‌باشد. نتایج بدست آمده از روش‌های پیش‌بینی توسعه آینده شهر اصفهان برای سال ۱۴۲۵ با مدل LTM نشان‌دهنده گسترش فضایی در سال‌های آتی به صورت انبساط و تبدیل کاربری‌های دیگر به زمین‌های ساخته شده است؛ تا حدی که در سال افق، مساحت نواحی ساخته شده شهر با افزایش ۳۳ درصد (۵۹۱۸ هکتار) از ۱۷۸۶۳ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۲۳۷۸۱ هکتار در سال ۱۴۲۵ خواهد رسید. نتایج مدل‌سازی پهنه‌بندی توان اکولوژیک توسعه شهری اصفهان به منظور شناسایی و سنجش تناسب اراضی برای توسعه در سال ۱۴۲۵ با استفاده از روش WLC نیز بیانگر این است که مجموع مساحت مناطق دارای تناسب‌های بالا و متوسط برای توسعه شهری ۵۷۱۲ هکتار است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲	
صص. ۰۰-۰۰	
واژگان کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، مدلسازی رشد شهری، مدل تبدیل اراضی (LTM)، ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)، سناریو، شهر اصفهان.	

استناد: شبیه‌سازی رشد شهری با مدل LTM و مدل‌سازی توان اکولوژیک به منظور سنجش تناسب اراضی برای توسعه شهری با روش WLC در چشم‌انداز سال ۱۴۲۵، مطالعه موردی: شهر اصفهان. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی،

 <http://>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

DOI:

 نویسندهگان

^۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری آقای ابوذر بخشی با عنوان «مدلسازی رشد بهینه شهری مبتنی بر سناریوی وضع مطلوب (مورد مطالعه: شهر اصفهان)» با راهنمایی دکتر جمال محمدی سید احمدیانی در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری در دانشگاه اصفهان است.

مقدمه

رشد و گسترش شهری بعنوان یک پدیده جغرافیایی پیچیده که از تکامل پویای مورفولوژی بیرونی و وضعیت توسعه ساختار و عملکرد درونی شهر تشکیل شده (Liu et al., 2022)، در سراسر دنیا محیط جهانی را به شدت تغییر داده است. شهرنشینی سریع منجر به تغییرات پویای منظر بیرونی شهری می‌شود و الگوهای رشد شهری متفاوتی را شکل می‌دهد که به نوبه خود بر سطح توسعه عملکردهای داخلی شهری نیز تأثیر می‌گذارد (He et al., 2023). لذا پیش‌بینی‌های توسعه شهری و اثرات زیست‌محیطی مرتبط در مطالعات تغییر جهانی ضروری شده‌اند. سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری نیز به‌طور فزاینده‌ای رشد شهری آینده را در مرحله برنامه‌ریزی در نظر می‌گیرند و پیش‌بینی‌های رشد شهری را برای برنامه‌ریزی شهری درازمدت ضروری می‌سازند (Zhang et al., 2021). از این‌رو، یک گام اساسی جهت مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری و همچنین ارزیابی اثرات تجمعی آن، از یکسو بررسی و شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهر و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و از سوی دیگر، تحلیل تناسب زمین برای توسعه شهری و شناسایی اراضی مناسب و اولویت‌دار برای توسعه کالبدی-فضایی می‌باشد. از آنجایی که بررسی روند تغییرات کاربری‌های مختلف اراضی به کاربری شهری و شناسایی پارامترهایی که در این تغییرات مؤثر می‌باشند، نقش اساسی در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت ایفا می‌کنند، لذا کشف قوانین و روابط مؤثر در تغییر کاربری‌های شهری و همچنین پیش‌بینی روند توسعه شهرها در آینده با روشهای دقیق و کارآمد بیش از پیش ضرورت دارد. بنابراین ارزیابی قابلیت استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز در مناطق مختلف می‌تواند گام مهمی در جهت توسعه آنها باشد (امامی، ۱۳۹۶: ۳). بر مبنای شبیه‌سازی و مدلسازی کاربری اراضی و با کاربست دیگر ابزارها و روشهای تحلیلی، می‌توان به جهت‌دهی توسعه و گسترش شهری و منطقه‌ای دست یافت (داداش‌پور، ۱۳۹۴: ۱۴۶). همچنین به دلیل اینکه جزئیات فضایی نقش مهمی در فرآیند تغییر کاربری اراضی دارند، مدلسازی فضایی مناسبترین روش به منظور مدلسازی تغییرات کاربری اراضی است (Chen et al., 2002: 163).

مدلهای رشد شهری ابزار اصلی برای تولید پیش‌بینی‌های رشد شهری هستند. آنها می‌توانند مکانیسم‌های سیستم‌های شهری موجود را شبیه‌سازی نموده و تکامل گسترش شهری را پیش‌بینی کنند (Wang et al., 2022). محققان و برنامه‌ریزان از آنها برای پیش‌بینی میزان و توزیع فضایی رشد شهری تحت سناریوهای مختلف توسعه استفاده می‌کنند (Aburas et al., 2016: 380). از میان مدل‌های مختلف ارائه شده به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد شهری، مدل تبدیل اراضی (LTM)^۲ به دلیل داشتن خصوصیات منحصر به فرد و همچنین ساختاری ساده در مدلسازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد نسبتاً وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و نیز توسعه اراضی شهری یافته است. در این مدل با استفاده از داده‌های موجود در زمان گذشته و بررسی وضعیت توسعه اراضی در آن زمان می‌توان پارامترهای تاثیرگذار در رشد اراضی را شناسایی و از آنها برای پیش‌بینی روند توسعه در آینده استفاده نمود. محققین مسائل شهری با تعریف مدل LTM بر اساس پارامترهای مورد نظر خود و اجرای آن در بستر زمان قادر خواهند بود گسترش فضایی اراضی شهری در آینده را پیش‌بینی کرده و به درجه نسبتاً مطلوبی از انطباق با واقعیت دست یابند.

در ایران کلانشهر اصفهان به عنوان بزرگترین مرکز شهری در مرکز کشور ایران، جمعیتش از ۲۵۴۷۰۸ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۱۹۶۱۲۶۰ نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده، یعنی طی ۶۰ سال حدود ۸ برابر افزایش جمعیت داشته است (آمارنامه شهر اصفهان، ۱۳۹۶). همچنین مساحت آن از ۲۰۵۸ هکتار در سال ۱۳۳۵ به ۲۰۸۸۴ هکتار در سال ۱۳۹۵ رسیده است (مهندسین مشاور نقش جهان پارس، ۱۳۹۷). شهر اصفهان در دهه‌های اخیر با شدت فزاینده‌ای با توسعه افقی مواجه بوده و در فرایند توسعه، علیرغم وجود قوانین بازدارنده (از جمله، قانون تعاریف محدوده و حریم شهر، قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغها، قانون حفظ و گسترش فضای سبز در شهرها، قانون منع فروش و واگذاری اراضی فاقد کاربری مسکونی برای امر مسکن) در روند گسترش، پیامدهای نامناسبی برای محیط داشته و منابع طبیعی سبز شهر که شامل انواع باغها و زمینهای

1. UGMs

2. Land Transformation Model

کشاورزی و مزارع بوده‌اند، در اثر رشد نامنظم و پراکنده شهری از دست رفته‌اند و بسیاری از روستاها در بافت شهری ادغام شده‌اند (۲۲ روستا). توسعه مداوم مجموعه‌های سکونتگاهی سپاهانشهر در جنوب، ولیعصر در جنوب غرب، شهید کشوری در جنوب شرق، اطشاران، امام زمان و گل نرگس در شرق، نگین در شمال شهر با وجود مخاطرات طبیعی همچون خطر زمین‌لرزه در جهات شمال شرق و جنوب شهر و خطر فرونشست و زمین‌لغزش در اطراف رودخانه زاینده‌رود، در دهه‌های اخیر صورت گرفته و در حال حاضر نیز ادامه دارد و باعث تغییرات اکولوژیکی و تهدید توسعه پایدار شهری شده است. با عنایت به این روند، مدلسازی رشد شهری شهر اصفهان برای جلوگیری از رشد پراکنده شهری و تخریب اراضی مرغوب کشاورزی، باغات و مراتع، کاهش هزینه‌های زیرساختی و خدماتی، ایجاد تعادل اکولوژیکی، توجه به پتانسیل‌های موجود در محدوده شهر به منظور ساماندهی فضایی آن از طریق بهسازی و نوسازی بافت‌های نامناسب شهری، پالایش کاربری‌های شهری، استفاده مجدد از اراضی رهاشده و تثبیت گسترش این شهر، بیش از پیش احساس می‌شود. از این‌رو، شبیه‌سازی پویایی شهر اصفهان جهت مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری اهمیت دارد و برنامه‌ریزان را در پیش‌بینی نیازهای آینده شهر یاری می‌کند.

در این راستا پژوهش حاضر در پی ارائه چارچوب تحلیلی از تأثیر توسعه پراکنده شهری بر تغییر کاربری اراضی در شهر اصفهان و نیز پیش‌بینی روند تحولات توسعه اراضی و کاربری اراضی تا سال ۱۴۲۵ و نهایتاً یافتن چهارچوبی مناسب و علمی برای شناسایی مکان‌های مناسب جهت توسعه سکونتگاه‌های انسانی است. بدین منظور، هدف اول تحقیق، مشخص کردن روند توسعه فضایی-کالبدی شهر اصفهان و تأثیر آن بر اراضی کشاورزی، پوشش درختی، مراتع و سطوح آبی می‌باشد. هدف دوم، کاربست مدل LTM (بر مبنای بررسی و تحلیل روند گسترش اراضی ساخته شده از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵) در محدوده مطالعاتی برای پیش‌بینی تحولات کاربری اراضی تا سه دهه آتی (سال ۱۴۲۵) است. هدف سوم، شناسایی و سنجش تناسب اراضی برای توسعه شهر اصفهان در سال ۱۴۲۵ از طریق مدلسازی پهنه‌بندی توان اکولوژیک توسعه شهری با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (wlc) در مدل ارزیابی چندمعیاره (MCE) است. برای دستیابی به اهداف مذکور، ابتدا با استفاده از روش‌های چند مرحله‌ای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست (طبقه‌بندی نظارت‌شده با روش حداکثر احتمال و طبقه‌بندی نظارت‌نشده با روش Cluster) در نرم‌افزار Envi به پردازش و بررسی روند پراکنش شهری و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه طی سال‌های ۹۵-۱۳۶۵ پرداخته شده و در ادامه ضمن استفاده از شاخص‌های پیشنهادی تسای یعنی تراکم، اندازه متروپل، درجه توزیع متعادل (ضرایب جینی و آنتروپی شانون) و درجه تجمع (ضرایب موران و گری) برای بررسی روند و الگوی رشد کالبدی-فضایی شهر طی این دوره، به پیش‌بینی و شبیه‌سازی روند تغییرات و توسعه آتی شهر با استفاده از مدل LTM در محیط نرم‌افزار Idrisi Terrset 2020 برای سال ۱۴۲۵ پرداخته شده است. متعاقباً بر اساس الگوی احتمالی مدل LTM، تغییرات کاربری اراضی در قالب «سناریوی روند» در طی سه دهه آتی (۱۳۹۵-۱۴۲۵) پیش‌بینی گردیده است و در نهایت برای دستیابی به «سناریوی وضع مطلوب» با استفاده از روش wlc، اراضی مناسب توسعه شهر اصفهان در سال ۱۴۲۵ شناسایی و مورد سنجش تناسب قرار گرفته است.

مهمترین سؤالاتی که در این پژوهش به آنها پاسخ داده می‌شود این است که: ۱- الگوی توسعه فضایی-کالبدی شهر اصفهان چگونه است و چه اثری بر گسترش آن داشته است؟ ۲- بر مبنای سناریوهای «روند» و «وضع مطلوب»، مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و رشد و توسعه فضایی-کالبدی شهر اصفهان در سال ۱۴۲۵ به چه صورت خواهد بود؟ پیشینه مرتبط با مدلسازی رشد و توسعه شهری نشان می‌دهد که سیر استفاده از مدل در فرآیند رشد شهری از مدل‌های قدیمی دهه ۱۹۵۰ میلادی به سمت مدل‌های پویاتر و منعطف‌تر امروزی از قبیل سلول‌های خودکار، رگرسیون لجستیک، شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک و... می‌باشد. در این راستا در چند سال اخیر افزایش دسترسی به داده‌های سنجش از

1. Weighted Linear Combination

2. Multi Criteria Evaluation

دور و بهبود قدرت تفکیک آنها و نیز قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدلسازی رشد شهری سبب شده است که محققان در سراسر دنیا از این ابزارها استفاده نمایند. همچنین استفاده ترکیبی از مدل‌های مناسب در ترکیب با GIS و سنجش از دور سبب شده که توسعه آتی شهرها در آینده نیز شبیه‌سازی شود (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۹).

محققین بسیاری در کشورهای مختلف با استفاده از دوره‌های مختلف تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های شبیه‌سازی فرایندهای تغییر و تبدیل کاربری اراضی شهری مانند LTM-cluster، LCM، UDM، Markov Chain، LULCC، CUF، MOLAND، UrbanSim، Logistic Regression، CLUE-S، GTABM، SLEUTH، Cellular Automata، what-if، UPLAN، LUCAS، FCAUGM، UES، DINAMICA، SIMLUCIA، CAST، DUEM، QUEST، ITLUP، PCraster، SWARM، DUEM، TRANUS، Metropolis، GeoSOS، FLUS، LUT، LR و ... به ارزیابی و پیش‌بینی گسترش فضایی-کالبدی آتی شهرها پرداخته‌اند. در ادامه صرفاً برخی از آخرین پژوهش‌های مرتبط با موضوع مدلسازی رشد و توسعه شهری با استفاده از مدل LTM مورد بررسی قرار گرفته می‌گیرد.

۱) عمرانی و همکاران (۲۰۱۹)، در مقاله «چارچوب مدل خوشه‌تبدیل اراضی (LTM-cluster): بکارگیری k-means و محیط محاسباتی Spark برای تجزیه و تحلیل تغییرات اراضی در مقیاس بزرگ»، یک چارچوب جدید برای شبیه‌سازی تغییر زمین معرفی کرده‌اند که مدل سنتی تبدیل اراضی (LTM) را با ابزارهای خوشه‌بندی داده‌ها به منظور انجام شبیه‌سازی تغییر زمین در مناطق بزرگ مقیاس و در طی چند مرحله زمانی ترکیب می‌کند. این چارچوب که مدل LTM-cluster نامیده می‌شود، مجموعه داده‌های کلان کاربری زمین را زیرمجموعه قرار می‌دهد که به LTM مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی ارائه می‌شوند. LTM-cluster از الگوریتم خوشه‌بندی k-means استفاده می‌کند که در محیط محاسباتی Spark پیاده‌سازی شده است. این پژوهشگران از سه مطالعه موردی در ایالات متحده آمریکا استفاده نموده‌اند که از نظر وسعت شبیه‌سازی، اندازه سلول، فواصل زمانی، تعداد ورودی‌ها و کمیت تغییرات شهری با همدیگر متفاوت هستند. نتایج تحقیق تأیید می‌کند که مدل LTM-cluster برای مدیریت مجموعه داده‌های کلان از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است (Omrani, Parmentier, Pijanowski, 2019: 182).

۲) یو جانگ کیم (۲۰۱۹)، در پژوهشی با عنوان «برنامه‌ریزی سناریوی پیشرفته برای آمادگی جهت تغییر نامطمئن آب‌وهوا: پیش‌بینی رشد شهری در آینده و آسیب‌پذیری سیل»، به بررسی میزان آمادگی شهرهای ساحلی ایالات متحده آمریکا برای رشد شهری آینده و خطرات سیل پرداخته است. بدین منظور در سناریوسازی، سناریوهای رشد شهری آینده و خطر سیل را با استفاده از مدل تبدیل زمین (LTM) در شهر ساحلی تامپا ایجاد نموده است. برای تحلیل تأثیر، سه سناریوی رشد شهری مختلف با مقایسه مواجهه با سیلاب شهری در سطح شهر و محله ارزیابی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که رشد به صورت «سناریوی طرح کاربری اراضی»، نسبت به رشد به صورت «سناریوی روند کنونی»، مناطق شهری کمتری را در معرض خطر سیل قرار می‌دهد؛ اما میزان مواجهه با سیلاب شهری بسیار بیشتر از «سناریوی رشد انعطاف‌پذیر» در سطح شهر است. حتی در سطح محله، تعداد بیشتری از محله‌ها در «سناریوی رشد برنامه‌ریزی شده» نسبت به «سناریوی روند کنونی» در برابر خطرات سیل آسیب‌پذیر هستند (Kim, 2019).

۳) محمودزاده و همکاران (۲۰۲۲)، در مقاله‌ای با عنوان «مدلسازی رشد شهری و تحلیل تغییر کاربری پوشش زمین در یک منطقه شهری (مورد مطالعه: تبریز)»، با ادغام دو مدل رگرسیون لجستیک و LTM با یکدیگر، به مدلسازی اکولوژیکی توسعه شهری در منطقه کلانشهر تبریز با توجه به حفظ منابع زیست‌محیطی، جلوگیری از گسترش شهری و مدیریت گسترش فیزیکی این کلانشهر به شیوه‌ای سازگار با محیط زیست پرداخته‌اند. در این راستا، برای توسعه اکولوژیکی آتی کلانشهر تبریز، از بلوک‌بندی شش ضلعی نقشه احتمال شهرنشینی در کنار سیاست‌های توسعه زیست‌محیطی در قالب استفاده از ۳۰ درصد ظرفیتهای توسعه‌ای کاربریهای ناکارآمد برای جلوگیری از رشد پراکنده در تبریز استفاده شده است. همچنین، برای حفظ مناظر اکولوژیکی، شبکه‌های اکولوژیکی در قالب کمربند سبز به طول ۹۱ کیلومتر طراحی شده است که می‌تواند در جلوگیری از ادغام شهرهای کوچک و روستاهای مجاور در این کلانشهر مؤثر باشد (Mahmoudzadeh et al., 2022:1).

مبانی نظری

الگوی توسعه شهری پراکنده یا اسپرال شهری پس از جنگ جهانی دوم به‌ویژه در دهه ۱۹۶۰ به مثابه الگوی غالب توسعه فضایی شهری در سرتاسر جهان با تفاوت در تاریخ، علل و پیامدها نمایان شده است (Gomez et al., 2014: 21) و تا مدت مدیدی از پدیده‌های ویژه شهرهای آمریکایی در نظر گرفته می‌شد که به دلیل وفور زمینهای ارزان، ساخت بی‌رویه جاده‌ها و تولید بیش از اندازه اتومبیل در این کشور رخ داد؛ اما این امر امروزه به پدیده‌ای جهانی تبدیل شده است که بیشتر شهرهای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه با آن روبه‌رو هستند (مولایی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۸). در این میان، تغییر کاربری اراضی ناشی از رشد و توسعه شهر یک فرایند پیچیده بوده و مدلسازی این سیستم‌ها همواره چالش‌برانگیز است (Tayyebi & Pijanowski, 2014: 10). لذا با توجه به توسعه پراکنده شهری و تغییرات اراضی پیرامونی شهرها، مدلسازی این تغییرات به عنوان یک ابزار کارآمد برای برنامه‌ریزان، اقتصاددانان، اکولوژیست‌ها و طرفداران محیط زیست جهت بررسی تغییرات آتی توسعه شهری محسوب می‌گردد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۹).

بسیاری از مدل‌های مختلف رشد شهری بر اساس تئوری‌های شهری خاص در طول تاریخ طولانی تکامل خود از دهه ۱۹۵۰ توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها برای مطالعه گسترش شهری و تأثیر آن بر محیط زیست توسعه یافته و به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آنها را می‌توان در سیاست‌گذاری شهری یا تحلیل سناریوهای توسعه بکار گرفت (Li & Gong, 2016: 1637-1638). مدل‌های اولیه توسعه شهری بزرگ مقیاس و پیچیده بودند و نیاز به محاسبات سنگین ریاضی داشتند و از انعطاف کافی برخوردار نبودند و در دهه ۱۹۷۰ میلادی مورد انتقاد قرار گرفتند. متعاقباً مدل‌های کیفی جایگزین آنها شدند و تا پایان دهه ۱۹۸۰ میلادی به منظور بررسی توسعه شهرها مورد استفاده قرار گرفتند. توسعه و پیشرفت GIS در فراهم آوردن اطلاعات فضایی مناسب، در دهه ۱۹۹۰ و به‌کارگیری آنها در مدلسازی فضایی-کالبدی، تحلیل تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری را تسهیل کرد (رحیمی، ۱۳۹۳: ۱۰۳-۱۰۲).

مدلسازی شهری یک روند عملی است که در فاز اول تلاش بر این است تا مکانیسم غالب در شکل‌گیری و ایجاد تغییر در شهرها شرح داده شود و در فاز دوم با تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بلندمدت از اثرات نامطلوب آن جلوگیری کرد. با توجه به ماهیت دینامیک و پویای شهر باید از مدل‌هایی برای تحلیل استفاده نمود که تغییرات در طول زمان را نشان دهد تا با اتخاذ تدابیر لازم این روند تغییرات را به طور بهینه ساماندهی کرد (لطیفان، ۱۳۹۴: ۳۰). مدلسازی و شبیه‌سازی سیستم‌های دینامیکی پیچیده مانند مناطق شهری تا حد زیادی می‌تواند از همکاری روشها و تکنیک‌های سیستم GIS در ترکیب با تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند منطق فازی و شبکه‌های عصبی بهره‌مند شوند (McDonald & Urban, 2011: 7).

با توجه به اینکه عوامل تغییرات کاربری اراضی در مقیاسهای مکانی-زمانی به صورت غیرخطی عمل می‌کنند. از اینرو برای شبیه‌سازی پویایی کاربری‌های اراضی نیاز به ابزارهای غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) است (Zivkovic et al., 2009: 143). این شبکه‌ها ابزاری قدرتمند در رویکرد یادگیری ماشینی برای تعیین و مدل کردن الگوها و رفتارهای پیچیده است و برای الگوشناسی در انواع مختلف نظم و هماهنگی، از قبیل اقتصاد، پزشکی، تحلیل تصویر، طبقه‌بندی الگوها، پیش‌بینی‌های اقلیمی و سنجش از دور کاربرد دارند (محمودزاده و رنجبر، ۱۳۹۷: ۳۷). این شبکه‌ها طی دو دهه گذشته به‌طور گسترده‌ای توسط مدلسازان تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Tayyebi & Pijanowski, 2014: 10).

تئوبالد و هوبز آدو نوع اصلی مدل‌های تغییر کاربری زمین را بیان کردند: مدل‌های نوع رگرسیونی (مدل‌های برآورد تجربی) و مدل‌های شبیه‌ساز بر پایه قوانین انتقال (Theobald & Hobbs, 1998: 66). از آنجا که استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با مدل‌های رگرسیونی بسیار مرتبط است و با الگوهای مورد استفاده با آن شباهت زیادی دارد؛ این مدل‌ها در گروه مدل‌های رگرسیونی قرار می‌گیرند (Tayyebi & Pijanowski, 2014: 10).

1. Artificial Neural Networks
2. Theobald
3. Hobbs

طیف گسترده‌ای از مدل‌های کاربری و پوشش اراضی برای فرایندها و مقیاس‌های مختلف توسعه پیدا کرده‌اند (Matthews et al., 2007: 1447). در اوایل دهه ۲۰۰۰، مدل‌های پیش‌بینی مختلفی مانند CA, CUF, CLUE, LTM معرفی شدند (Kim, 2019: 18). در این میان، یکی از مهمترین مدل‌های تحلیل رشد فضایی-کالبدی شهرها، مدل تبدیل اراضی (LTM) می‌باشد. LTM بر پایه ANN و GIS برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات پوشش و کاربری و اراضی و برآورد اثر تغییرات در آینده در مقیاس‌های شهری و منطقه‌ای توسعه یافته است. این مدل بر اساس انواع مختلف داده‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی به کار گرفته می‌شود؛ به عبارت دیگر، این عوامل به متغیرهای پیش‌بینی‌کننده تغییر کاربری اراضی مدل کمک می‌کنند. این مدل می‌تواند تغییرات کاربری اراضی را با مدل‌های اکولوژیکی مانند جریان آب‌های زیرزمینی، سیستم حمل و نقل و تغییرات پوشش جنگلی پیوند دهد (Pijanowski et al., 2002: 553).

روش پژوهش

به دلیل استفاده از نتایج تحقیق در مدیریت و برنامه‌ریزی رشد و توسعه بهینه فضایی-کالبدی شهر اصفهان در دهه‌های آتی، نوع تحقیق بر مبنای هدف، «کاربردی» است؛ و به دلیل وابستگی متغیر وابسته رشد شهر به متغیرهای مستقل مؤثر در توسعه شهر از نظر ماهیت و روش، ترکیبی از روش‌های «اسنادی، توصیفی، تحلیلی، علی، پیمایشی» است. در جدول ۲ عناصر اصلی روش‌شناسی تحقیق بیان شده است.

جدول ۲ عناصر اصلی روش‌شناسی تحقیق

چستی، چگونگی	پرسش تحقیق
ریاضیاتی پیش‌بینی‌کننده	مدل‌ها
استقرایی، پس‌کاوی	استراتژی‌های تحقیق
کمی	رویکردهای روش‌شناسی تحقیق
کاربردی	نوع تحقیق
پیش‌بینی، تغییر، برآورد تأثیر	هدف تحقیق
داده‌های دست اول، داده‌های دست دوم	انواع داده‌ها
محیط‌های مصنوعی	منابع داده‌ها
طولی، تاریخی	زمان‌بندی گردآوری داده‌ها
تاریخی، موردی، پیمایشی، پس‌رویدادی یا علی-مقایسه‌ای، عمل‌نگر یا اقدام پژوهی	روش و نحوه گردآوری داده‌ها
توصیفی، تحلیلی، علیت	روش تحلیل داده‌ها
روند، مطلوب	سناریوها

مأخذ: بلیکی، ۱۳۹۷؛ عزیزاده و همکاران، ۱۳۸۷

به منظور بررسی روند پراکنش شهری و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه شهر اصفهان طی سالهای ۹۵-۱۳۶۵ از داده‌های اصلی شامل: تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به سالهای ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۵، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه، نقشه‌های مؤثر در ارزیابی رشد و توسعه فضایی-کالبدی شهر (شامل نقشه‌های حریم شهر، طیف ارتفاعی، شیب و جهت شیب زمین، فرسایش‌پذیری خاک، شبکه راه‌های ارتباطی، رودخانه، کاربری اراضی) و همچنین نقشه‌ها و گزارشات طرح‌های توسعه و عمران شهری و منطقه‌ای شهر اصفهان استفاده شده است. روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

۱- روش‌های چند مرحله‌ای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست به منظور پردازش و بررسی روند پراکنش

شهری و تغییرات کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه طی سالهای ۹۵-۱۳۶۵:

به منظور بررسی و ارزیابی تغییرات پوشش اراضی صورت گرفته، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست مربوط به سالهای ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۵ شهر اصفهان از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ دانلود شد و عملیات پردازش بر روی

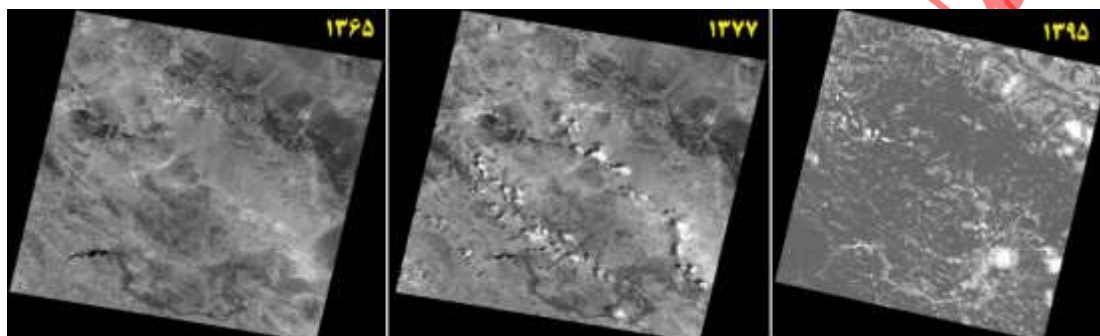
^۱. USGS

آنها در سه مرحله «پیش پردازش (تطبیق و تصحیح هندسی تصاویر)»، «پردازش (طبقه‌بندی تصاویر)» و «پس پردازش (ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی تصاویر)» با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.2 و Idrisi Terrset 2020 انجام شد.

جدول ۳ منابع اطلاعات موجود از تصاویر ماهواره‌ای

ماهواره	سنجنده	سال تصویر اخذ شده	قدرت تفکیک
Landsat 5	TM	۱۳۶۵	۳۰ متر
Landsat 5	TM	۱۳۷۷	۳۰ متر
Landsat 8	TM	۱۳۹۵	۳۰ متر

مأخذ: نگارنده با استفاده از اطلاعات سازمان زمین‌شناسی آمریکا



شکل ۱: تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست شهر اصفهان در سالهای ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۵

مأخذ: سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا

۲- شاخصهای پیشنهادی تسای^۱ یعنی تراکم، اندازه متروپل، درجه توزیع متعادل (ضریب جینی^۲ و ضریب آنتروپی شانون^۳) و درجه تجمع (ضریب موران^۴ و ضریب گری^۵) به منظور شناخت و تعیین الگوی گسترش یا رشد کالبدی-فضایی شهر و محاسبه درجه پراکنش از فشردگی آن طی دوره ۹۵-۱۳۶۵؛

۳- مدل تبدیل اراضی (LTM) به منظور مدلسازی و پیش‌بینی روند تغییرات و توسعه آتی شهر اصفهان برای سال ۱۴۲۵: مدل LTM از پرکاربردترین ابزارهای پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری اراضی در مقیاسهای شهری و منطقه‌ای به دلیل عملکرد پیش‌بینی دقیق آن است. این یک مدل مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. به این صورت که، رابطه بین عوامل محرک فضایی و تغییرات کاربری زمین را با GIS و فرآیند یادگیری ماشین شبکه‌های عصبی مصنوعی بررسی می‌کند (Kim, 2019: 22). فرآیند انجام مدلسازی LTM در نرم‌افزار Idrisi Terrset شامل ۸ مرحله می‌باشد: ۱- آماده‌سازی داده‌ها ۲- ایجاد شبکه ۳- ایجاد فایل الگو (الگوی یادگیری شبکه) ۴- آموزش شبکه ۵- تست شبکه ۶- شبیه‌سازی تغییرات رشد شهر ۷- ارزیابی مدل ۸- پیش‌بینی رشد شهر (شکل ۲).

در این پژوهش، داده‌های اولیه مورد نیاز برای مدلسازی رشد شهری، از تصاویر ماهواره‌ای، سازمانها و نقشه‌های مصوب شهری اصفهان اخذ و با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و Idrisi Terrset آماده‌سازی شدند. این داده‌ها عبارتند از: نقشه‌های حریم شهر، طیف ارتفاعی، شیب و جهت شیب زمین، فرسایش‌پذیری خاک، مناطق شهری سال ۱۳۶۵، مناطق شهری سال ۱۳۹۵، فاصله از شبکه راه‌های ارتباطی اصلی، فاصله از رودخانه، فاصله از اراضی بایر، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از اراضی مرتع، فاصله از اراضی پوشش درختی، فاصله از مناطق ساخته شده شهری، فاصله از مراکز خدمات شهری، محدودیت‌های توسعه شهری. در ادامه برای مدلسازی از مدل LTM در نرم‌افزار Idrisi جهت آموزش، تست، شبیه‌سازی و

1. Yu-Hsin Tsai

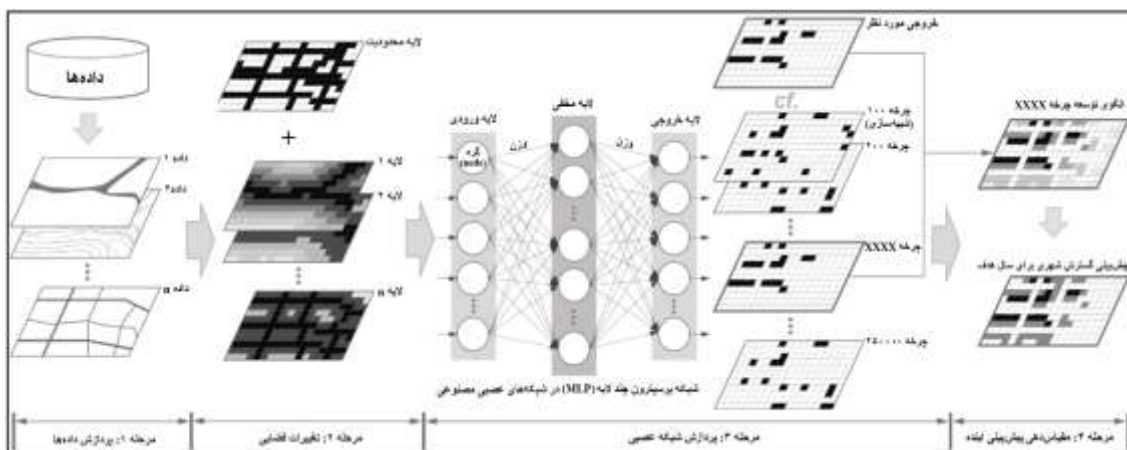
2. Gini coefficient

3. Shannon entropy

4. Moran coefficient

5. Geary coefficient

پیش‌بینی توسعه احتمالی شهر در افق سال ۱۴۲۵ بهره گرفته شد. برای این منظور، اختلاف حاصل از توسعه شهری (تغییر مناطق شهری) از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۹۵ به عنوان «متغیر وابسته» و معیارهایی را که در توسعه شهری دخیل هستند به عنوان «متغیر مستقل» به محیط مدل وارد شدند.

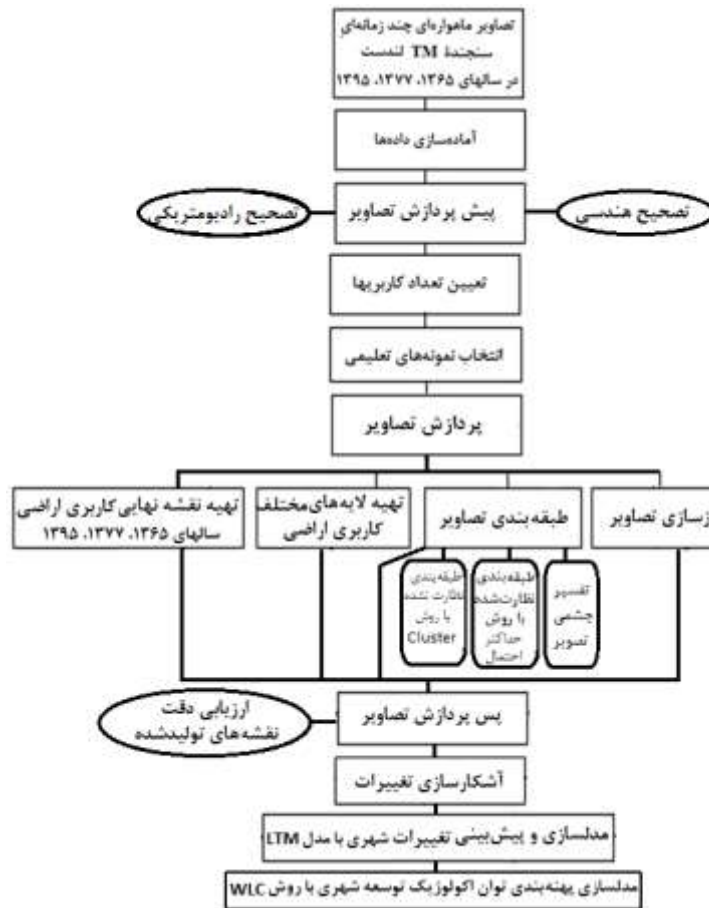


شکل ۲: فرآیند اجرایی مدل‌سازی LTM

مأخذ: Kim, 2019: 29

۴- روش ترکیب خطی وزن دار (wlc) در مدل ارزیابی چندمعیاره (MCE) به منظور مدل‌سازی پهنه‌بندی توان اکولوژیک توسعه شهری اصفهان برای سال ۱۴۲۵ از طریق شناسایی اراضی مناسب توسعه شهر و سنجش تناسب آنها. هدف از تحلیل ارزیابی چند معیاره، انتخاب بهترین آلترناتیو (بهترین مکان یا پیکسل) بر مبنای رتبه‌بندی آنها از طریق ارزیابی چند معیار اصلی است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۳). wlc ترکیبی از روش کمی و کیفی است که معیارهای اندازه‌گیری شده و وزنهای داده شده توسط یکی از روشهای تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP، ANP، TOPSIS و ...) به هر کدام از آنها را با هم ضرب می‌کند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۲۱). بر این اساس wlc روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود. روش wlc در محیط نرم‌افزار GIS یا Idrisi مشتمل بر مراحل زیر است:

- تعیین مجموعه معیارهای ارزیابی (لایه‌های نقشه) و گزینه‌ها؛
- استاندارد کردن هر لایه نقشه معیار و تبدیل مقیاس (یعنی مقیاس ارزشها و مقادیر معیارهای ارزیابی باهم همخوان و قابل مقایسه شود. در این تحقیق برای کمی‌سازی و استانداردسازی معیارها از روش *منطق فازی* استفاده شد).
- تعیین وزن‌های مربوط به هر معیار (به این معنی که به هر نقشه معیار مستقیماً یک وزن اهمیت نسبی اختصاص داده شود. در این تحقیق با استفاده از روش AHP در نرم‌افزار Expert Choice وزن‌ها تعیین گردید)؛
- تولید لایه‌های نقشه وزن دار استاندارد شده (یعنی ضرب لایه‌های نقشه استاندارد شده در وزنهای متناظر با آنها)؛
- تلفیق لایه‌ها به منظور طبقه‌بندی لایه‌های وزن دار نقشه استاندارد شده و مشخص نمودن ارزش طبقات آنها (با استفاده از عملیات همپوشانی و تابع اجتماع (union) بر روی لایه‌های وزن دار نقشه‌ای که استاندارد شده، نمره یا امتیاز کل در ارتباط با هر گزینه به دست آورده می‌شود)؛
- طبقه‌بندی یا رتبه‌بندی گزینه‌ها (پیکسل‌ها) براساس امتیاز (یعنی گزینه دارای بیشترین امتیاز، بهترین گزینه می‌باشد). نتیجه حاصل از این تلفیق، نقشه‌ای است که دارای ارزش‌هایی بین ۰ و ۱ است؛ مناطق دارای ارزش ۰ نامطلوب‌ترین و مناطق دارای ارزش ۱ مطلوب‌ترین قسمت‌ها می‌باشند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۲).



شکل ۳: فرآیند اجرای پژوهش

محدوده مورد مطالعه

شهر اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی در مرکز ایران واقع شده است و دارای سومین رتبه جمعیتی در سطح کشور بعد از شهرهای تهران و مشهد است (مهندسین مشاور نقش جهان پارس، ۱۳۹۳: ۴). محدوده شهری اصفهان به ۱۵ منطقه شهری تقسیم می‌شود. در سال ۱۳۹۵ دارای ۱۹۶۱۲۶۰ نفر جمعیت و ۲۰۸۸۴ هکتار مساحت محدوده و ۳۴۳۶۹/۵ هکتار مساحت حریم (مجموعاً ۵۵۲۵۳/۵ هکتار) بوده است. محدوده مورد مطالعه پژوهش، کل پهنه محدوده و حریم شهر می‌باشد.

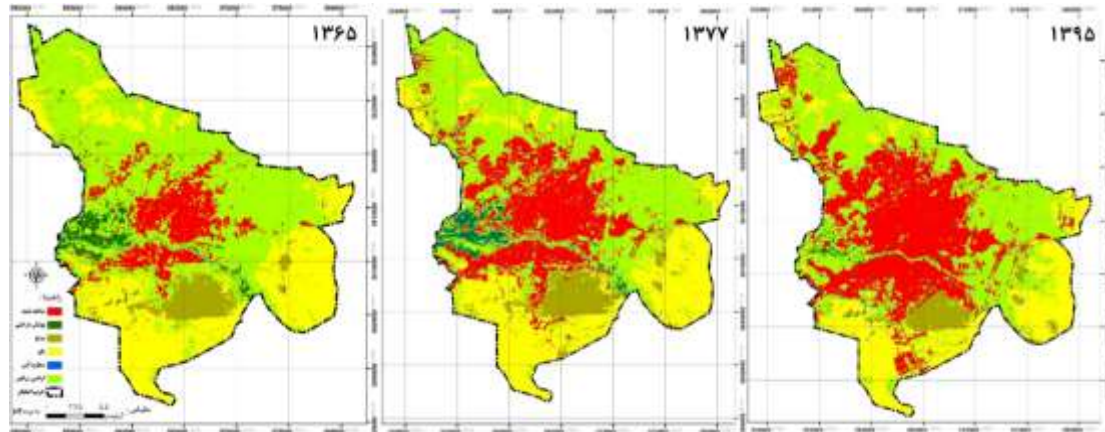


شکل ۴: موقعیت منطقه مورد مطالعه در تصویر ماهواره‌ای

یافته‌ها

آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

به منظور مشخص کردن تغییر پوشش و کاربری زمین در محدوده مورد مطالعه مربوط به سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ (تغییرات ۳۰ ساله) از تکنیک آشکارسازی تغییرات با روش «مقایسه پس از طبقه‌بندی با استفاده از عملگر Crosstab» در نرم‌افزار Idrisi استفاده شده است. در جدول ۵ نتایج حاصل از مساحت کاربریهای مختلف حاصل از نقشه ۱ نشان داده شده است.



نقشه ۱: کاربری اراضی شهر اصفهان طی سالهای ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۵ (استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای)

جدول ۴: میزان صحت کلی و ضریب کاپا نقشه‌های طبقه‌بندی شده

سال	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
۱۳۶۵	۸۵	۰/۸۰
۱۳۷۷	۷۹	۰/۷۸
۱۳۹۵	۸۸	۰/۸۳

جدول ۵: مساحت و میزان تغییرات سطوح کاربری اراضی شهر اصفهان طی سالهای ۱۳۶۵-۱۳۹۵

کاربری اراضی	مساحت سال ۱۳۶۵		تغییر از ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۷		تغییر از ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵		مساحت سال ۱۳۷۷		مساحت سال ۱۳۹۵	
	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار
اراضی بایر	۲۹/۷	۱۶۳۹۴	-۲۳	-۳۴۳۴	-۱۰	-۱۶۱۱	۲۰/۶	۱۱۳۴۷	۲۶/۸	۱۴۷۸۳
اراضی ساخته شده	۱۱/۶	۶۴۱۴	۴۱	۵۱۵۹	۹۸	۶۲۹۰	۳۲/۴	۱۷۸۶۳	۲۳	۱۲۷۰۴
اراضی کشاورزی	۵۰	۲۷۵۸۵	۰/۵	۹۹	-۱۶	-۴۳۰۸	۴۲/۴	۲۳۲۷۶	۴۲/۲	۲۳۲۷۷
پوشش درختی	۳/۲	۱۷۸۸	-۷۶	-۱۱۱۹	-۱۸	-۳۱۳	۰/۷	۳۵۶	۲/۷	۱۴۷۵
اراضی مرتعی	۵/۳	۲۹۲۳	-۲۶	-۷۴۲	-۲	-۷۰	۳/۸	۲۱۱۱	۵/۲	۲۸۵۳
اراضی آبی	۰/۲	۱۱۴	۳۱	۳۹	۱۱	۱۲	۰/۳	۱۶۵	۰/۲	۱۲۶
مجموع	۱۰۰	۵۵۲۱۸	-	-	-	-	۱۰۰	۵۵۲۱۸	۱۰۰	۵۵۲۱۸

تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهر طی دوره ۳۰ ساله ۱۳۶۵-۱۳۹۵

پس از پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۱۳۶۵-۱۳۹۵ و استفاده از ماتریس حالت اولیه و ثانویه، جدول تغییرات ایجاد شده و نقشه تغییرات کاربری اراضی شهر تولید گردید (جدول ۶ و نقشه ۲). میزان تغییرات بوجود آمده در کاربریها طی دوره ۱۳۶۵-۱۳۹۵ به شرح زیر است:

- الف) اراضی بایر: اراضی بایر با مساحت ۱۶۳۹۴ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۱۱۳۴۷ هکتار در سال ۱۳۹۵ کاهش پیدا کرده است. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۵۳۲۳- هکتار (۳۲- درصد) می‌باشد.
- ب) اراضی ساخته شده: اراضی ساخته شده با مساحت ۶۴۱۴ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۱۷۸۶۳ هکتار در سال ۱۳۹۵ افزایش پیدا کرده است. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۱۱۴۱۳ هکتار (۱۷۸ درصد) می‌باشد.

پ) اراضی کشاورزی: اراضی کشاورزی با مساحت ۲۷۵۸۵ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۲۳۳۷۶ هکتار در سال ۱۳۹۵ کاهش پیدا کرده است. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۳۹۵۰- هکتار (۱۳- درصد) می باشد.

ت) پوشش درختی: پوشش درختی با مساحت ۱۷۸۸ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۳۵۶ هکتار در سال ۱۳۹۵ کاهش پیدا کرده است. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۱۳۶۶- هکتار (۷۶- درصد) می باشد.

ث) اراضی مرتعی: اراضی مرتعی با مساحت ۲۹۲۳ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۲۱۱۱ هکتار در سال ۱۳۹۵ کاهش پیدا کرده است. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۸۳۹- هکتار (۲۸- درصد) می باشد.

ج) اراضی آبی: اراضی آبی با مساحت ۱۱۴ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۱۶۵ هکتار در سال ۱۳۹۵ افزایش پیدا کرده است. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۶۵ هکتار (۵۷ درصد) می باشد.

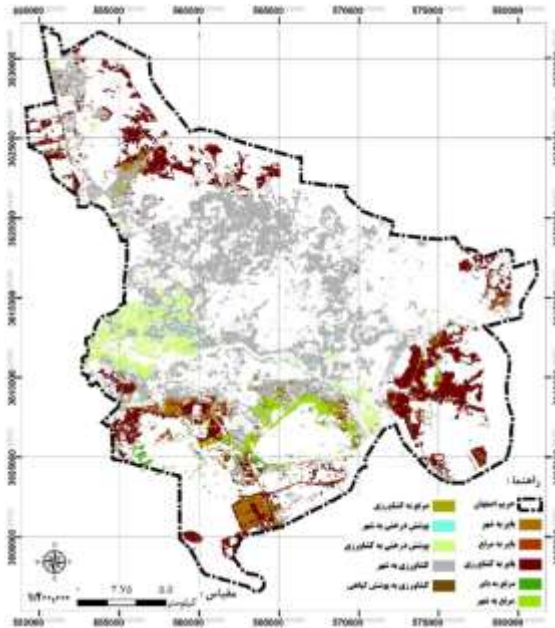
بررسی روند کلی تغییر کاربریها طی دوره ۳۰ ساله توسعه شهری از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ (جدول ۶) و مقایسه سطح و جمعیت (جدول ۸) نشان می دهد تغییرات مساحت شهر خیلی سریعتر از تغییرات جمعیت آن بوده و این مسأله طی مدت ۳۰ سال باعث حدود ۳ برابر شدن مساحت شهر شده است. در این میان می توان مسأله شدت پراکنش شهری را در رشد نامنظم شهر در بستر اراضی زراعی و باغی پیرامون مشاهده نمود که به قابلیت اکولوژیکی آن آسیب شدید وارد کرده است. در طول این دوره ۳۰ ساله «اراضی ساخته شده» بیشترین میزان تغییرات مثبت (۱۱۴۱۳ هکتار / ۱۷۸ درصد) و کاربری «پوشش درختی» بیشترین میزان تغییرات منفی (۱۳۶۶- هکتار / ۷۶- درصد) نسبت به سایر کاربریها را دارند. کمترین میزان تغییرات نیز مربوط به «کاربری کشاورزی» (۳۹۵۰- هکتار / ۱۳- درصد) است.

در این راستا، میزان تغییرات اراضی ساخته شده ۱۱۴۱۳ هکتار (۱۷۸ درصد) افزایش یافته و از ۶۴۱۴ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۱۷۸۶۳ هکتار در سال ۱۳۹۵ رسیده است. این در حالی است که جمعیت شهر از ۹۸۶۷۵۰ نفر در سال ۱۳۶۵ به ۱۹۶۱۲۶۰ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است. به عبارت دیگر، تغییرات جمعیت ۹۷۴۵۱۰ نفر (۹۹ درصد) بوده است. با این حساب میزان افزایش جمعیت با میزان افزایش ساخت و ساز و توسعه شهری تفاوتی به میزان ۷۹- درصد را نشان می دهد. به عبارت دیگر، رشد شهر با میزان افزایش جمعیت مطابقت نداشته است؛ لذا شکاف بین رشد مناطق شهری و جمعیت در این دوره بیانگر این است که توسعه افقی بیشتر از فرم عمودی اتفاق افتاده است.

از نتایج منفی توسعه شهری در این دوره نیز به زیر ساخت و ساز رفتن هکتارها اراضی زراعی و باغی، به ویژه باغات سمت غرب (ناژوان) و جنوب شرق شهر است. به طوری که با در اختیار داشتن ۱۷۶۹۴ هکتار از اراضی بایر برای رشد شهر، میزان تخریب اراضی کشاورزی، باغات و درختی برابر با ۵۳۱۶ هکتار (۸۸ درصد) بوده است. بر این اساس در رشد اراضی ساخته شده، بیشترین سهم از کاهش اراضی کشاورزی به میزان ۹۶۴۲/۴ هکتار (۸۴/۵ درصد) ناشی شده است (جدول ۶).

جدول ۶: مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان بر اساس تصاویر طبقه بندی شده سالهای ۱۳۶۵ و ۱۳۹۵

۱۳۹۵ (هکتار)							
مجموع طبقه	اراضی آبی	اراضی مرتعی	پوشش درختی	اراضی کشاورزی	اراضی ساخته شده	اراضی بایر	طبقه کاربری اراضی
۳۳۰۱۷/۳	۳۰/۳	۴۲۱/۸	۰	۴۹۸۰	۱۱۹۱/۲	۱۶۳۹۴	اراضی بایر
۶۴۱۴	۰	۰	۰	۰	۶۴۱۴	۰	اراضی ساخته شده
۳۸۲۱۳/۵	۳۸/۵	۶۹/۲	۱۱۳	۲۷۵۸۵	۹۶۴۲/۴	۷۶۵/۴	اراضی کشاورزی
۳۲۶۷	۰	۰	۱۷۸۸	۱۴۱۰/۵	۶۸/۵	۰	پوشش درختی
۴۲۵۳/۲	۱۰۰/۴	۲۹۲۳	۰	۱۹۵/۴	۵۰۱/۷	۵۳۲/۷	اراضی مرتعی
۲۱۷/۹	۱۱۴	۰	۰	۹۲/۶	۹/۳	۲	اراضی آبی
۰	۲۸۳/۲	۳۴۱۴	۱۹۰۱	۳۴۲۶۳/۵	۱۷۸۲۷/۱	۱۷۶۹۴/۱	مجموع طبقه
۰	۱۶۹/۲	۴۹۱	۱۱۳	۶۶۷۸/۵	۱۱۴۱۳/۱	۱۳۰۰/۱	تغییرات طبقه
۰	+۶۵/۳ (%+۵۷)	-۸۳۹/۲ (%-۲۸)	-۱۳۶۶ (%-۷۵)	-۳۹۵۰ (%-۱۳)	+۱۱۴۱۳/۱ (%+۱۷۸)	-۵۳۲۳/۲ (%-۳۲)	تفریق تصاویر (میزان تغییرات از ۱۳۹۵-۱۳۶۵)



نقشه ۲: تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان طی سالهای ۱۳۶۵-۱۳۹۵ بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تغییرات کاربری طبقه اراضی ساخته شده (شهر) طی سالهای ۱۳۶۵-۱۳۹۵ روند فضایی تغییرات کاربری اراضی ساخته شده طی دوره ۱۳۶۵-۱۳۹۵ نشان می‌دهد که در نتیجه از بین رفتن اراضی کشاورزی، زمین‌های بایر، مراتع، پوشش درختی و سطوح آبی، مساحت مناطق مسکونی افزایش داشته است. طی این دوره، گسترش شهر بیشترین تأثیرات را بر روی کاربری کشاورزی با نابودی ۹۶۴۲/۴ هکتار (۸۴/۵ درصد) از مزارع داشته است.

جدول ۷: تغییر کاربری اراضی ساخته شده از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۹۵

ردیف	تغییر کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد
۱	اراضی بایر به ساخته شده	۱۱۹۱/۲	۱۰/۴
۲	کشاورزی به ساخته شده	۹۶۴۲/۴	۸۴/۵
۳	پوشش درختی به ساخته شده	۶۸/۵	۰/۶
۴	مرتع به ساخته شده	۵۰۱/۷	۴/۴
۵	سطوح آبی به ساخته شده	۹/۳	۰/۱
۶	مجموع	۱۱۴۱۳/۱	۱۰۰

جدول ۸: تغییرات سطح کاربری اراضی ساخته شده و جمعیت شهر اصفهان طی سالهای ۱۳۶۵-۱۳۹۵

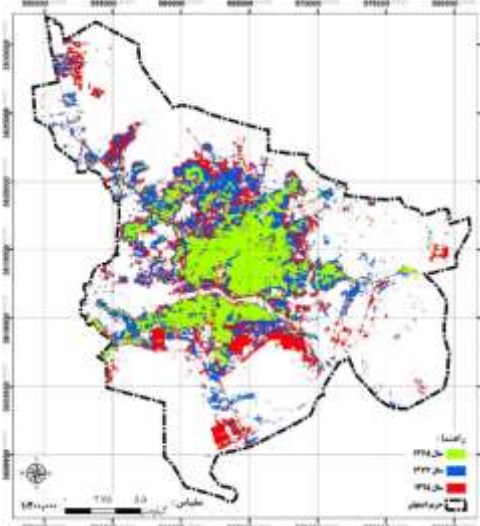
سال	مساحت مناطق شهری (هکتار)	تغییر مناطق شهری در مقایسه با دوره قبل (هکتار)	درصد تغییر مناطق شهری	جمعیت (نفر)	تغییر جمعیت در مقایسه با دوره قبل (نفر)	درصد تغییر جمعیت
۱۳۶۵	۶۴۱۴	-	-	۹۸۶۷۵۳	-	-
۱۳۷۷	۱۲۷۰۴	۶۲۹۰	۹۸	۱۳۱۰۶۵۹	۳۲۳۹۰۶	۳۳
۱۳۹۵	۱۷۸۶۳	۵۱۵۹	۴۱	۱۹۶۱۲۶۰	۶۵۰۶۰۱	۵۰

الگوی رشد کالبدی- فضایی شهر طی دوره ۳۰ ساله ۱۳۶۵-۱۳۹۵

به منظور تحلیل شکل شهر و برنامه‌ریزی برای چگونگی گسترش فیزیکی آتی آن، شاخصهای کمی مختلفی به بررسی سنجش فرم شهری می‌پردازند (آزادخانی، ۱۳۹۷: ۱۶). در این پژوهش برای شناخت و تعیین الگوی گسترش شهر اصفهان و محاسبه درجه پراکنش از فشردگی آن از شاخصهای پیشنهادی تسای یعنی تراکم، اندازه متروپل، درجه توزیع متعادل (ضریب جینی و ضریب آنتروپی شانون) و درجه تجمع (ضریب موران و ضریب گری) استفاده شده است (قرخلو و زنگنه، ۱۳۸۸: ۲۴). نتایج بدست آمده از شاخصهای سنجش فرم شهری و ضرایب مربوطه نشان می‌دهد الگوی رشد کالبدی-فضایی اصفهان طی مدت ۳۰ ساله ۹۵-۱۳۶۵، بصورت «پراکنده» بوده و حرکت کندی به سمت رشد هوشمند شهری از نظر میزان فشردگی دارد (جدول ۹).

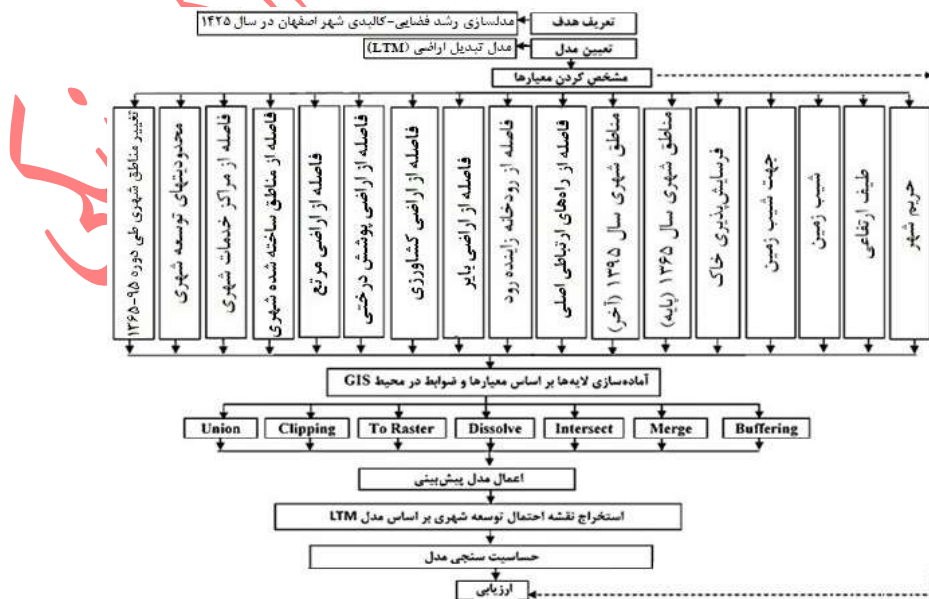
جدول ۹: شاخصها و ضرایب سنجش فرم شهری اصفهان

تفسیر	ضریب			شاخص
	۱۳۹۵	۱۳۷۵	۱۳۶۵	
پراکندگی	۰/۱۱۹	۰/۱۴۸	۰/۱۲۲	جینی
پراکندگی	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۸	آنتروپی شانون
پراکندگی	-۰/۰۹۷	-۰/۱۴۱	-۰/۱۷۰	موران
پراکندگی	-۰/۲۹۵	-۰/۲۶۴	-۰/۱۶۷	گری



نقشه ۳: روند و الگوی گسترش فیزیکی شهر اصفهان بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه طی سالهای ۹۵-۱۳۶۵

پیش‌بینی توسعه آتی شهر اصفهان با مدل تبدیل اراضی (LTM) مدل تبدیل اراضی (LTM) با استفاده از عوامل مؤثر در توسعه شهری و نقش و عملکرد هر یک از آنها، رشد و توسعه شهری را با توجه به فاکتورهای محدود به هر منطقه تبیین می‌کند (رحیمی، ۱۳۹۲: ۱۲۹). هدف از اجرای این مدل در این پژوهش عبارت است از: (۱) مدل‌سازی تغییر کاربری زمین شهر اصفهان با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سالهای ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۵ و سایر متغیرهای مؤثر؛ (۲) پیش‌بینی آینده رشد شهری اصفهان برای سال ۱۴۲۵ بر اساس داده‌های گذشته. در ادامه به روند نحوه اجرای مدل و مراحل آن پرداخته شده است.



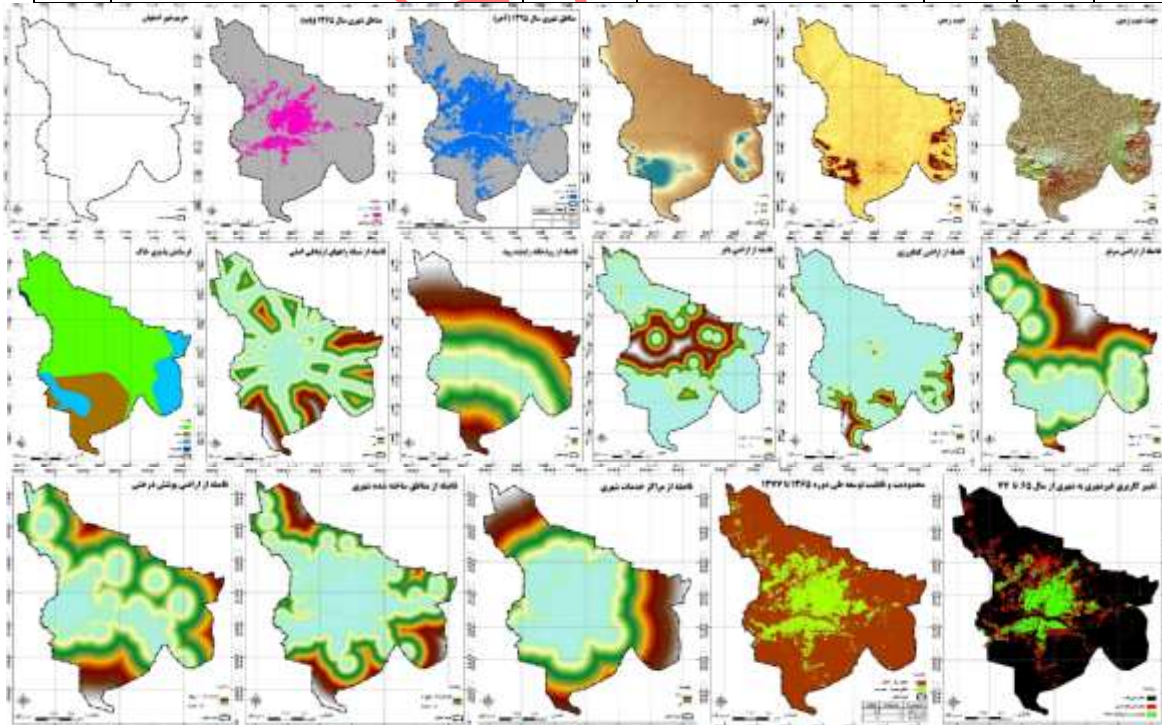
شکل ۵: فلوجارت فرآیند پیش‌بینی رشد شهری اصفهان تا افق سال ۱۴۲۵ بر اساس مدل LTM

۱- آماده‌سازی داده‌ها:

در این مطالعه از دو گروه متغیر مستقل شامل لایه‌های طبیعی و انسانی (کالبدی) مؤثر در توسعه شهری به عنوان داده‌های ورودی برای مدل LTM استفاده شده است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: متغیرهای مورد استفاده در مدل LTM

متغیر	نوع لایه	لایه	نام لایه	ماهیت داده	منبع	تفکیک (متر)	
مستقل	طبیعی		حریم شهر	بولین ۰ و ۱	داده سازمانی از اداره کل راه شهرسازی اصفهان	۳۰	
			ارتفاع	پیوسته	داده توپوگرافی و پردازش داده‌های سنجنده Aster	۳۰	
			شیب زمین	پیوسته	لایه ارتفاع با اجرای دستور SLOPE	۳۰	
			جهت شیب زمین	پیوسته	لایه ارتفاع با اجرای دستور ASPECT	۳۰	
			فرسایش‌پذیری خاک	پیوسته	همپوشانی لایه شیب و لایه سطوح سنگی	۳۰	
	انسانی (کالبدی)	ورودی		مناطق شهری سال ۱۳۶۵ (پایه)	بولین ۰ و ۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده سال ۱۳۶۵ با اجرای دستور Reclass	۳۰
				مناطق شهری سال ۱۳۹۵ (آخر)	بولین ۰ و ۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده سال ۱۳۹۵ با اجرای دستور Reclass	۳۰
				فاصله از شبکه راه‌های اصلی	پیوسته	لایه جاده با اجرای دستور Distance	۳۰
				فاصله از رودخانه	پیوسته	لایه رودخانه با اجرای دستور Distance	۳۰
				فاصله از اراضی بایر	پیوسته	لایه اراضی بایر با اجرای دستور Distance	۳۰
				فاصله از اراضی کشاورزی	پیوسته	لایه اراضی کشاورزی با اجرای دستور Distance	۳۰
				فاصله از اراضی مرتع	پیوسته	لایه اراضی مرتع با اجرای دستور Distance	۳۰
				فاصله از اراضی پوشش درختی	پیوسته	لایه پوشش درختی با اجرای دستور Distance	۳۰
				فاصله از مناطق ساخته شده شهری	پیوسته	لایه مناطق شهری با اجرای دستور Distance	۳۰
				فاصله از مراکز خدمات شهری	پیوسته	لایه خدمات شهری با اجرای دستور Distance	۳۰
محدودیت‌های توسعه شهری ۷۷-۱۳۶۵	بولین ۰ و ۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده با اجرای دستور Reclass	۳۰				
وابسته	خروجی		بولین ۰ و ۱	تفریق تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده از ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۷	۳۰		



نقشه ۴: لایه‌های مورد استفاده در مدل LTM

۲- ایجاد شبکه:

شبکه‌های عصبی مورد استفاده شبکه پرسپترون چندلایه (MLP) می‌باشد که دارای ۳ لایه شامل لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی می‌باشد. از داده‌های ورودی برای ایجاد الگو استفاده شد. لایه ورودی (متغیرهای مستقل) «متغیرهای مؤثر بر کاربری اراضی» است و لایه خروجی (متغیر وابسته) «متغیر کاربری تغییر یافته در دوره زمانی مورد مطالعه» است. لذا تعداد نورون‌های (واحد‌های) لایه ورودی برابر با «تعداد متغیرها» و تعداد نورون‌های لایه خروجی برابر با «تعداد طبقات کاربری» تغییر یافته و پایدار است. بر این اساس با لایه‌های ذکر شده در نقشه ۴، شبکه عصبی با ۱۶ نورون ورودی، ۱۶ نورون مخفی و ۱ نورون خروجی ایجاد گردید. برای ایجاد نورون خروجی، «مناطق شهری» در تصاویر دو دوره زمانی سالهای ۱۳۶۵ و ۱۳۷۷ مورد بررسی قرار گرفتند و میزان تغییرات شهر به روش «مقایسه پس از طبقه‌بندی» استخراج شد. این متغیر بعنوان نورون خروجی که بیان‌کننده تغییرات شهری طی دوره زمانی ۷۷-۱۳۶۵ است، در مدل استفاده شده است (نقشه ۵).

۳- ایجاد فایل الگو (الگوی یادگیری شبکه):

با استفاده از فایل متنی مورد استفاده برای ایجاد فایل الگو، این فایل ایجاد و در مرحله بعد برای آموزش شبکه به کار گرفته می‌شود (احمدی، ۱۳۹۸: ۶۶). در این مرحله، روند تغییرات در دوره زمانی اول (۷۷-۱۳۶۵) و ارتباط آنها با متغیرهای استفاده شده ایجاد می‌شود (رحیمی، ۱۳۹۶: ۴۷). در این پژوهش تعداد ۳۹۸۱۶۶ فایل الگو برای داده‌کاوی انتخاب شده است. در صورتی که تغییر به طبقه شهری ایجاد نشده باشد کد ۰ (صفر) و اگر تغییر به طبقه شهری ایجاد شده باشد کد ۱ (یک) می‌گیرد.

۴- آموزش شبکه:

هدف از آموزش شبکه، برقراری ارتباط بین طبقات (نحوه تغییرات شهری) با ایجاد الگوهایی در سطح شبکه است (رحیمی، ۱۳۹۶: ۵۲). در این مرحله شبکه ایجاد شده با الگوریتم MLP آموزش داده می‌شود تا به کمترین میزان خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) در یادگیری برسد (همان: ۴۷). در چرخه ۱۰۰۰۰ میزان خطا با رقم ۰/۰۷۹۷۹۷۱ در کمترین حد است؛ و به همین دلیل از تصویر احتمال پیش‌بینی این چرخه (که در مرحله تست شبکه ایجاد می‌گردد) برای گرفتن خروجی نقشه «احتمال شهرنشینی» استفاده می‌شود. بررسی نقشه حاصل از این مرحله با عنوان نقشه تغییرات واقعی در محدوده مورد مطالعه مناطقی را نشان می‌دهد که بین سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ دچار رشد شهری شده‌اند (نقشه ۶).

۵- تست شبکه:

پس از الگوی یادگیری شبکه و تهیه نقشه تغییرات واقعی شهر و محاسبه تعداد سلول‌های تغییر یافته، «تست شبکه» با توجه به نقشه‌های ورودی در مرحله آموزش مورد سنجش قرار می‌گیرد. این مرحله بر اساس شبکه‌های اصلاح شده در پایان هر چرخه انجام می‌گیرد و تصاویر احتمال انتقال کاربری ایجاد می‌گردند که از آنها برای استخراج موقعیت‌های شهری جدید در آینده، استفاده می‌شود. سپس با بدست آمدن بیشترین صحت و کمترین خطای RMSE پایان می‌یابد. در پایان این مرحله، «فایل احتمال (که احتمال تغییر هر سلول (منطقه) را در آینده نشان می‌دهد)» و «فایل متنی گزارش‌دهنده ضریب کاپا» و «درصد متریک سازگاری (میزان درصد صحت)» ایجاد می‌گردد (کامیاب و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۸). خروجی این مرحله، «تصویر احتمال پیش‌بینی بر اساس هر چرخه» و «تصویر رشد شهری پیش‌بینی شده مدل برای دوره زمانی مورد مطالعه» است (احمدی، ۱۳۹۸: ۶۷). نقشه ۷ پتانسیل احتمال تغییر به شهر از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. در این نقشه مناطقی که احتمال بالاتری دارند (مناطق آبی رنگ) برای رشد در آینده مستعدتر هستند.

۶- شبیه‌سازی رشد شهر:

با استفاده از مراحل «الگوی یادگیری شبکه» و «تست شبکه»، نقشه رشد شهری از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ شبیه‌سازی می‌گردد. مناطق زرد رنگ در نقشه بیانگر این است که این مناطق در سال ۱۳۹۵ احتمال تغییر به شهر را دارند (نقشه ۸).

۷- نقشه خطای شبیه‌سازی:

این نقشه خطای شبیه‌سازی از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد و از ترکیب نقشه‌های «شبیه‌سازی» و «تغییرات واقعی» به دست می‌آید و مناطقی را نشان می‌دهد که در مدل و واقعیت تغییر کرده‌اند و یا تغییر نکرده‌اند (نقشه ۹).

۸- ارزیابی مدل:

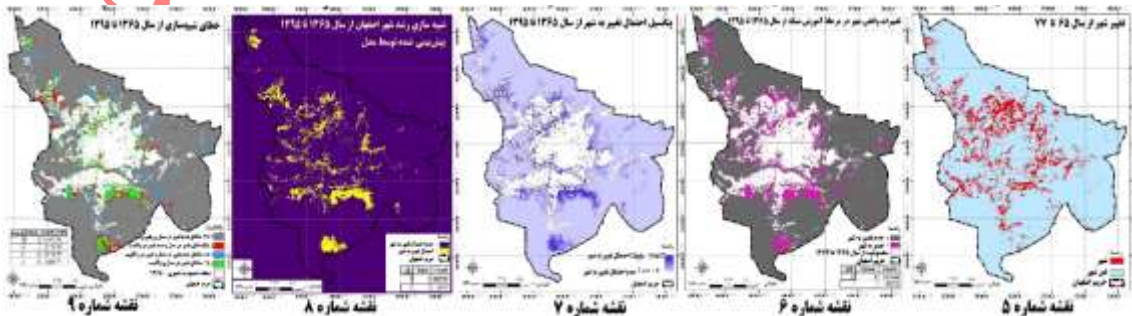
در شبکه‌های عصبی مصنوعی برای جلوگیری از آموزش بیش از حد که منجر به افزایش خطا و یادگیری نامناسب الگوها می‌گردد، باید از معیارهای مختلفی برای کنترل روند یادگیری استفاده شود و بهترین سیکل (چرخه) یادگیری برای ارزیابی و مراحل دیگر شبکه انتخاب گردد. برای این منظور از ضرایب مختلف مانند: خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، درصد متریک سازگاری (PCM) و ضریب کاپا (KC)^۲ استفاده می‌شود (رحیمی، ۱۳۹۳: ۱۰۷). در این تحقیق ارزیابی نتایج مدل با استفاده از این ضرایب صورت گرفته است. با افزایش چرخه میزان RMSE کاهش می‌یابد. بر این اساس، سیکل ۱۰۰۰۰ دور به عنوان سیکل مناسب جهت شبکه مورد استفاده انتخاب گردید. در این سیکل میزان خطا کاهش یافته و ضریب سازگاری و کاپا نیز سازگارتر شده است که نشان‌دهنده آموزش موفق شبکه برای بدست آوردن خروجی نقشه «پیش‌بینی رشد احتمالی شهر» در این چرخه می‌باشد. درصد متریک سازگاری (PCM) میزان صحت چرخه‌های مدل را نشان می‌دهد. این ضریب از تقسیم تعداد سلولهای شهری تغییر یافته بر تعداد کل سلولهای تغییر یافته (شهری و غیرشهری) بدست می‌آید. در این ماتریس، میزان درصد صحت (PCM) ۴۰ تا ۶۰ درصد «قابل قبول» و بیش از ۶۰ درصد «عالی» است. در این پژوهش، صحت مدل حدود ۶۰ درصد می‌باشد.

جدول ۱۱: نتایج اعتبارسنجی مدل LTM در شبکه‌های عصبی مصنوعی

سیکل یادگیری	درصد متریک سازگاری (PCM)	ضریب کاپا (Kappa)	خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)
۱۰۰	۵۷/۳۰۵۸۰۷	۰/۵۰	۰/۰۸۲۵۲۷۵
۱۰۰۰۰	۵۹/۷	۰/۵۳	۰/۰۷۹۷۹۷۱

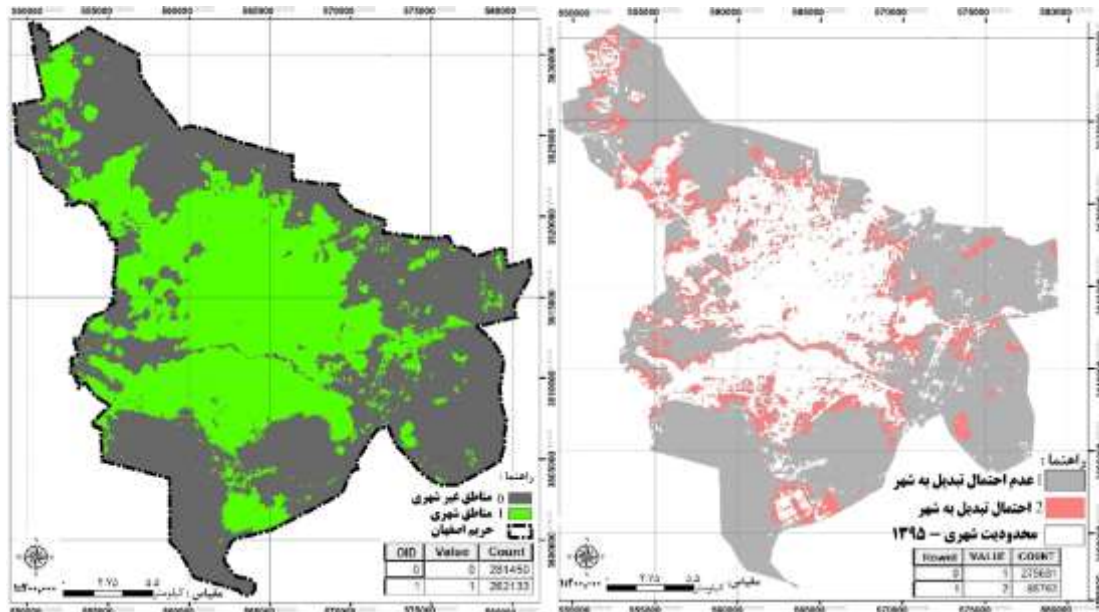
۹- پیش‌بینی آینده رشد شهری:

برای پیش‌بینی آینده رشد شهری جهت محاسبه کمی تغییرات شهری از روش «استفاده از داده‌های گذشته» بهره گرفته شده است. در این روش، الگوی کمی تغییرات شهری، مشابه دوره‌های زمانی گذشته است و میزان سلولهای تغییر یافته برای دوره ۳۰ ساله آینده (۱۳۹۵-۱۴۲۵) مطابق با میزان تغییراتی است که در دوره ۳۰ ساله گذشته (۱۳۶۵-۱۳۹۵) برآورد شده است. بر این مبنا، با توجه به تغییرات شهر در دوره‌های ۱۳۶۵-۱۳۹۵ و ۱۳۹۵-۱۴۲۵، میزان نیاز تبدیل به شهر ۶۵۷۶۳ پیکسل (۵۹۱۸ هکتار) در نظر گرفته شده است و بر این اساس نقشه سال ۱۴۲۵ پیش‌بینی گردید. در این نقشه، بیشترین توسعه احتمالی بر روی اراضی شمال غرب، شرق، جنوب و غرب شهر اتفاق افتاده است. ضلع شمال و جنوب شرق شهر نیز مقداری از توسعه شهر را به خود اختصاص داده است (نقشه ۱۰). نقشه ۱۱ نیز نشان‌دهنده رشد و توسعه فیزیکی شهر طی دوره ۱۳۶۵-۱۴۲۵ به میزان ۲۶۲۱۳۳ سلول ۳۰×۳۰ مترمربع (حدود ۲۳۵۹۲ هکتار) می‌باشد (مناطق سبز رنگ). همچنین طی این سالها ۲۷۵۶۸۱ سلول (۲۵۳۳۰/۵ هکتار) نیز بدون توسعه خواهد ماند (مناطق طوسی رنگ). با توجه به اینکه، برای سال ۱۴۲۵ نیاز به ۵۹۱۸ هکتار زمین برای کاربری شهری خواهد بود، بر این اساس و مطابق جدول ۱۴ که نتایج رشد احتمالی شهر اصفهان تا سال ۱۴۲۵ را نشان می‌دهد، نواحی ساخته شده شهر در سال افق به میزان ۳۳ درصد افزایش خواهد داشت و از ۱۷۸۶۳ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۲۳۷۸۱ هکتار در سال ۱۴۲۵ خواهد رسید.



1. Percent Correct Metric (PCM)

2. Kappa Coefficient (KC)



نقشه ۱۱: رشد احتمالی شهر تا سال ۱۴۲۵

نقشه ۱۰: پیش‌بینی رشد احتمالی شهر برای سال ۱۴۲۵

سناریوهای رشد آبی شهر اصفهان

برای ترسیم وضعیت آبی توسعه فضایی-کالبدی شهر اصفهان و دستیابی به چشم‌انداز مقدماتی تعیین شده، سناریوهای تدوین گردیده که براساس آن چگونگی رفتار سیستم شهر در آینده مورد پیش‌بینی قرار گرفته است. این سناریوها عبارتند از:

۱- سناریوی روند؛ یعنی بررسی وضعیت آینده شهر در صورت ادامه روند گذشته و حال.

۲- سناریوی وضع مطلوب؛ یعنی ترسیم توسعه آبی شهری مورد قبول.

سناریوی روند (تداوم روند گذشته و حال)

در سناریوی روند، وضعیت توسعه آبی شهر بر مبنای روند گذشته و حال پیش‌بینی می‌شود و فرض بر این است که در آینده وضعیت توسعه آبی شهر ادامه الگوهای قبلی باشد (محمودزاده، ۱۳۹۳: ۱۶۴). بر مبنای این سناریو و طبق بررسی‌های انجام شده (جدول ۶)، از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۹۵، ۱۱۴۴۹ هکتار (۱۷۸٪) به مساحت کاربری ساخته شده شهر افزوده شده است. از سوی دیگر در طول این دوره کاربری کشاورزی ۴۲۰۹ هکتار (۱۵٪)، پوشش درختی ۱۴۳۲ هکتار (۸۰٪) و مرتع ۸۱۲ هکتار (۲۸٪) از زمینهای خود را از دست داده‌اند. بیشترین سهم در کاهش کاربری مربوط به کاربری کشاورزی است. از عوامل اصلی در کاهش این اراضی را می‌توان توسعه شهر، اراضی بایر و پوشش درختی دانست. در این راستا، از اراضی کشاورزی ۹۶۴۲/۴ هکتار به کاربری ساخته شده، ۷۶۵/۴ هکتار به اراضی بایر و ۱۱۳ هکتار به پوشش درختی تبدیل شده است. مهمترین کاربری که در آن توسعه شهری بیشتر رخ داده مربوط به کاربری کشاورزی است (۹۶۴۲/۴ هکتار).

در ادامه این روند، بر اساس نقشه احتمال تهیه شده از تصاویر خروجی مدل LTM (نقشه ۱۱) تا سال ۱۴۲۵ حدود ۵۹۱۸ هکتار به کاربری ساخته شده شهر افزوده خواهد شد؛ که در این میان سهم تبدیل از تغییر کاربری کشاورزی به کاربری ساخته شده ۴۸۸۵ هکتار خواهد بود. در نهایت پیش‌بینی می‌شود مساحت کاربری ساخته شده شهر به ۲۳۷۸۱ هکتار در سال ۱۴۲۵ برسد. جدول ۱۲ و نقشه ۱۲ تغییرات کاربری اراضی شهر ناشی از سناریوی روند در طی دوره ۱۳۹۵-۱۴۲۵ را نشان می‌دهند. میزان تغییرات بوجود آمده در کاربریها طی این دوره به شرح زیر خواهد بود:

الف) اراضی بایر: اراضی بایر با مساحت ۱۱۳۴۷ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۱۰۹۷۵ هکتار در سال ۱۴۲۵ کاهش پیدا خواهد کرد. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۶۴۴/۴- هکتار (۴- درصد) می‌باشد.

ب) اراضی ساخته شده: اراضی ساخته شده با مساحت ۱۷۸۶۳ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۲۳۷۸۱ هکتار در سال ۱۴۲۵ افزایش پیدا خواهد کرد. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۵۹۱۸ هکتار (۳۳ درصد) می‌باشد.

(پ) اراضی کشاورزی: اراضی کشاورزی با مساحت ۲۳۳۷۶ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۱۸۲۲۱ هکتار در سال ۱۴۲۵ کاهش پیدا خواهد کرد. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۴۸۸۵- هکتار (۲۲- درصد) می باشد.

(ت) پوشش درختی: پوشش درختی با مساحت ۳۵۶ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۲۹۲ هکتار در سال ۱۴۲۵ کاهش پیدا خواهد کرد. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۶۵- هکتار (۱۸- درصد) می باشد.

(ث) اراضی مرتعی: اراضی مرتعی با مساحت ۲۱۱۱ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۱۸۱۸ هکتار در سال ۱۴۲۵ کاهش پیدا خواهد کرد. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۲۹۱- هکتار (۱۴- درصد) می باشد.

(ج) اراضی آبی: اراضی آبی با مساحت ۱۶۵ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۱۳۱ هکتار در سال ۱۴۲۵ کاهش پیدا خواهد کرد. میزان تغییرات بوجود آمده در این دوره ۳۲/۵- هکتار (۲۱- درصد) می باشد.

بررسی روند کلی تغییر کاربریهای شهر طی دوره ۳۰ ساله توسعه شهری آینده از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۲۵ (جدول ۱۲، نقشه ۱۲) و مقایسه سطح و جمعیت (جدول ۱۵) نشان می دهد، تغییرات مساحت شهر کندتر از تغییرات جمعیت آن خواهد بود ولی این مسأله طی مدت ۳۰ سال باعث رشد ۳۳ درصدی مساحت شهر خواهد شد.

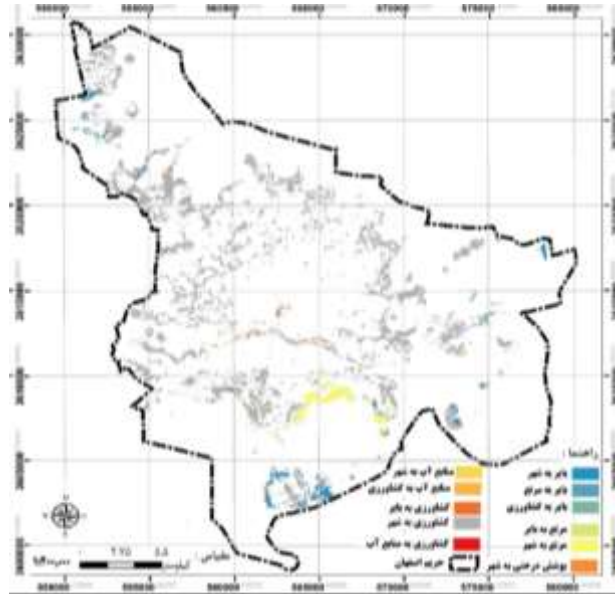
در طول این دوره ۳۰ ساله «اراضی ساخته شده» بیشترین میزان تغییرات مثبت (۵۹۱۸ هکتار / ۳۳ درصد) و کاربری «اراضی کشاورزی» بیشترین میزان تغییرات منفی (۴۸۸۵- هکتار / ۲۱- درصد) نسبت به سایر کاربریها را خواهند داشت. کمترین میزان تغییرات نیز مربوط به «اراضی بایر» (۶۴۴/۴- هکتار / ۶- درصد) خواهد بود.

در این راستا، میزان تغییرات اراضی ساخته شده ۵۹۱۸ هکتار (۳۳ درصد) افزایش می یابد و از ۱۷۸۶۳ هکتار در سال ۱۳۹۵ به ۲۳۷۸۱ هکتار در سال ۱۴۲۵ خواهد رسید. این در حالی است که جمعیت شهر از ۱۹۶۱۲۶۰ نفر در سال ۱۳۹۵ به حدود ۳۸۹۸۰۰۰ نفر در سال ۱۴۲۵ افزایش خواهد یافت. عبارت دیگر، تغییرات جمعیت حدود ۱۹۳۷۰۰۰ نفر (۵۰ درصد) خواهد بود. با این حساب میزان افزایش جمعیت با میزان افزایش ساخت و ساز و توسعه شهری تفاوتی به میزان ۱۷ درصد را نشان می دهد. به بیان دیگر، رشد شهر با میزان افزایش جمعیت مطابقت ندارد؛ لذا شکاف بین رشد مناطق شهری و جمعیت در این دوره بیانگر این است که توسعه عمودی شهر بیشتر از توسعه افقی اتفاق خواهد افتاد.

از نتایج منفی توسعه شهری در این دوره، به زیر ساخت و ساز رفتن هکتارها اراضی زراعی اطراف شهر است. به طوری که با در اختیار داشتن ۱۱۳۵۲/۶ هکتار از اراضی بایر برای رشد شهر، میزان تخریب اراضی کشاورزی برابر با ۴۸۸۵ هکتار (۲۲ درصد) خواهد بود. بر این اساس در رشد اراضی ساخته شده، بیشترین سهم از کاهش اراضی زراعی به میزان ۸۲/۵ درصد ناشی شده است (جدول ۱۳). با مقایسه نقشه سال ۱۳۹۵ و نقشه شبیه سازی شده برای سال ۱۴۲۵ می توان به این نتیجه دست یافت که توسعه اراضی ساخته شده به ضرر اراضی کشاورزی، پوشش درختی و مراتع خواهد بود.

جدول ۱۲: مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان بین سالهای ۱۳۹۵ و ۱۴۲۵ در سناریوی روند

۱۴۲۵ (هکتار)							
طبقه کاربری اراضی	اراضی بایر	اراضی ساخته شده	اراضی کشاورزی	پوشش درختی	اراضی مرتعی	اراضی آبی	مجموع طبقه
اراضی بایر	۱۱۳۴۷	۶۴۴/۵	۵/۱	۰	۰/۴	۰	۱۱۹۹۷
اراضی ساخته شده	۰	۱۷۸۶۳	۰	۰	۰	۰	۱۷۸۶۳
اراضی کشاورزی	۵/۲	۴۸۸۵	۲۳۳۷۶	۰	۰	۰/۱	۱۲۸۲۶۶/۳
پوشش درختی	۰	۶۵	۰	۳۵۶	۰	۰	۴۲۱
اراضی مرتعی	۰/۴	۲۹۱	۰	۰	۲۱۱۱	۰	۲۴۰۲/۴
اراضی آبی	۰	۳۲/۵	۰/۱	۰	۰	۱۶۵	۱۹۷/۶
مجموع طبقه	۱۱۳۵۲/۶	۲۳۷۸۱	۱۲۳۳۸۱/۲	۳۵۶	۲۱۱۱/۴	۱۶۵/۱	۰
تغییرات طبقه	۵/۶	۵۹۱۸	۵/۲	۰	۰/۴	۰/۱	۰
تفریق تصاویر (میزان تغییرات از ۱۳۹۵-۱۴۲۵)	(-۴٪)	+۵۹۱۸	(-۲۲٪)	(-۱۸٪)	(-۱۴٪)	(-۲۱٪)	۰



نقشه ۱۲: تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان طی سالهای ۱۳۹۵-۱۴۲۵

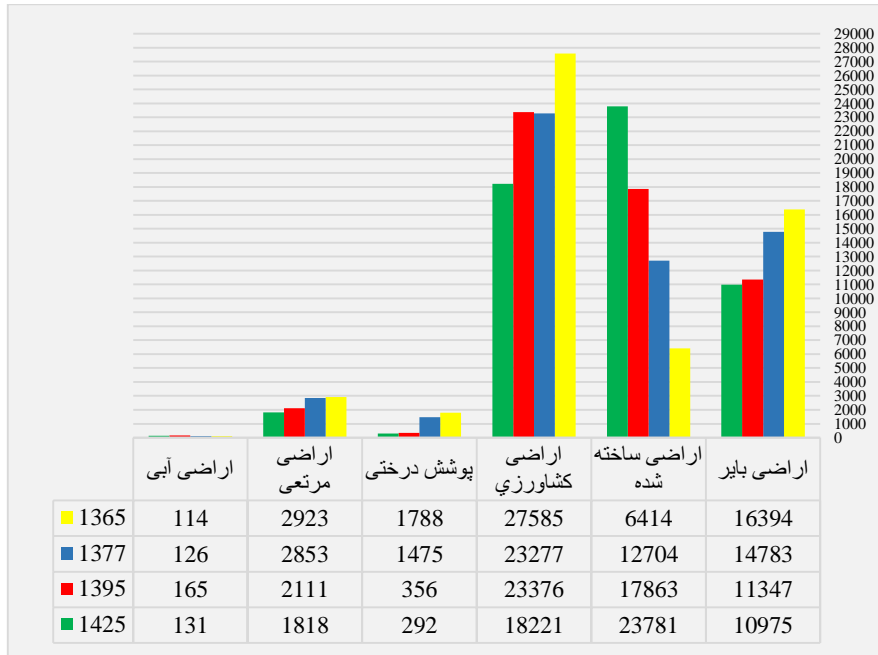
تغییرات کاربری طبقه اراضی ساخته شده (شهر) طی سالهای ۱۳۹۵-۱۴۲۵ بر اساس سناریوی روند روند فضایی تغییرات کاربری اراضی ساخته شده طی دوره ۱۳۹۵-۱۴۲۵ مطابق جدول ۱۳ نشان می‌دهد که در نتیجه از بین رفتن اراضی کشاورزی، زمینهای بایر، مراتع، پوشش درختی و سطوح آبی، مساحت مناطق مسکونی افزایش داشته است. در طی این دوره گسترش شهر بیشترین تأثیرات را بر روی کاربری کشاورزی با نابودی ۴۸۸۵ هکتار از مزارع داشته است.

جدول ۱۳: تغییر کاربری اراضی ساخته شده از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۲۵

ردیف	تغییر کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد
۱	اراضی بایر به ساخته شده	۶۴۴/۵	۱۱
۲	کشاورزی به ساخته شده	۴۸۸۵	۸۲/۵
۳	پوشش درختی به ساخته شده	۶۵	۱
۴	مرتع به ساخته شده	۲۹۱	۵
۵	سطوح آبی به ساخته شده	۳۲/۵	۰/۵
۶	مجموع	۵۹۱۸	۱۰۰

جدول ۱۴: تغییرات سطوح کاربری اراضی شهر اصفهان از سال ۱۳۶۵ تا ۱۴۲۵ (هکتار)

کاربری اراضی	مساحت در سال ۱۳۶۵	مساحت در سال ۱۳۷۷	مساحت در سال ۱۳۹۵	تغییر از ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۷	تغییر از ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵	تغییر از ۱۳۹۵ تا ۱۴۲۵	تغییر از ۱۳۶۵ تا ۱۴۲۵
اراضی بایر	۱۶۳۹۴	۱۴۷۸۳	۱۱۳۴۷	-۱۶۱۱ (%-۱۰)	-۳۴۳۶ (%-۲۳)	-۳۷۲ (%-۴)	-۱۰۹۷۵ (%-۳۱)
اراضی ساخته شده	۶۴۱۴	۱۲۷۰۴	۱۷۸۶۳	۶۲۹۰ (%۹۸)	۵۱۵۹ (%۴۱)	۵۹۱۸ (%۳۳)	۲۳۷۸۱ (%۱۷۸)
اراضی کشاورزی	۲۷۵۸۵	۲۳۲۷۷	۲۳۳۷۶	-۴۲۰۸ (%-۱۶)	۹۹ (%۰/۵)	-۵۱۵۵ (%-۲۲)	۱۸۲۲۱ (%-۱۵)
پوشش درختی	۱۷۸۸	۱۴۷۵	۳۵۶	-۳۱۳ (%-۱۸)	-۱۱۱۹ (%-۷۶)	-۶۴ (%-۱۸)	۲۹۲ (%-۸۰)
اراضی مرتعی	۲۹۲۳	۲۸۵۳	۲۱۱۱	-۷۰ (%-۲)	-۷۴۲ (%-۲۶)	-۲۹۳ (%-۱۴)	۱۸۱۸ (%-۲۸)
اراضی آبی	۱۱۴	۱۲۶	۱۶۵	۱۲ (%۱۱)	۳۹ (%۳۱)	-۳۴ (%-۲۱)	۱۳۱ (%۴۵)
مجموع	۵۵۲۱۸	۵۵۲۱۸	۵۵۲۱۸	-	-	-	۵۵۲۱۸



شکل ۶: تغییرات سطح کاربری اراضی شهر اصفهان از سال ۱۳۶۵ تا ۱۴۲۵ (هکتار)

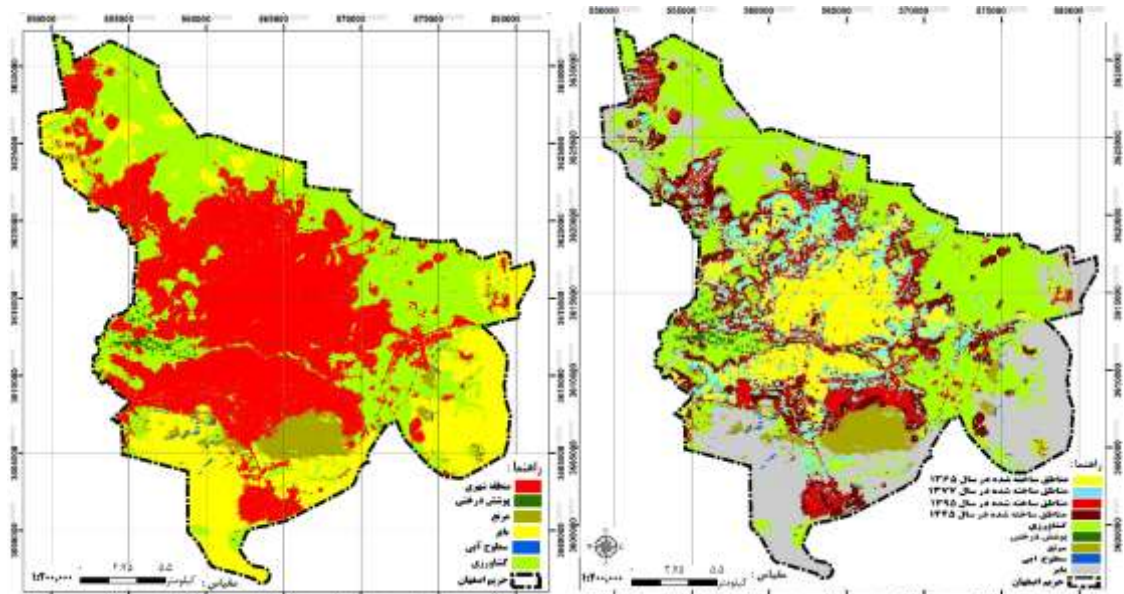
جدول ۱۵: تغییرات سطح کاربری اراضی ساخته شده و جمعیت شهر اصفهان طی سالهای ۱۳۶۵-۱۴۲۵

سال	مساحت مناطق شهری (هکتار)	تغییر مناطق شهری در مقایسه با دوره قبل (هکتار)	درصد تغییر مناطق شهری	جمعیت (نفر)	تغییر جمعیت در مقایسه با دوره قبل (نفر)	درصد تغییر جمعیت
۱۳۶۵	۶۴۱۴	-	-	۹۸۶۷۵۳	-	-
۱۳۷۷	۱۲۷۰۴	۶۲۹۰	۹۸	۱۳۱۰۶۵۹	۳۲۳۹۰۶	۳۳
۱۳۹۵	۱۷۸۶۳	۵۱۵۹	۴۱	۱۹۶۱۲۶۰	۶۵۰۶۰۱	۵۰
۱۴۲۵	۲۳۷۸۱	۵۹۱۸	۳۳	۳۸۹۸۱۸۰ ^۱	۱۹۲۶۹۲۰	۹۹

مأخذ: نگارنده، بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ و سرشماری مرکز آمار ایران و پیش‌بینی جمعیت

در نقشه ۱۳ سیمای توسعه شهری اصفهان در افق سال ۱۴۲۵ با سناریوی روند پیش‌بینی شده است. مطابق جدول ۱۵ برای توسعه آتی شهر ۵۹۱۸ هکتار اراضی مورد نیاز خواهد بود که در این سناریو از یک طرف، مجاورت این شهر با باغات و اراضی کشاورزی، اراضی مرتعی، اراضی آبی و پوشش درختی اطراف شهر موجودیت این ذخایر اکولوژیک را به مخاطره خواهد انداخت. از سوی دیگر، روند توسعه مناطق روستایی پیرامون شهر به علت نیاز به استفاده از زیرساختهای شهری و بالا رفتن قیمت اراضی، در دهه‌های آتی موج دومی از توسعه پراکنده و ادغام در بافت شهر را شروع خواهد کرد. نتایج حاصل از سناریوی روند در اصفهان نشانگر ادامه رشد پراکنده شهری و توسعه افقی در دهه‌های آتی می‌باشد و اراضی موجود در محدوده شهر به ساخت‌وسازهای شهری اختصاص خواهد یافت که ادامه این روند نه تنها مشکلات زیست محیطی را باعث می‌گردد، بلکه باعث افزایش هزینه‌های توسعه و آماده‌سازی اراضی مورد نیاز توسعه شهری خواهد شد.

۱. پیش‌بینی جمعیت برای سال ۱۴۲۵ بر اساس جمعیت سالهای ۱۳۶۵ و ۱۳۹۵ و نرخ رشد به میزان ۲/۳۱ صورت گرفته است.



نقشه ۱۳: وضعیت توسعه آبی شهر اصفهان در سناریوی روند تا سال ۱۴۲۵ نقشه ۱۴: کاربری اراضی شهر اصفهان در سال ۱۴۲۵

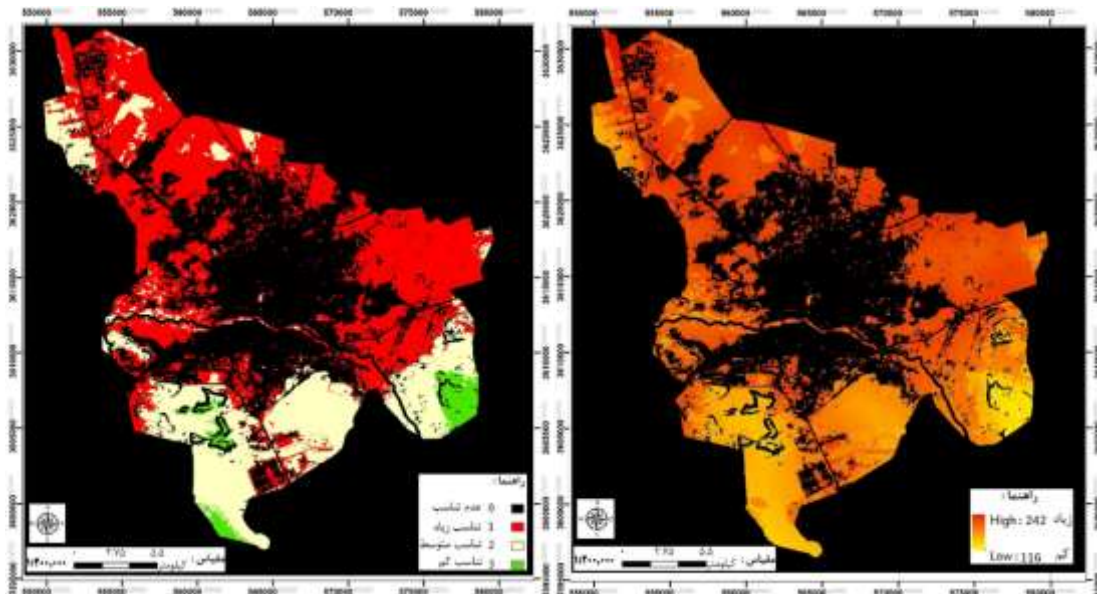
سناریوی وضع مطلوب (مدلسازی بهینه‌بندی توان اکولوژیک توسعه شهری با روش WLC)

فرآیند مکان‌یابی مناسب برای تخصیص زمین به کاربری‌های مناسب، تلاشی است برای ایجاد چارچوبی که طی آن بتوان برای رسیدن به راه‌حل بهینه اقدام کرد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۱۹). ارزیابی توان اکولوژیک به معنای ارزش‌گذاری هر یک از لکه‌های یکنواخت و همگن سرزمین برای انواع کاربری‌های مختلف است. بر این اساس در هر یک از مناطق، درجه مرغوبیت سرزمین برای انواع توسعه‌ها مشخص می‌شود. این امر موجب کاهش و به حداقل رساندن پیامدهای منفی ناشی از توسعه بر محیط زیست می‌شود (کوشکی، ۱۳۹۵: ۲۰).

در سناریوی وضع مطلوب، برای شناسایی اراضی مناسب توسعه شهر اصفهان در سال ۱۴۲۵ از روش ترکیب خطی وزن‌دار (wlc) در مدل MCE در محیط نرم‌افزار Idrisi TerrSet جهت انجام عملیات ارزیابی توان اکولوژیک استفاده شده است. بدین منظور، مراحل انجام عبارتند از: ۱- تعیین معیارهای لازم و آماده‌سازی نقشه‌های معیارهای اکولوژیکی (نقشه ۴) ۲- کمی‌سازی و استانداردسازی معیارها با روش منطق فازی ۳- وزن‌دهی به معیارها با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۴- ترکیب (تلفیق) لایه‌ها و تحلیل تناسب با اجرای فرایند ارزیابی چندمعیاره با روش wlc ۵- درجه‌بندی مطلوبیت اراضی برای توسعه شهری (نقشه ۱۵) ۶- طبقه‌بندی لایه نهایی و تناسب اراضی برای توسعه شهری (نقشه ۱۶).

در نقشه درجه‌بندی مطلوبیت اراضی برای توسعه شهری، مقادیر بیشتر نشان‌دهنده درجه توان بالاتر و مقادیر کمتر بیانگر درجه توان پایین‌تر برای توسعه شهری است. بر این اساس، مناطق غرب، شمال غرب، شرق و شمال شرق شهر اصفهان دارای تناسب و قابلیت بالاتری برای توسعه هستند (حدود ۷۰ درصد) و مناطق حاشیه‌ای خصوصاً در سمت جنوب (به استثنای اراضی اطراف جاده اصفهان _ بهارستان)، جنوب غرب و جنوب شرق شهر که ارتفاع بالاتری دارند و کاربری آنها مراتع و اراضی بایر است، از تناسب و قابلیت کمتری برای توسعه برخوردار هستند (حدود ۳۰ درصد).

نقشه تناسب اراضی برای توسعه شهری (نقشه ۱۶) به سه طبقه شامل مناطق با تناسب زیاد (کد ۱)، مناطق با تناسب متوسط (کد ۲) و مناطق با تناسب کم (کد ۳) طبقه‌بندی گردید. مطابق این نقشه، قسمتهای جنوب (به استثنای اراضی اطراف جاده اصفهان _ بهارستان)، جنوب غرب و جنوب شرق، شرایط مناسب برای توسعه شهری را ندارند؛ بنابراین، باید از توسعه بی‌رویه در این جهات جلوگیری شود. از این نقشه می‌توان برای الگویی جهت توسعه در آینده استفاده نمود.



نقشه ۱۵: درجه بندی مطلوبیت اراضی برای توسعه شهری براساس روش WLC نقشه ۱۶: تناسب اراضی برای توسعه شهری

مقایسه تناسب اراضی برای توسعه شهری با رشد احتمالی شهر در سال ۱۴۲۵

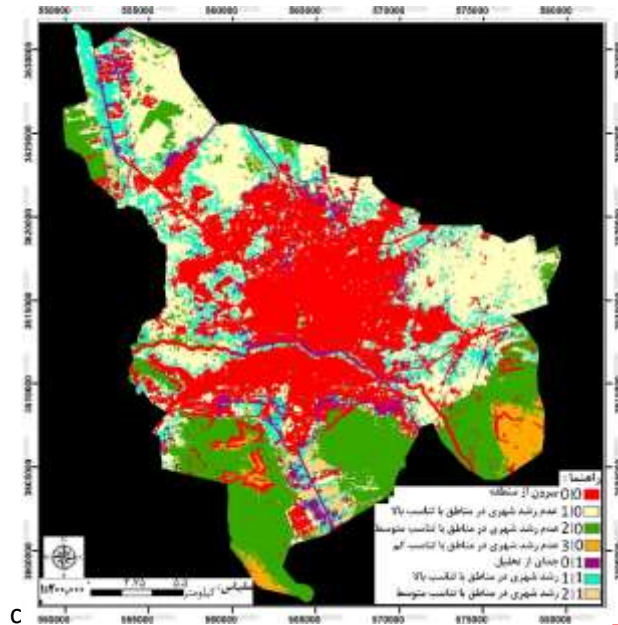
در این مرحله، لایه «رشد احتمالی شهر در سال ۱۴۲۵» که از مدل LTM استخراج شده است (نقشه ۱۱) با لایه «تناسب اراضی برای توسعه شهری» که از روش WLC به دست آمده است (نقشه ۱۶)، تلفیق و مقایسه گردید تا مشخص شود چه میزان مساحت در رشد و توسعه آینده شهر اصفهان تا سال ۱۴۲۵ در هر طبقه از مناطق قرار دارد (نقشه ۱۷).

نتایج حاصل از جدول ۱۶ نشان می‌دهد که ۳۲ درصد (۱۷۸۶۳ هکتار) از اراضی مناطقی هستند که بیرون از منطقه تناسب هستند (اراضی ساخته شده تا سال ۱۳۹۵)؛ ۴ درصد (۲۳۱۸ هکتار) نیز به دلیل عدم تناسب، جدای از تحلیل قرار گرفته‌اند. مجموع مساحت مناطق دارای تناسب زیاد و متوسط برای توسعه شهری در سال ۱۴۲۵، ۵۷۱۲ هکتار است که در این میان ۴۶۶۶ هکتار (۸ درصد) از رشد شهری در مناطقی اتفاق می‌افتد که دارای تناسب زیاد (کد ۱ در لایه تناسب) برای توسعه هستند (غالباً حواشی خط محدوده در سمت غرب، شمال غرب، شمال و شرق شهر)؛ و ۱۰۴۶ هکتار (۲ درصد) در مناطقی به وقوع خواهد پیوست که دارای تناسب متوسط هستند (سمت جنوب شهر در امتداد جاده اصفهان_بهارستان). غالب کاربریهای این مناطق اراضی کشاورزی و بایر می‌باشد.

اراضی با مساحت‌های ۱۷۰۳۱ هکتار (۳۱٪)، ۱۱۰۵۴ هکتار (۲۰٪) و ۱۶۲۰ هکتار (۳٪) نیز به ترتیب مناطقی هستند که برای توسعه شهری دارای تناسب زیاد (سمت غرب، شمال غرب، شمال شرق، شرق)، تناسب متوسط (سمت جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق) و تناسب کم (سمت جنوب غرب، جنوب شرق) هستند اما هیچ رشدی توسط مدل برای این مناطق پیش بینی نشده است.

جدول ۱۶: میزان مساحت تناسب اراضی برای توسعه شهری با رشد احتمالی شهر در سال ۱۴۲۵

ردیف	طبقات	کد در نقشه	مساحت (هکتار)	درصد از منطقه
۱	بیرون از منطقه	۰ ۰	۱۷۸۶۳	۳۲
۲	عدم رشد شهری در مناطق با تناسب زیاد	۱ ۰	۱۷۰۳۱	۳۱
۳	عدم رشد شهری در مناطق با تناسب متوسط	۲ ۰	۱۱۰۵۴	۲۰
۴	عدم رشد شهری در مناطق با تناسب کم	۳ ۰	۱۶۲۰	۳
۵	جدای از تحلیل	۰ ۱	۲۳۱۸	۴
۶	رشد شهری در مناطق با تناسب زیاد	۱ ۱	۴۶۶۶	۸
۷	رشد شهری در مناطق با تناسب متوسط	۲ ۱	۱۰۴۶	۲



نقشه ۱۷: مقایسه تناسب اراضی برای توسعه شهری با رشد احتمالی شهر در سال ۱۴۲۵

بحث

یکی از مهمترین مباحث شهر و شهرنشینی در ایران، بررسی و تحلیل رشد و توسعه کالبدی-فضایی شهر است. بدین لحاظ، از یکسو بررسی و شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهر و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و از سوی دیگر، تحلیل تناسب زمین برای توسعه شهری و شناسایی اراضی مناسب و اولویت‌دار برای توسعه کالبدی-فضایی آن در آینده به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی رشد و توسعه شهری و همچنین ارزیابی اثرات تجمعی آن، ضروری می‌باشد. لذا مطالعه میزان تغییرات شهری در سالهای گذشته و پیش‌بینی این تغییرات در سالهای آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع و کنترل تغییرات غیراصولی گام مهمی باشد و از طریق مدلسازی رشد و گسترش شهری می‌توان تغییرات کاربری را برای سری زمانی چندین ساله، جهت برنامه‌ریزی‌های شهری مناسب پیش‌بینی نمود. در شهر اصفهان به دلیل افزایش جمعیت، محدوده سکونت‌ی شهر طی چهار دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. بر این مبنای پژوهش حاضر رشد و گسترش فیزیکی شهر اصفهان همراه با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LTM شبیه‌سازی گردید. بدین منظور، ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی شهر تهیه و تغییرات پوشش اراضی و مناطق رشد شهری در طول ۳۰ سال، از ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی، مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. از مدل LTM در محیط نرم‌افزار Idrisi Terrset نیز برای آموزش، تست، شبیه‌سازی و پیش‌بینی توسعه احتمالی شهر در افق سال ۱۴۲۵ بهره گرفته شد و بر این اساس «سناریوی روند» تدوین و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ادامه جهت تدوین «سناریوی وضع مطلوب»، روش wlc برای مدلسازی پهنه‌بندی توان اکولوژیک توسعه شهری به منظور شناسایی اراضی مناسب توسعه شهر اصفهان در سال ۱۴۲۵ به کار گرفته شد.

نتیجه‌گیری

در شهر اصفهان، محدوده سکونت‌ی شهر طی چهار دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. یکی از عوامل اصلی توسعه فیزیکی شهر، افزایش سریع جمعیت آن است که در ۳ دهه گذشته جمعیت آن ۲ برابر شده است. در بیان دلایل افزایش سریع جمعیت آن می‌توان به این موارد اشاره نمود: ۱- رشد طبیعی جمعیت شهر؛ ۲- صنعتی شدن منطقه؛ ۳- مهاجرت جمعیت از روستاها و شهرهای استان اصفهان و استانهای همجوار به شهر اصفهان؛ ۴- ادغام تعداد زیادی از سکونتگاه‌های روستایی و شهرک‌های پیرامون در شهر اصفهان. در پژوهش حاضر ابتدا به بررسی و تحلیل روند تحولات رشد کالبدی-فضایی شهر اصفهان پرداخته شد. از بررسی الگوی فیزیکی رشد شهر با شاخصهای سنجش فرم شهری پیشنهادی تسای

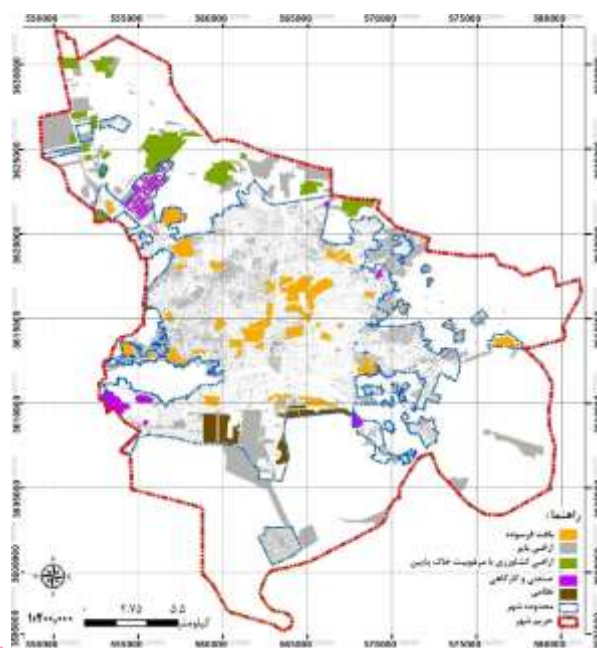
یعنی تراکم، اندازه متروپل، درجه توزیع متعادل (ضرایب جینی و آنتروپی شانون) و درجه تجمع (ضرایب موران و گری) می‌توان نتیجه گرفت که الگوی رشد کالبدی-فضایی شهر طی مدت ۳۰ ساله ۹۵-۱۳۶۵، از نوع «الگوی پراکندگی شهری» و با سرعت کم است.

با عنایت به اینکه مطالعه میزان تغییرات شهری در سالهای گذشته و پیش‌بینی این تغییرات در سالهای آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع و کنترل تغییرات غیراصولی گام مهمی باشد، از طریق مدلسازی رشد و گسترش شهری می‌توان تغییرات کاربری اراضی را برای سری زمانی چندین ساله، جهت برنامه‌ریزی‌های شهری مناسب پیش‌بینی نمود. بر این مینا با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای سنجنده TM لندست در طی دوره ۳۰ ساله از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ در شهر اصفهان با روش «طبقه‌بندی پیکسل پایه» سه نقشه کاربری اراضی برای سالهای ۱۳۶۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۵ تهیه گردید و متعاقباً روند پراکنش شهری و تغییرات کاربری اراضی شهر ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۶۵، ۶۴۱۴ هکتار کاربری اراضی ساخته شده داشته است که این مقدار در سال ۱۳۹۵ به ۱۷۸۶۳ هکتار افزایش یافته است. با توجه به اینکه شهر اصفهان در سال ۱۳۶۵، ۹۸۶۷۵۰ نفر بوده و در سال ۱۳۹۵ به ۱۹۶۱۲۶۰ نفر رسیده است، مقایسه تغییرات درصد مساحت نسبت به تغییرات درصد جمعیت بین سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که تغییرات مساحت شهر خیلی سریعتر از تغییرات جمعیت آن بوده و این مسأله طی مدت ۳۰ سال باعث حدود ۳ برابر شدن مساحت شهر شده است؛ درحالی که طی این دوره آماری جمعیت شهر حدود ۱ برابر افزایش یافته است. به عبارت دیگر، رشد شهر با میزان افزایش جمعیت مطابقت نداشته است؛ لذا شکاف بین رشد مناطق شهری و جمعیت در این دوره بیانگر این است که توسعه افقی بیشتر از فرم عمودی اتفاق افتاده است. مسأله شدت پراکنش شهری را می‌توان در رشد نامنظم شهر در بستر اراضی کشاورزی اطراف شهر مشاهده نمود که به قابلیت اکولوژیکی آن آسیب وارد کرده است. بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی- فضایی شهر در سالهای اخیر به‌خصوص ۳۰ سال گذشته، مایه نابودی اراضی کشاورزی یا تبدیل عامدانه آنها به اراضی بایر و سپس به کاربری‌های ساخته شده گردیده است.

برای جلوگیری از ادامه این مسأله، با استفاده از مدل تبدیل اراضی (LTM) که توانایی یادگیری الگوهای توسعه شهری و در نتیجه پیش‌بینی گسترش شهری را براساس پارامترهای مؤثر توسعه دارد، مدلسازی توسعه شهری اصفهان برای سال ۱۴۲۵ انجام گرفت. بدین منظور، با استفاده از متغیرهای مستقل و وابسته، نقشه احتمال توسعه شهری در سال ۱۴۲۵ استخراج شد. این مدلسازی نشانگر این است که اراضی ساخته شده بین سالهای ۱۳۹۵ تا سال افق پیش‌بینی (۱۴۲۵)، ۳۳ درصد (۵۹۱۸ هکتار) افزایش خواهد یافت و از ۱۷۸۶۳ هکتار به ۲۳۷۸۱ هکتار خواهد رسید. در این راستا در رشد اراضی ساخته شده، ۸۲/۵ درصد از اراضی کشاورزی، ۱ درصد از پوشش درختی، ۵ درصد از اراضی مرتعی، ۰/۵ درصد از اراضی آبی و ۱۱ درصد از اراضی بایر ناشی خواهد شد؛ که این توسعه، علاوه بر تخریب منابع زیست محیطی، تغییرات شدید اکولوژیکی را نیز به بار خواهد آورد. در واقع نتایج مدل نشانگر توسعه اسپرال و پراکنده شهری به پیرامون شهر می‌باشد که تخریب اراضی پیرامونی که عمدتاً اراضی کشاورزی می‌باشد را به دنبال خواهد داشت. این مسئله لزوم اتخاذ سیاستهای مناسب برای جلوگیری از تخریب اکوسیستم‌ها و استفاده ناکارآمد از منابع و زمین را پررنگ می‌کند.

بدین منظور، برای شناسایی مناطق مستعد توسعه شهری اصفهان تا سال ۱۴۲۵ با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (wlc) در قالب سناریوی وضع مطلوب، نقشه توان سرزمین محدوده مورد مطالعه تهیه شد که در آن مناطق اولویت‌دار و مناسب برای توسعه شهری را نشان می‌دهد. طبق نتایج به‌دست آمده، نواحی غرب، شمال غرب، شمال، شرق و شمال شرق شهر از اولویت بالاتری برخوردار می‌باشند. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان الگویی جهت انتخاب مکانهای مناسب توسعه شهری مورد استفاده قرار گیرد. لذا می‌توان با بکارگیری روشهای صحیح، از پیشروی رشد و توسعه شهری در جهت بخشهای نامناسب و پیشگیری نمود. در نتیجه، از منابع موجود در منطقه در حد توان و ظرفیتشان استفاده خواهد شد و همچنین محیط زیست منطقه حفظ خواهد شد.

لازم به ذکر است، همانگونه که در پاسخ به رشد پراکنده شهری در کشورهای توسعه یافته، طرفداران رشد هوشمند، استراتژی‌های توسعه شهری را برای کنترل رشد پراکنده و تشویق توسعه فشرده پیشنهاد نموده‌اند (He et al., 2023)، در این مطالعه نیز استفاده از پتانسیل‌های موجود در داخل محدوده شهر اصفهان (نقشه ۱۸) جهت ساماندهی مشکلات شهری و انتظام فضایی شهری از طریق راهبرد توسعه میان‌افزا، بعنوان اولین و مناسب‌ترین راهکار توسعه فضایی-کالبدی شهر اصفهان به منظور توسعه موزون شهر، جلوگیری از تغییر و تخریب کاربری‌های پیرامون شهر (عمدتاً اراضی کشاورزی)، کاهش هزینه‌های خدمات‌رسانی، حفظ تعادل اکولوژیکی شهر و غیره پیشنهاد می‌گردد. سیاستهای راهبرد توسعه میان‌افزای شهر اصفهان عبارتند از: ۱- توسعه مجدد بافتهای نامناسب شهری از طریق بهسازی و نوسازی بافتهای فرسوده شهری و اختصاص آنها جهت توسعه شهری؛ ۲- خروج کاربریهای نامناسب شهری از جمله پادگان‌ها، کارگاه‌های صنعتی مزاحم از محدوده شهر و ایجاد کاربریهای مورد نیاز شهر به جای آنها؛ ۳- استفاده مجدد از اراضی بایر و رها شده شهری.



نقشه ۱۸: پتانسیل‌های توسعه شهری اصفهان

شایان ذکر است، وجه تشابه این پژوهش با پژوهش‌های پیشین سایر محققان در شهر اصفهان، بررسی تغییرات پوشش و کاربری اراضی و روند تغییرات شهری در آینده بر اساس تغییرات گذشته و نیز پیش‌بینی و شبیه‌سازی توسعه احتمالی شهر از طریق یافتن محتمل‌ترین مکانها برای توسعه شهری آینده است. با این تفاوت که در تحقیقاتی مانند پژوهش خانم فلاحتکار (۱۳۸۷) با عنوان «آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی اصفهان با استفاده از سنجش از دور و GIS» با بکارگیری مدل زنجیره مارکوف به مدلسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان در افق سال ۱۴۰۴ پرداخته شده است و در پژوهش آقای جهانیان (۱۳۹۸) با عنوان «استخراج قوانین انتقال اتوماتای سلولی با استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی برای مدلسازی گسترش شهری اصفهان» با بکارگیری مدل‌های اتوماتای سلولی، رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف، مدل ترکیبی CA-LR-GWO به مدلسازی گسترش شهری اصفهان در سال ۱۳۹۲ پرداخته شده است؛ اما در پژوهش حاضر از مدل تبدیل اراضی (LTM) بهره گرفته شده است.

وجه تمایز این پژوهش با سایر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در سایر شهرهای کشور با مدل‌های مختلف شبیه‌سازی، بکارگیری دو سناریو شامل «سناریوی روند» به منظور بررسی و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان در طی سه دهه آتی (۱۳۹۵-۱۴۲۵) بر اساس روند گذشته و «سناریوی مطلوب» به منظور مدلسازی پهنه‌بندی توان اکولوژیکی توسعه شهری اصفهان برای سال ۱۴۲۵ با استفاده از روش WLC جهت یافتن مناسبترین مکان‌ها برای توسعه شهری آینده می‌باشد.

در پایان به مهندسین مشاور، برنامه‌ریزان، مدیران و سیاست‌گذاران شهری اصفهان که سومین طرح جامع شهری اصفهان را در دست تهیه دارند پیشنهاد می‌گردد نتایج تحقیق حاضر و سایر تحقیقات صورت گرفته با روشهای مختلف مدل‌سازی را در برنامه‌ریزی‌های توسعه شهری در راستای مدیریت بهینه اراضی و توسعه پایدار در نظر بگیرند تا در آینده کمترین زیان و خسارت را از توسعه افقی این شهر شاهد باشند.

منابع

- ۱) آزادخانی، پاکزاد؛ سلیمانی، سمیه؛ امید، مهدی. (۱۳۹۷). بررسی الگوی توسعه کالبدی-فضایی شهر ایلام با مدل آنتروپی شانون و هلدرن. *فصلنامه مطالعات عمران شهری*، ۲ (۴)، ۲۵-۴.
- ۲) آمارنامه شهر اصفهان. (۱۳۹۶). شهرداری اصفهان.
- ۳) احمدی، علی. (۱۳۹۸). تأثیر توسعه شهری بر کیفیت آب در حوزه قره‌سو با استفاده از مدل *LTM*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد منابع طبیعی - محیط زیست. مؤسسه آموزش عالی غیردولتی بهاران.
- ۴) امامی، ابراهیم. (۱۳۹۶). *مدلسازی فضایی زمانی توسعه شهری با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های هوشمند (مورد مطالعه: شهر کرمانشاه)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشگاه ارومیه.
- ۵) جهانیان، امیر. (۱۳۹۸). *استخراج قوانین انتقال اتوماتای سلولی با استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی برای مدلسازی گسترش شهری (مورد مطالعه: شهر اصفهان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. دانشگاه اصفهان.
- ۶) داداش‌پور، هاشم؛ سالاریان، فردیس. (۱۳۹۴). تحلیل تأثیر پراکنده‌رویی بر تغییر کاربری زمین در منطقه شهری ساری. *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری*، ۳ (۲)، ۱۶۳-۱۴۵.
- ۷) رحیمی، اکبر. (۱۳۹۲). *ارزیابی و مدلسازی توسعه فضایی-کالبدی با تأکید بر توسعه میان‌افزا (مورد مطالعه: کلانشهر تبریز)*. رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه تبریز.
- ۸) رحیمی، اکبر. (۱۳۹۳). *مدلسازی توسعه شهر تبریز در سال ۱۴۱۰ با استفاده از مدل LTM*. *فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۵ (۲)، ۹۹-۱۱۰.
- ۹) رحیمی، اکبر؛ صدرموسوی، میرستار؛ پورمحمدی، محمدرضا. (۱۳۹۴). تحلیلی بر تغییرات کاربری زمین شهری با استفاده از مدل تحول زمین (مورد مطالعه: شهر تبریز). *فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹ (۵۴)، ۲۰۹-۱۸۹.
- ۱۰) رحیمی، کامران. (۱۳۹۶). *شبیه‌سازی و ارزیابی تغییرات گسترش شهر تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مورد مطالعه: شهر تهران)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. دانشگاه خوارزمی.
- ۱۱) زنگنه، سعید؛ امید، پور، مرتضی. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی رشد و توسعه کالبدی شهرها با بکارگیری مدل سلولهای خودکار فازی (FCA) (مورد مطالعه: شهر اهواز). *فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۷ (۲۷)، ۹۲-۷۷.
- ۱۲) سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا / <https://www.usgs.gov/>
- ۱۳) شناور، بامشاد؛ حسینی، محسن؛ اورک، ندا. (۱۳۹۵). ارزیابی توان سرزمین به منظور استقرار کاربری توسعه شهری با استفاده از روش WLC (مورد مطالعه: حوزه آبخیز زرد خوزستان). *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۸ (۳)، ۹۹-۱۱۶.
- ۱۴) فلاحتکار، سامره. (۱۳۸۷). *آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی شهر اصفهان با استفاده از سنجش از دور و GIS*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۱۵) قرخلو، مهدی؛ زنگنه، سعید. (۱۳۸۸). شناخت الگوی رشد کالبدی-فضایی شهر با استفاده از مدل‌های کمی (مورد مطالعه: شهر تهران). *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۰، ۳۴ (۲)، ۴۰-۱۹.
- ۱۶) کریمی، سعید؛ بالیست، جهانبخش. (۱۳۹۷). مکانیابی توسعه شهری با منطق فازی و ترکیب خطی وزنی و تکنیک تصمیم‌گیری فرایند تحلیل شبکه‌ای (مورد مطالعه: شهر کاشان). *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۷ (۱۰۵)، ۲۳۲-۲۱۹.
- ۱۷) کوشکی، پریرسا. (۱۳۹۵). *مدلسازی توان اکولوژیک کاربریهای کشاورزی و شهری با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مورد مطالعه: حوزه آبخیز گیلرود بروجرد)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین. دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان.
- ۱۸) کوشکی، پریرسا؛ پورخباز، حمیدرضا. (۱۳۹۹). *مدلسازی توان اکولوژیک توسعه شهری (مورد مطالعه: حاشیه شهر بروجرد)*. *فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۴ (۲)، ۱۴۰-۱۱۱.

- ۱۹) لطفیان، رحمت. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات و پیش‌بینی آینده توسعه شهری کاشان با استفاده از روشهای CA-Markov و ژئومد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲۰) محمودزاده، حسن. (۱۳۹۳). ارزیابی و تحلیل اکولوژیک توسعه فضایی کلانشهر تبریز. رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه تبریز.
- ۲۱) محمودزاده، حسن؛ رنجبر، امیرمسعود. (۱۳۹۷). کاربرد مدل LTM در پیش‌بینی و مدلسازی توسعه فیزیکی شهر ایلخچی. فصلنامه پژوهشهای جغرافیایی انسانی، ۵۰ (۱)، ۵۳-۳۵.
- ۲۲) مولایی، محمد؛ مشکینی، ابوالفضل؛ خاوریان، امیررضا. (۱۳۹۵). روندهای پراکنده‌رویی شهری و برنامه‌ریزی توسعه فضایی پایدار (مورد مطالعه: منطقه ۲ تهران). دو فصلنامه معماری و شهرسازی پایدار، ۴ (۲)، ۴۳-۵۴.
- ۲۳) مهندسین مشاور نقش جهان پارس. (۱۳۹۳). طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان، گزارش مطالعات و طرح. معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان.
- ۲۴) مهندسین مشاور نقش جهان پارس. (۱۳۹۷). سند پهنه‌بندی حریم شهر اصفهان. معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان.

References

- 1) Aburas, Maher Milad; Ho, Yuek Ming; Ramli, Mohammad Firuz; Ash'aari, Zulfa Hanan. (2016). The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models. *Journal of International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 380-389.
- 2) Ahmadi, Ali. (2019). *The effect of urban development on water quality in Gharehsoo area using LTM model*. Master's thesis of natural resources-environment. Baharan higher education institute of Gorgan. [In Persian].
- 3) Azadkhani, Pakzad; Omid, Mehdi. (2018). Investigating the physical-spatial development pattern of Ilam city with Shannon and Heldren's entropy model. *Journal of Urban civil studies*, 2 (4), 4-25. [In Persian].
- 4) Bamshad, Shenavr; Hosseini, Mohsen; Orak, Neda. (2016). Assessing land capability for urban land use by the Weighted Liner Composition (WLC) in GIS (Case Study: Zardrud watersheds of Khuzestan province). *Journal of Env. Sci. Tech*, 18 (3), 99-116. [In Persian].
- 5) Chen, J.P., Gong, C., Torrens, P. M and Osullivan, D. (2002). Cellular automata and urban simulation: where do we geofom here?. *Journal of Environment and Panning & Design*, 28, 163-168.
- 6) Dadashpoor, Hashem; Salarian, Fardis. (2015). Analysis of the impacts of urban sprawl on land use changes in Sari city. *Journal of Geographical urban planning research*, 3 (2), 145-163. [In Persian].
- 7) Emami, Ebrahim. (2017). *Spatio-temporal modeling of urban development Using satellite image processing and smart algorithms (case study: Kermanshah city)*. Master's thesis of urbanism. university of Urmia. [In Persian].
- 8) Falahatkar, Samefeh. (2008). *Land Cover Change Detection of Isfahan Using Remote Sensing and GIS*. Master's thesis of environment. Isfahan university of technology. [In Persian].
- 9) Ghrakhlou, Mehdi; Zanganehe, Saeid. (2009). The identifying spatial growth pattern of cities with Regard to quantities models: Tehran. *Journal of Geography and environmental planning*, year 20, 34 (2), 19-40. [In Persian].
- 10) Gomez, Miguel; Hortas, Miriam.; Li, Linna. (2014). The causes of urban sprawl in spanish urban areas: A spatial approach. *Journal of Spatial economic analysis*, 11 (2), 219-247.
- 11) He, Qingsong; Yan, Miao; Zheng, Linzi; Wang, Bo. (2023). Spatial stratified heterogeneity and driving mechanism of urban development level in China under different urban growth patterns with optimal parameter-based geographic detector model mining. *Journal of Computers, Environment and Urban Systems*, 105.
- 12) Jahaniyan, Amir. (2019). *Extracting the regulations of cellular automata transmission by collective intelligence algorithms for modelling urban expansion (area of study: Isfahan)*. Master's thesis of Civil Engineering – Remote Sensing. university of Isfahan. [In Persian].
- 13) Karimi, Saeed; Balist, Jahanbakhsh. (2018). Urban development locating with fuzzy logic, weighted linear combination and FANP decision-making technique (case study: Kashan). *Journal of geographical information (Sepehr)*, 27 (105), 219-232. [In Persian].
- 14) Kim, You Jung. (2019). *Advancing scenario planning to prepare for uncertain climate change: future urban growth prediction and flood vulnerability (case study: Tampa city, United States of America)*. PhD thesis of urban and regional sciences. Texas A&M university.
- 15) Kooshki, Parisa. (2016). *Ecological capacity modeling of agricultural and urban land uses with multi-criteria decision making models (case Study: Geleroud watershed of Boroujerd)*. Master's thesis of evaluation and spatial planning. Khatam Alanbia university of technology, Behbahan. [In Persian].

- 16) Kooshki, Parisa; Pourkhabbaz, Hamidreza. (2020). Ecological capacity modeling of urban development (case Study: Boroujerd city margin). *Journal of Spatial planning*, 24 (2), 111-140. [In Persian].
- 17) Mahmoudzadeh, Hassan. (2014). *The ecological assessment and analysis of spatial development of Tabriz metropolitan*. PhD thesis of geography and urban planning. University of Tabriz. [In Persian].
- 18) Li, Xuecao; Gong, Peng. (2016). Urban growth models: progress and perspective. *Journal of Sci. Bull*, 61 (21), 1637–1650.
- 19) Liu, Jing; Xu, Quanli; Huang, Xin. (2022). Analysis of the heterogeneity of urban expansion landscape patterns and driving factors based on a combined Multi-Order Adjacency Index and Geodetector model. *Journal of Ecological Indicators*, 136.
- 20) Lotfian, Rahmat. (2015). *Change detection and predication of urban development in Kashan region using CA-Markov and GEOMOD method*. Master's thesis of environmental. Isfahan university of technology. [In Persian].
- 21) Mahmoudzadeh, Hasan; Abedini, Asghar; Aram, Farshid. (2022). Urban growth modeling and landuse /land-cover change analysis in a metropolitan area (case study:Tabriz). *Journal of land*, 11(2162), 1-17.
- 22) Mahmoudzadeh, Hasan; Ranjbar, Amir Masoud. (2018). Application of LTM for modeling of physical development of the Ilkhichi city. *Journal of Human geography research*, 50 (1), 35-53. [In Persian].
- 23) Matthews, R. B.; Gilbert, N. G.; Roach, A.; Polhill, J. G.; Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: a review of applications. *Journal of Landscape ecol*, 22 (10), 1447-1459.
- 24) McDonald, R. I.; Urban, D. L. (2011). Spatially varying rules of landscape change: Lessons from a case study. *Journal of Landscape and urban planning*, 46 (1), 4–31.
- 25) Molaei, Mohammad; Meshkini, Abolfazl; Khavarian, Amirreza. (2016). Trends of urban sprawl and sustainable spatial development planning (case study: Region 2 in Tehran city). *Journal of Sustainable architecture and urbanism*, 4 (2), 43-54. [In Persian].
- 26) Naqsh Jahan Pars Consulting Engineers. (2014). *Revision plan of the detailed plan of Isfahan city, study report and plan*. Urbanism and architecture deputy of Isfahan municipality. [In Persian].
- 27) Naqsh Jahan Pars Consulting Engineers. (2018). *The zoning document of the Isfahan city boundary*. Urbanism and architecture deputy of Isfahan municipality. [In Persian].
- 28) Omrani, Hichem; Helbich, Marco; Pijanowski, Bryan. (2019). The land transformation model-cluster framework. *Journal of Environmental modelling & software*, 111. 182-191.
- 29) Pijanowski, Bryan; Brown, D.G.; Shellito, B.A.; Manik, G.A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Journal of Computers, Environment and Urban Systems*, 26 (6), 553-575.
- 30) Rahimi, Akbar. (2013). *Evaluation and modeling urban physical and spatial structure with special reference to in-fill development (case study: Tabriz metropolitan)*. PhD thesis of geography and urban planning. University of Tabriz. [In Persian].
- 31) Rahimi, Akbar. (2014). Modeling of Tabriz expansion in 2031 using LTM. *Journal of Urban ecology researches*, 5 (2), 99-110. [In Persian].
- 32) Rahimi, Akbar; Sadrmosavi, Mirsatar; Pourmohamadi, Mohamadreza. (2015). An analysis of urban landuse changes in Tabriz using LTM, *journal of geography and planning*, 19(54),189-209. [In Persian].
- 33) Rahimi, Kamran. (2017). *Simulation and evaluation of city expansion using artificial neural network (case Study: Tehran)*. Master's thesis of remote sensing and geographical information system. kharazmi university of Tehran. [In Persian].
- 34) *Statistics of Isfahan city*. (2017). Isfahan municipality. [In Persian].
- 35) Tayyebi, Amin; Pijanowski, Bryan. (2014). Modeling multiple land use changes using ANN, CART and MARS. *International Journal of Applied earth observation and geoinformation*, 28, 102-116.
- 36) Theobald, D.M.; Hobbs, N.T. (1998). Forecasting rural land-use change: A comparison of regression and spatial transition-based models. *Journal of geographical and environmental modeling*, 2(1), 65–82.
- 37) Wang, Junye; Bretz, Michael; Dewan, Ali Akber; Aghajani, Mojtaba. (2022). Machine learning in modelling land-use and land cover-change (LULCC): Current status, challenges and prospects. *Journal of Science of The Total Environment*, 822.
- 38) Zanganeh, Saeed; Omidipour, Morteza. (2018). Urban expansion and physical development simulation using fuzzy cellular automata (case Study: Ahwaz). *Journal of Geography and environmental studies*, 7(27), 77-92. [In Persian].
- 39) Zhang, Yuzhi; Kwan, Mei-Po; Yang, Jun (2023), A user-friendly assessment of six commonly used urban growth models. *Journal of Computers, Environment and Urban Systems*, 104.
- 40) Zivkovic, Z.; Mihajlovic, I.; Nikolic, D. (2009). Artificial neural network method applied on the nonlinear multivariate problems. *Serbian journal of Management*, 4 (2), 143-155.