

The Journal of Spatial Planning & Geomatics

Research Paper

Urban Growth Boundary Simulation for Isfahan Metropolitan Area: A 2050 Perspective

Hashem Dadashpoor^{1*}, Ashkan Aryan²,
Hossein Shafizadeh Moghadam³

1. Associate Professor in Urban and Regional Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. M. A. in Regional Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor in Water Resources Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 2024/09/28
Revised: 2024/12/05
Accepted: 2024/12/11

ABSTRACT

Urban growth boundaries are regarded as pivotal instruments for regulating and overseeing the spatial development of urbanized regions. The rampant and unregulated proliferation within these areas has emerged as a significant obstacle for urban and regional planners and administrators, as this phenomenon results in the degradation of agricultural lands and depletion of natural resources. The objective of this study is to model and evaluate prospective alterations in growth boundaries within the Isfahan metropolitan region, with the intention of safeguarding environmental resources and managing spatial expansion. In this context, a positivist methodology was employed, characterized by an analytical and quantifiable approach, utilizing satellite imagery to examine alterations in the spatial expansion of the Isfahan metropolitan area. Artificial neural networks and advanced machine learning algorithms were utilized to forecast the magnitude of forthcoming physical growth, and the anticipated growth boundaries were outlined. The outcomes of the research reveal that the Isfahan metropolitan area has undergone substantial unregulated expansion, particularly concerning physical development, over recent decades, with the decline of agricultural and natural lands emerging as a critical challenge. According to the simulations conducted, the delineated growth boundaries may function as a potent mechanism for managing and strategizing urban-regional development, thereby averting further deterioration of natural resources and landscapes.

Keywords:

Isfahan Metropolitan Area, Growth Boundaries, Simulation, Satellite Images, Machine Learning, Urban Expansion.

***Corresponding Author:** Associate Professor in Urban and Regional Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<https://orcid.org/0000-0002-2914-3668>

H-dadashpoor@modares.ac.ir

Copyright© 2025, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution- NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

T

Introduction

he swift urbanization and unregulated proliferation of metropolitan regions, particularly within developing nations, have emerged as significant dilemmas in the 21st century. The influx of individuals into urban centers in pursuit of enhanced employment prospects and improved living conditions has culminated in the unstructured and dispersed development of urban locales. The Isfahan metropolitan area exemplifies such expansion, in which the physical growth has substantially outstripped population growth in recent decades, resulting in the degradation of agricultural lands and natural resources. This investigation seeks to simulate and scrutinize the prospective growth boundaries of the Isfahan metropolitan area to facilitate improved management and regulation of this expansion. The principal aim of this research is to assess the trends in growth boundaries and forecast future alterations, thereby promoting sustainable development and the conservation of natural resources.

Research Method

The methodology adheres to a positivist paradigm, emphasizing the analysis of spatial data alongside the application of artificial intelligence methodologies. In the initial phase, spatial data comprising satellite imagery and GIS data from the years 1995, 2008, and 2019 were systematically collected and subjected to analytical scrutiny. These datasets encompass road networks, agricultural land classifications, diverse urban land utilizations, and developmental zones across temporal scales. The data underwent processing utilizing ENVI software, and subsequent to the pre-processing of satellite images, they were categorized within a GIS framework. In the subsequent phase, artificial neural networks (ANN) and machine learning methodologies were utilized to model the dynamics of physical expansion trends. A multi-layer perceptron (MLP) neural network was identified as the primary model for forecasting changes in built-up land through to the year 2050. The model incorporated independent variables such as proximity to agricultural areas, communication infrastructure, and industrial districts to project alterations in built-up regions. The accuracy of the model was corroborated through the application of performance metrics such as the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve and the overall accuracy rate.

Results & discussion

The research findings indicate that the Isfahan metropolitan region has undergone swift and unregulated expansion over the previous decades, particularly within the southeastern and central sectors of the urban landscape. According to the models utilized, this pattern is anticipated to persist at a moderate pace until the year 2050, ultimately achieving a relative state of equilibrium due to various environmental and geographical limitations. Three principal determinants have been recognized as pivotal contributors to this urban proliferation:

1. Proximity (Distance) to agricultural lands: Zones in close proximity to urban centers exhibit a higher likelihood of undergoing conversion into developed areas.
2. Communication networks: The presence of highways and major thoroughfares has significantly influenced the spatial development of diverse locales.
3. Industrial development and workforce migration: The industrial escalation in the southern regions of the metropolitan area has drawn a substantial labor force, resulting in the expedited proliferation of residential zones.

An additional notable finding pertains to the limited efficacy of the existing growth boundaries in safeguarding natural resources. The simulations imply that with the enactment of growth regulation policies, these boundaries could play a vital role in averting further degradation of agricultural lands and in conserving natural resources.

Conclusion

This investigation presents a thorough model along with precise forecasts concerning the prospective growth boundaries for the Isfahan metropolitan region. It illustrates that delineating growth boundaries can function as a potent mechanism for the administration of urban development and the mitigation of unchecked urban sprawl. The analysis has discerned three principal determinants—proximity to agricultural territories, adjacency to communication infrastructures, and the pace of industrial advancement—as the fundamental catalysts of growth in the Isfahan metropolitan area. Furthermore, the findings indicate that the alication of artificial intelligence methodologies and neural network frameworks can enhance the accuracy of simulating physical transformations while facilitating improved planning for sustainable development. Decision-makers and urban planners may leverage the insights derived from this research to formulate more efficacious policies aimed at the conservation of natural resources and the optimized management of urban development.



شبیه‌سازی مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان در افق ۲۰۵۰

هاشم داداشپور^{۱*}، اشکان آریان^۲، حسین شفیع زاده مقدم^۳

۱. دانشیار برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

۲. کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳. استادیار مدیریت منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

آخرین ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

مرزهای رشد یکی از ابزارهای کلیدی برای کنترل و مدیریت توسعه فیزیکی مناطق کلان‌شهری محسوب می‌شود. گسترش بی‌رویه و برنامه‌ریزی نشده در این مناطق به یکی از معضلات اصلی برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری و منطقه‌ای تبدیل شده است، چراکه این فرایند به تخریب اراضی کشاورزی و منابع طبیعی منجر می‌شود. هدف این پژوهش، شبیه‌سازی و ارزیابی تغییرات آینده مرزهای رشد در منطقه کلان‌شهری اصفهان باهدف حفظ منابع زیست‌محیطی و کنترل گسترش کالبدی است. در این راستا، با استفاده از رویکرد اثبات‌گرایی که روندی تحلیلی و سنجش محور را در پیش می‌گیرد به سنجش تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده، میزان تغییرات گسترش کالبدی منطقه کلان‌شهری اصفهان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین‌های یادگیری پیش‌بینی شده است و مرزهای رشد در افق زمانی ۲۰۵۰ نیز ترسیم گردیده است. نتایج یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که منطقه کلان‌شهری اصفهان طی دهه‌های اخیر با گسترش بی‌رویه به‌خصوص در بعد کالبدی مواجه بوده و کاهش اراضی کشاورزی و طبیعی به یکی از چالش‌های اصلی آن تبدیل شده است. بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، مرزهای رشد پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری - منطقه‌ای و جلوگیری از تخریب بیشتر منابع و اراضی طبیعی به کار گرفته شوند.

واژگان کلیدی:

منطقه کلان‌شهری اصفهان، مرزهای رشد، شبیه‌سازی، تصاویر ماهواره‌ای، ماشین یادگیری، گسترش کالبدی.

H-dadashpoor@modares.ac.ir

* نویسنده مسئول

کپی‌رایت © ۲۰۲۵، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (TMU Press). این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قرار دارد. بر اساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.

۱. مقدمه

رشد سریع شهرنشینی و گسترش مناطق کلان‌شهری به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر شناخته شده است. این پدیده به دلیل مهاجرت‌های گسترده به شهرها و کلان‌شهرها به‌منظور دستیابی به فرصت‌های شغلی بهتر، منجر به رشد سریع و بدون برنامه‌ریزی مناطق شهری شده (UN-Habitat, 2020: 47). این رشد سریع جمعیت شهری باعث به وجود آمدن مشکلاتی از قبیل فقر، حاشیه‌نشینی، افزایش قیمت مسکن، کمبود امکانات و خدمات ناکافی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و تراکم در شهرهای بزرگ شده است (رعیتی فرد و همکاران، ۱۴۰۲). امروزه در دنیا توجه خاصی به کنترل تحولات کاربری زمین و پوشش سطح زمین شده که بیشتر به‌دلیل تنظیم سیاست‌های مربوط به کاربری اراضی بوده است (آذری و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۲۲). مناطق کلان‌شهری با گسترش بی‌رویه و پراکنده، به‌ویژه در حومه‌ها، با معضلات فراوانی مانند کاهش کاربری اراضی کشاورزی-باغداری و تخریب منابع طبیعی روبرو هستند. این گسترش افقی و پراکنده، نه‌تنها سبب افزایش مصرف اراضی می‌شود، بلکه باعث تخریب منابع اکولوژیکی نیز می‌گردد (شرفی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۹). منطقه کلان‌شهری اصفهان یکی از نمونه‌های بارز این نوع گسترش بی‌رویه است که در دهه‌های اخیر با سرعتی بیشتر از رشد جمعیت، مرزهای کالبدی خود را توسعه داده و با مشکلات زیست‌محیطی گسترده‌ای مواجه شده است. گسترش بی‌برنامه و لجام‌گسیخته مناطق کلان‌شهری، پیامدهایی مانند از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، افزایش ترافیک، تخریب اراضی طبیعی، افزایش آلودگی هوا و کاهش فضای سبز را به دنبال دارد. این روند در کشورهای درحال توسعه شدیدتر است و چالش‌های جدی را برای مدیریت شهری به وجود آورده است (محمود زاده و نوازی، ۱۳۹۷: ۳۶). روند گسترش و تغییرات و شناخت عوامل موثر و نتایج آن می‌تواند موجب شناخت منطقی، فهم، تحلیل مسائل پویا و متغیر شهر شود و به‌عنوان ابزاری در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان شهری برای پیش‌بینی روندهای آینده و در نهایت مدیریت کارآمد گردد (شیخی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۴۲). یکی از مهم‌ترین ابزارهایی که به‌منظور مهار این گسترش ناهماهنگ استفاده می‌شود، سیاست‌های مهار رشد کالبدی و تعریف مرزهای رشد برای مناطق شهری و کلان‌شهری است. این سیاست‌ها شامل ایجاد محدودیت‌های فضایی برای توسعه، تشویق به توسعه درونی و تراکم افزا و تحمیل هزینه‌های توسعه بر مناطق جدید است (Woo & Goldmann, 2014: 3). در منطقه کلان‌شهری اصفهان نیز، نبود برنامه‌ریزی هوشمند و سیاست‌های کنترل گسترش، سبب شده تا این منطقه به‌سرعت و به‌طور ناهماهنگ گسترش یابد. این امر باعث تخریب زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی ارزشمند در اطراف کلان‌شهر شده است. بر اساس مطالعات داداش‌پور و جهانزاد (۱۳۹۸)، توسعه ناپایدار و پراکنده‌رویی در مناطق کلان‌شهری، نیازمند ایجاد برنامه‌ریزی‌های جامع و سیاست‌های پایدار است تا از تخریب بیشتر محیط‌زیست و منابع اکولوژیکی جلوگیری شود. علاوه بر این، روند رشد نامتناسب و عدم کنترل توسعه کالبدی، باعث افزایش حاشیه‌نشینی و کاهش کیفیت زندگی در این منطقه شده است. پژوهش‌های بین‌المللی نیز بر اهمیت سیاست‌های مهار رشد برای کنترل توسعه پراکنده و افزایش کارایی مدیریت شهری تأکید دارند.

آمایش فضا و ژئوماتیک

به‌عنوان نمونه، مطالعات طبیعی و پژوهشی^۱ (۲۰۱۱) در دو پژوهش همسو با یکدیگر در منطقه کلان‌شهری تهران با استفاده از فناوری‌های GIS و شبکه‌های عصبی مصنوعی، توانسته‌اند مدل‌های شبیه‌سازی رشد شهری در منطقه کلان‌شهری را ارائه دهند. این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و تحلیل داده‌های محیطی می‌تواند به بهبود مدیریت شهری - منطقه‌ای و پیش‌بینی مرزهای رشد کمک به سزایی داشته باشد. در این راستا، تحقیق حاضر باهدف بررسی روند گسترش مرزهای رشد در منطقه کلان‌شهری اصفهان و شناسایی عوامل محرک این توسعه انجام شده است، تا بتوان با پیش‌بینی میزان تغییرات گسترش بافت کالبدی منطقه مرزهای رشد بر اساس ساختار و قواعد مشخص آن برای زمان آتی منطقه تعریف گردد. این تحقیق در پی پاسخ به این سؤالات اصلی است: روند گسترش و رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان در دهه‌های گذشته چگونه بوده است؟ تغییرات مرزهای رشد در منطقه کلان‌شهری اصفهان بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده چگونه خواهد بود؟ کدام عوامل محرک بیشترین تأثیر را بر گسترش این منطقه کلان‌شهری دارند و تأثیر آن‌ها به چه میزان است؟ برای پاسخ به سؤالات مطرح‌شده، از تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی کاربری اراضی در نرم‌افزار ENVI استفاده شده و همچنین از ابزارهای تحلیل داده‌های فضایی همچون GIS و IDRISI برای شبیه‌سازی تغییرات مرزهای رشد در آینده بهره گرفته شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند به ایجاد یک مدل جامع برای مدیریت مرزهای رشد و برنامه‌ریزی هوشمند در منطقه کلان‌شهری اصفهان منجر شود و به‌عنوان الگویی برای سایر مناطق کلان‌شهری کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲. پیشینه و چارچوب نظری

رشد و گسترش شهری - منطقه‌ای یک فرآیند مکانی-زمانی پیچیده است که در سطح جهانی به دلیل افزایش نرخ جمعیت شهری، گسترش سازمان‌یافته شهری و توسعه اقتصادی و زیرساختی رخ می‌دهد (Ismail et al., 2018: 1). در تعریف دیگری این‌گونه بیان می‌شود که به‌مرور زمان روند رشد جمعیت نتیجه‌ای را به همراه دارد که به آن توسعه و گسترش فیزیکی شهرها و مناطق کلان‌شهری گفته می‌شود (جلالیان و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۴). گسترش شهری - منطقه‌ای^۲ یکی از پیچیده‌ترین و بحرانی‌ترین موضوعات مدیریت شهری در جهان امروز است. با افزایش جمعیت شهری و توسعه اقتصادی، فرآیندهای پیچیده‌ای به‌ویژه در کلان‌شهرها شکل می‌گیرد که مستلزم مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق است. گسترش شهری باعث تغییرات عمده در کاربری زمین و الگوهای رشد شهری در کلان‌شهرها شده است. درحالی‌که رشد شهری در این مناطق پدیده‌ای شناخته‌شده است، روندها و الگوی فضایی رشد و نیروهای محرک آن هنوز نسبتاً ناشناخته هستند (Dadashpoor & Azizi, 2019). ازاین‌رو روند مدیریت و کنترل رشد شهری با ارائه ضوابط و برنامه‌ریزی‌های مشخصی محدود کردن رشد شهرها را در نظر دارد و در مفهومی تحت عنوان مهار رشد شهری به میان می‌آید که به معنا و مفهوم کنترل و مدیریت گسترش بافت کالبدی و مناطق کلان‌شهری اطلاق می‌شود و قصد در محدود ساختن رشد بی‌رویه شهرها دارد (Long et al., 2011). این نوع روند کنترل رشد لجام‌گسیخته شهرها و مناطق کلان‌شهری شامل سیاست‌های

^۱ Tayyebi & Pijanowski

^۲ Urban Expansion

مدون و یکپارچه است که شامل انواع ابزارهای اجرایی، اعم از مرزهای رشد شهری و مناطق خدمات شهری تا تعیین کمربند سبز^۱ است که توسعه خارج از مرز تعیین شده را محدود می‌کند (Aytur et al., 2008). کمربند سبز که به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از روند مدیریتی مهار رشد به حساب می‌آید در جهت حفاظت دائمی از فضای باز و منابع طبیعی استفاده می‌گردد و تغییر در مرزهای آن‌ها غیرمعمول است. هیچ توسعه‌ای در منطقه‌ای که تحت عنوان کمربند و یا مرز منطقه در نظر گرفته می‌شود مجاز نیست. یکی دیگر از ابزارهای کلیدی که برای مهار و هدایت این میزان گسترش به کار گرفته می‌شود، مرزهای رشد شهری - منطقه‌ای است، این مرزها به‌عنوان خطوطی تعریف می‌شوند که در آن‌ها توسعه شهری باید متمرکز شود و خارج از این مرزها، توسعه‌ای نباید صورت گیرد تا از گسترش بی‌رویه شهری و تخریب اراضی کشاورزی و منابع طبیعی جلوگیری شود. درواقع مرزهای رشد^۲ یک سیاست مدیریت رشد است که مناطق خاصی را تعیین می‌کند که رشد باید در آن‌ها متمرکز شود تا از گسترش شهری و رشد بی‌رویه جلوگیری شود. هدف از چنین مرزی حفاظت از زمین‌های کشاورزی، فضاهای باز و محیط طبیعی و همچنین استفاده کارآمدتر از زیرساخت‌های موجود و خدمات عمومی است (Harig et al., 2021). مرزهای رشد، تلاشی برای کنترل پراکنده‌رویی^۳ شهری و کالبدی است؛ به‌گونه‌ای که مکان‌های درون مرز را برای استفاده در تراکم‌های بالای توسعه‌ی شهری و مکان‌های خارج مرز را برای توسعه کم تراکم در نظر می‌گیرد در واقع، مرز رشد شهری خطی است که در نقشه، جهت نشان دادن محدوده بین زمین‌های دارای توسعه متمرکز و زمین‌هایی با توسعه کم تراکم ترسیم می‌شود (شرفی و خمر، ۱۳۹۵). در همین راستا تعیین مرزهای رشد شهری و منطقه‌ای به‌عنوان یک رویکرد مطرح می‌شوند که تأثیر مؤثری بر روند محدود کردن گسترش بی‌رویه بافت کالبدی شهرها و مناطق کلان‌شهری دارد تا در راستای هدف خود یعنی رسیدن به توسعه پایدار شهری قدم بردارد و به‌عنوان یک ابزار مؤثر در جهت جلوگیری از گسترش شهری عمل می‌کند و به ترویج شکل فشرده شهری - منطقه‌ای می‌پردازد (Liu & Wei, 2022). بسیاری از شهرهای جهان سیاست‌های مهار شهری را به‌عنوان ابزاری برای هدایت توسعه منظم شهری و حفاظت از فشرده‌گی ارائه داده‌اند. کمربندهای سبز، مرزهای رشد شهری و مرزهای خدمات شهری شیوه‌های رایج در مدیریت و کنترل رشد را دربر بگیرند (Long et al., 2013). اگرچه مفهوم مرزهای رشد و مهار رشد در کشورهای توسعه‌یافته و در کشورهای درحال توسعه یکسان به نظر می‌رسد، اما باید به این نکته توجه داشت که برنامه‌ریزی و اجرای مرزهای رشد برای کشورهای درحال توسعه نیازمند رویکردهای متفاوتی در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته است، به‌ویژه به دلیل تفاوت در ماهیت گسترش و رشد که در این کشورها مشاهده شده است. بر این اساس برای کشورهای توسعه‌یافته، مانند آمریکا، پراکندگی شهری تا حد زیادی با توسعه غیرمسکونی و کم تراکم مشخص شده است، و مرزهای رشد برای محدود کردن این نوع گسترش استفاده شده است. در مقایسه، برای کشورهای درحال توسعه، گسترش شهری، به‌ویژه در اطراف کلان‌شهرها و شهرهای نوظهور، با گسترش مناطق متراکم و متراکم ساخته‌شده روبه‌رو هستیم، که معمولاً از اراضی غیررسمی و حاشیه‌نشین تشکیل شده است. درواقع تفاوت در نوع گسترش که خود دلایلی

¹ Green Belt² Growth Boundary³ Sprawl

در ساختار خود دارد همچون اشتغال، فرهنگ، بازار، اجتماع و... می‌تواند روند مرزهای رشد را تغییر دهد. در مجموع مرزهای رشد^۱ با توجه به هر منطقه با ساختار خاص خود متفاوت است (Bajracharya & Sultana, 2022). بر همین اساس گسترش‌های بی‌رویه باعث شده در سال‌های اخیر مفاهیمی همچون مرزبندی رشد مناطق و مهار رشد بیشتر مورد توجه برنامه‌ریزان و صاحب‌نظران قرار گیرد، زیرا با افزایش تراکم جمعیتی در سرتاسر جهان و گسترش بی‌رویه مراکز شهری و مناطق کلان‌شهری و توسعه فیزیکی مرزها و رشد لجام‌گسیخته بعد کالبدی مناطق کلان‌شهری باعث شده تا اهمیت مرزهای رشد بیشتر شود، و ضرورت اجرای آن به‌گونه‌ای است که در کنار تمامی برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای باید مورد تحلیل قرار گیرد. در آخر توجه به مفهوم منطقه کلان‌شهری و همسویی آن با ساختار مرزهای رشد به‌ویژه در دنیای امروز که با چالش‌های متعددی نظیر گسترش بی‌رویه، آلودگی و فشارهای اجتماعی مواجه است، ضروری است. این مفهوم (مرزهای رشد) به ما کمک می‌کند تا درک بهتری از الگوهای رشد و توسعه شهری داشته باشیم و راهکارهایی برای مدیریت بهینه این فرآیندها ارائه دهیم. به‌ویژه، در کشورهایی مانند ایران که با رشد سریع جمعیت و چالش‌های زیست‌محیطی مواجه‌اند، این مفهوم می‌تواند به‌عنوان یک ابزار راهبردی در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری به کار گرفته شود.

پژوهش حاضر با هدف بررسی و تحلیل روند و جهت گسترش کالبدی منطقه کلان‌شهری اصفهان انجام گرفته است. گسترش بی‌رویه این منطقه به‌ویژه در سال‌های اخیر، ضرورت توجه به تعیین و کنترل مرزهای رشد شهری را بیش از پیش نمایان ساخته است. فقدان مدیریت کارآمد و برنامه‌ریزی مناسب در این حوزه می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی گسترده‌ای را در پی داشته باشد. از این‌رو، در این پژوهش با واکاوی عوامل محرک مؤثر بر گسترش کالبدی، و با اتکا به اصول و قواعد علمی مطرح‌شده در زمینه مرزهای رشد، اقدام به ترسیم و تحلیل این مرزها شده است. بر اساس مبانی نظری مطرح‌شده، ابتدا ساختار و سازوکار مرزهای رشد و سیاست‌های مهار توسعه مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه بر اساس اهداف و سؤال‌های مطرح‌شده به روش‌شناسی و یافته‌های پژوهش ارائه می‌شود.

۳. روش پژوهش

اساس اهداف و ماهیت پژوهش، پارادایم اثبات‌گرایی در این مقاله به کار گرفته شده است. این پارادایم بر شناخت تجربی و مشاهده‌ای تأکید دارد اثبات‌گرایان معتقدند که برای دستیابی به دانش معتبر، روش‌شناسی باید بر تجربه و مشاهده استوار باشد، و در علوم اجتماعی نیز گرایش وجود دارد که از روش‌های علوم طبیعی الگو گرفته شده و نتایج تجربی به صورت تشریح و تحلیل ارائه شوند (گائینی و امیرحسین‌زاده، ۱۳۹۱). بر همین اساس ابتدا داده‌های مکانی در این پژوهش آماده‌سازی می‌گردد که عمدتاً شامل داده‌های فضایی می‌شوند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های GIS در قالب شیپ فایل‌های مختلف در دوره‌های زمانی ۱۹۹۵-۲۰۰۸-۲۰۱۹ منطقه کلان‌شهری اصفهان و شبکه راه‌ها - نقاط ارتفاعی - مراکز سکونت - پهنه‌های کاربری از مراکز آمار و سازمان نقشه‌برداری دریافت شده و تهیه گردیده است و عکس‌های ماهواره‌ای که رشد مناطق را در بازه‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد استخراج گردیده

¹Urban Growth Boundary

است. در ادامه با کمک نرم‌افزار ENVI داده‌های مورد نیاز مستخرج شده از تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده^۱ و بر اساس ساختار و اصول سنجش از راه دور مرحله پیش‌پردازش و پردازش بر روی این تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌پذیرد. در این پژوهش که به بررسی گسترش کالبدی و ترسیم مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان می‌پردازد، شاخص‌های پژوهش به‌عنوان معیارهای اصلی برای تحلیل داده‌ها و دستیابی به اهداف تحقیق انتخاب شده‌اند. این شاخص‌ها در سه دسته کلی مکانی، زمانی و ساختاری قرار می‌گیرند و نقش مهمی در تبیین روند تغییرات و شبیه‌سازی در افق سال ۲۰۵۰ منطقه کلان‌شهری اصفهان ایفا می‌کنند.

شاخص‌های مکانی: این دسته شامل ویژگی‌ها و پارامترهای جغرافیایی است که بر روند گسترش کالبدی منطقه تأثیر می‌گذارند، این شاخص‌ها عبارت‌اند از:

شبکه راه‌ها: به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محرک گسترش، فاصله و نزدیکی به راه‌های ارتباطی در تحلیل گسترش کالبدی در نظر گرفته شده است. پهنه‌های ارتفاعی: تغییرات توپوگرافی منطقه و ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یکی از عوامل طبیعی محدود کننده یا تسهیل کننده گسترش بررسی شده است. مراکز سکونت: مراکز سکونت: فاصله و پراکندگی مراکز سکونت موجود به‌عنوان متغیری کلیدی برای پیش‌بینی روند توسعه در آینده به کار گرفته شده است. پهنه‌های کاربری اراضی: انواع کاربری‌های موجود (مانند مسکونی، کشاورزی، صنعتی) که تأثیر مستقیمی بر روند تغییرات کالبدی دارند، در تحلیل گنجانده شده‌اند.

شاخص‌های زمانی: داده‌های زمانی به‌منظور بررسی تغییرات کالبدی در بازه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند، که شامل این موارد می‌شوند: تغییرات کاربری اراضی در سال‌های (۱۹۹۵، ۲۰۰۸، و ۲۰۱۹): این داده‌ها مبنای تحلیل روند تغییرات و مقایسه بین دوره‌های مختلف هستند. پیش‌بینی تغییرات در سال‌های (۲۰۳۰، ۲۰۴۰، ۲۰۵۰): این شاخص برای پیش‌بینی روند تغییرات کالبدی و شبیه‌سازی آینده منطقه به کار رفته است.

شاخص‌های ساختاری: این شاخص‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل در فرآیند شبیه‌سازی و پیش‌بینی گسترش کالبدی استفاده شده‌اند، میزان فاصله از کاربری‌های اصلی و تأثیر گذار بر روند رشد کالبدی و فاصله از پهنه‌های ساخته‌شده فعلی، که نقشی کلیدی در تعیین روند گسترش ایفا می‌کند. این شاخص‌ها در کنار داده‌های استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های نرم‌افزارهای ENVI، Terrset، GIS مبنای اصلی شبیه‌سازی تغییرات و تحلیل مرزهای رشد منطقه قرار گرفته‌اند. انتخاب این شاخص‌ها به گونه‌ای انجام شده است که تمامی عوامل کلیدی مؤثر بر گسترش کالبدی را پوشش داده و امکان پیش‌بینی دقیق روند تغییرات در آینده را فراهم کنند.

در این پژوهش برای تحلیل روند گسترش کالبدی منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای سری Landsat در سه مقطع زمانی استفاده شده است. این تصاویر از وب‌سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)^۲ استخراج و به‌عنوان داده‌های پایه در نرم‌افزارهای GIS و ENVI به‌کار گرفته شده‌اند. انتخاب این تصاویر با توجه به قابلیت تفکیک مکانی ۳۰ متر و پوشش زمانی مناسب صورت گرفته تا امکان مقایسه و شبیه‌سازی تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف

1 Maximum likelihood Classification

2 United States Geological Survey

فراهم شود. مشخصات فنی این تصاویر شامل نوع سنسور، سال اخذ تصویر و دقت مکانی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده از سایت USGS (مطالعات پژوهشگر)

Table 1. Specifications of satellite images extracted from the USGS site (Research studies)

کیفیت (دقت پیکسلی-فضایی)	منبع داده (سنسور)	تاریخ تصاویر
۳۰ متر	LANDSAT 5/6 (TM)	۱۹۹۵
۳۰ متر	LANDSAT 7 (ETM ⁺)	۲۰۰۸
۳۰ متر	LANDSAT 8 (OLI)	۲۰۱۹

در ادامه پس از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استخراج داده‌های طبقه‌بندی شده در نرم افزار ENVI 5.3 عوامل محرک اصلی بر اساس میزان تغییرات در بازه ۳۰ ساله مشخص می‌گردد و از آن‌ها به عنوان متغیر مستقل در روند شبیه سازی میزان تغییرات گسترش در جهت ترسیم مرزهای رشد استفاده می‌گردد. در مرحله نهایی با استفاده از ساختار و کلیت ماشین‌های یادگیری و شبکه عصبی مصنوعی جهت شبیه سازی و تحلیل مرزهای رشد مورد استفاده قرار می‌گیرد، درواقع شبکه عصبی مصنوعی^۱ نشانگر یکی از روندهای ساختاری یا تکنیک‌های ماشین یادگیری^۲ به حساب می‌آید که به طور مؤثری در مدل سازی و علم تغییرات زمین و گسترش آن استفاده می‌شود (Shafizade-moghadam, et al., 2017). شبکه‌های عصبی مصنوعی از نظر توپولوژی، ساختار و روش‌های یادگیری به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند و هر یک در کاربردهای خاص عملکرد مطلوبی دارند. در این میان، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با روش یادگیری انتشار وارونه به عنوان یکی از متداول ترین و پرکاربردترین شبکه‌ها شناخته می‌شود. این شبکه قادر است سیستم‌های غیرخطی را مدل سازی و شبیه سازی کرده و با تقسیم داده‌ها به دو بخش آموزشی و عملکردی، در چارچوب یادگیری ماشین به شبیه سازی پدیده‌ها پردازد (اسکوئی، ۱۳۸۱: ۷۳).

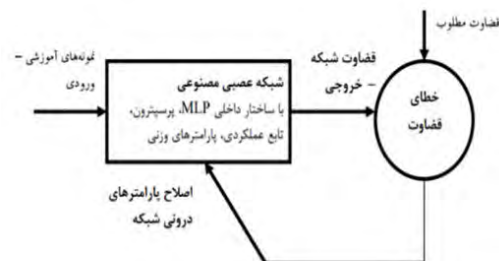
در پژوهش حاضر به منظور پیش بینی و شبیه سازی تغییرات، از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده شده است. شکل (۱) ساختار کلی فرآیند آموزش این شبکه را نشان می‌دهد. در این ساختار، ورودی‌های شبکه (از جمله شاخص‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای یا داده‌های آموزشی) پس از ورود به شبکه و عبور از لایه‌های پنهان بر اساس تابع عملکردی تعریف شده پردازش می‌شوند. خروجی شبکه بیانگر مقدار پیش بینی شده متغیر وابسته است. تفاوت بین خروجی شبکه و مقادیر واقعی (هدف) به عنوان خطای شبکه محاسبه می‌شود و این خطا برای اصلاح پارامترهای درونی (وزن‌ها و بایاس‌ها) شبکه به کار می‌رود. این فرآیند تکرار می‌شود تا زمانی که خطای پیش بینی به حداقل برسد و شبکه به دقت مطلوب دست یابد.

¹ Artificial Neural Network

² Machine Learning

شکل ۱. یادگیری و تست در ساختار شبکه عصبی مصنوعی (اسکویی، ۱۳۸۱: ۷۳)

Figure 1. Learning and testing in artificial neural network structure (Oskoei, 2002)



مدل مفهومی پژوهش در چهار مرحله اصلی طراحی شده است: ۱- داده‌های ورودی: داده‌های مکانی و زمانی شامل تصاویر ماهواره‌ای، شیب‌فایل‌ها و متغیرهای مستقل مرتبط با تراکم و فاصله کاربری‌ها. ۲- پردازش و تحلیل داده‌ها: شامل پردازش تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی کاربری‌ها و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی با استفاده از نرم‌افزارهای (Terrset, ENVI). ۳- شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند: شبیه‌سازی تغییرات کالبدی در بازه‌های زمانی مختلف با استفاده از مدل تغییر زمین، شبکه عصبی مصنوعی، و زنجیره مارکوف انجام می‌گیرد. ۴- خروجی شبیه‌سازی و ارزیابی: تولید نقشه‌های پیش‌بینی‌شده، ارزیابی دقت مدل با استفاده از معیارهای 'ROC' و تحلیل روند گسترش کالبدی منطقه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS صورت گرفته است.

در نهایت به اعتبارسنجی میزان دقت مدل بر اساس معیارهای ROC و ماتریس مدل پرداخته می‌شود. پس از پایان شبیه‌سازی و استخراج تصاویر پیش‌بینی‌شده در بازه زمانی ۱۰ تا ۳۰ ساله در نرم‌افزار GIS به تحلیل میزان تغییرات و ترسیم مرزهای رشد پرداخته می‌شود و در جمع‌بندی بخش روش‌شناسی مراحل پیاده‌سازی مدل مرحله‌به‌مرحله ذکر می‌گردد که نتایج آن در بخش‌های آتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مراحل شامل: ۱. اعتبارسنجی کاربری ساخته‌شده بر اساس داده‌های سال پایه. ۲. پیش‌بینی نقشه احتمال تغییر گسترش برای کاربری ساخته‌شده. ۳. پیش‌بینی گسترش کاربری ساخته‌شده. ۴. مرزبندی پهنه‌های کالبدی پیش‌بینی شده در نرم‌افزار ArcGIS. با توجه به ۴ مرحله ذکرشده در این پژوهش ۳ مرحله اول با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل تغییر زمین در نرم‌افزار Terrset انجام می‌گیرد (مرحله اول: مدل تغییر زمین. مرحله دوم شبکه عصبی مصنوعی و ماشین یادگیری و مرحله سوم مدل تغییر زمین و زنجیره مارکوف) و مرحله پایانی با استفاده از نرم‌افزار GIS مرزهای رشد تعیین می‌گردد. در این پژوهش، مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان در یک بازه زمانی ۳۰ ساله شبیه‌سازی شد. به این منظور، ابتدا تغییرات کالبدی (ساخته‌شده) در دوره‌های زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۸ تحلیل گردید و بر اساس این تغییرات، وضعیت کالبدی سال ۲۰۱۹ پیش‌بینی شد. نتایج پیش‌بینی با وضعیت کالبدی واقعی سال ۲۰۱۹ مقایسه و همپوشانی شدند تا دقت مدل تعیین گردد. برای اعتبارسنجی، نقشه شبیه‌سازی شده با تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۹ مطابقت داده شد و صحت مدل ارزیابی شد.

¹ Receiver Operating Characteristic

به گونه‌ای که قابلیت پیش‌بینی مدل و پایایی نتایج مشخص می‌گردد.

در گام بعد، میزان تغییرات دوره زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ بررسی شد تا تغییر اراضی ساخته‌نشده به اراضی ساخته‌شده در سه دوره زمانی ده‌ساله ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ پیش‌بینی شود. تمامی مراحل پردازش داده‌ها و تحلیل‌ها در نرم‌افزارهای TerrSet و ArcGIS انجام شد. برای انجام شبیه‌سازی، متغیرهای مستقل موثر بر رشد کالبدی استخراج شدند و شاخص‌هایی مانند تراکم و فاصله‌ها محاسبه گردید تا به‌عنوان داده‌های ورودی در مدل شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گیرند. این متغیرها در نرم‌افزار GIS تهیه و در قالب فرمت ASCII به محیط TerrSet منتقل شدند. شبیه‌سازی رشد کالبدی با استفاده از ماشین یادگیری و شبکه عصبی مصنوعی چندلایه (MLP) انجام شد و با ارزیابی خطا در نرم‌افزار TerrSet، مدل با بالاترین دقت انتخاب گردید.

در نهایت، نتایج شبیه‌سازی شامل نقشه‌های رشد کالبدی و میزان تغییرات در بازه ۳۰ ساله جهت تعیین مرز و روند گسترش منطقه کلان‌شهری ارائه شد. بر اساس داده‌های طبقه‌بندی‌شده و تعیین کلاس‌های کاربری، میزان تغییرات کاربری‌ها و رشد مساحت بافت کالبدی بررسی شد. همچنین، با استفاده از دستور Crosstab در نرم‌افزار TerrSet، تغییرات کاربری‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹، به‌ویژه تبدیل سایر کاربری‌ها به کاربری ساخته‌شده، مورد تحلیل قرار گرفت.

۴. معرفی عرصه مطالعاتی و نمونه

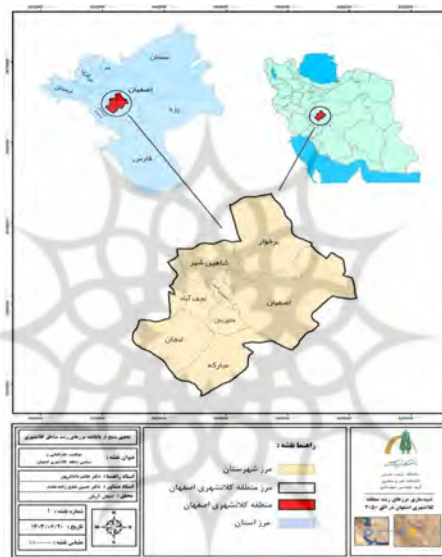
منطقه کلان‌شهری اصفهان یکی از مهم‌ترین مناطق شهری ایران است، که به دلیل موقعیت جغرافیایی (شکل ۲) و اقتصادی ویژه خود، طی دهه‌های گذشته شاهد رشد چشمگیری در توسعه فیزیکی و جمعیتی بوده است. این منطقه در طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۲ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی قرار گرفته است. ارتفاع متوسط منطقه بر اساس توزیع خطوط توپوگرافی و مساحت بین این خطوط، برابر با ۱۷۲۰،۱۲ متر از سطح دریاها آزاد است. این داده‌ها نشان می‌دهند که منطقه کلان‌شهری اصفهان به‌طور عمده در بین ارتفاعات ۱۶۰۰ متر تا ۱۷۰۰ متر قرار دارد که ۲۳،۹ درصد از کل مساحت این محدوده را شامل می‌شود. درحالی‌که کمترین وسعت در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر است که تنها ۰،۴۲ درصد از محدوده را تشکیل می‌دهد. (طرح مجموعه شهری اصفهان، ۱۳۸۹:۵) روند توسعه اصفهان از نظر وسعت و جمعیت به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، شهر اصفهان در فاصله سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۷۵ با رشد شش برابری مواجه شده و وسعت آن از ۲۳ کیلومترمربع به ۱۴۱ کیلومترمربع افزایش یافته است. بیشترین افزایش مساحت شهر بین سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۵ رخ داده که در این دوره ۴۵ کیلومترمربع به مساحت شهر افزوده شده است که به علت توسعه صنعتی و شهرهای جدید ساخته شده در اطراف شهر اصفهان، به‌ویژه در بهارستان و فولادشهر است. نرخ رشد سالانه مساحت شهر اصفهان در این دوره به‌طور متوسط ۴،۶ درصد بوده است که نشان دهنده توسعه سریع و فشرده شهری طی این دوره زمانی است. این روند رشد علاوه برافزایش جمعیت، تحت تأثیر توسعه صنعتی گسترده در منطقه قرار گرفته است. استقرار صنایع بزرگ، مانند کارخانه ذوب‌آهن اصفهان، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل محرک رشد اقتصادی

آمایش فضا و ژئوماتیک

و جمعیتی این منطقه شناخته می‌شود. این توسعه صنعتی و جمعیتی، اصفهان را به یکی از مهم‌ترین کلان‌شهرهای ایران تبدیل کرده است که موقعیت خود را به‌عنوان یک مرکز شهری و اقتصادی ملی و منطقه‌ای تثبیت کرده است (عمادزاده، زمانیان، ۱۳۸۰: ۱۳). منطقه کلان‌شهری اصفهان به دلیل رشد سریع اقتصادی، صنعتی و جمعیتی طی سه دهه گذشته، به‌عنوان حوزه مطالعه این پژوهش انتخاب شده است. این منطقه با چالش‌های متعددی از جمله کاهش اراضی کشاورزی، تخریب منابع طبیعی و گسترش نامتناسب بافت مسکونی مواجه است. چنین شرایطی ضرورت مطالعه و تحلیل مرزهای رشد منطقه را توجیه می‌کند، چرا که شناخت این مرزها می‌تواند به مدیریت پایدار توسعه شهری، حفاظت از محیط‌زیست و بهبود کارآمدی زیرساخت‌ها کمک کند.

شکل ۲. نقشه محدوده مورد مطالعه (مطالعات پژوهشگر، منبع: طرح مجموعه شهری اصفهان)

Figure 2. Map of the study area (Research studies)



۵. یافته‌های تحقیق

این بخش از پژوهش به تحلیل یافته‌های مرتبط با گسترش کاربری‌های شهری و مرزهای رشد در منطقه کلان‌شهری اصفهان می‌پردازد. یافته‌ها بر اساس سؤالات و اهداف پژوهش به‌طور سیستماتیک تدوین شده‌اند. در ابتدا میزان تغییرات کاربری اراضی، به‌ویژه کاربری ساخته‌شده، بررسی می‌شود؛ سپس مرزبندی و پیش‌بینی مرزهای رشد و عوامل محرک تأثیرگذار بر این گسترش تحلیل می‌گردد.

۵-۱- تغییرات کاربری و گسترش اراضی ساخته‌شده

نتایج نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹، منطقه کلان‌شهری اصفهان بیش از ۳۳۴ کیلومترمربع از اراضی خود را از سایر کاربری‌ها به کاربری ساخته‌شده تبدیل کرده است. این تغییرات عمدتاً ناشی از رشد جمعیت و توسعه زیرساخت‌های شهری بوده و بر روند ساخت‌وساز و توسعه فیزیکی منطقه تأثیر مستقیم گذاشته است. بر اساس پیش‌بینی‌ها، تا سال ۲۰۳۰ این مقدار به ۴۰۳ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت که حاکی از رشد قابل‌توجه در توسعه شهری است. افزایش اراضی ساخته‌شده مستقیماً با نیازهای مسکن، توسعه شهرهای جدید و افزایش مهاجرت به منطقه

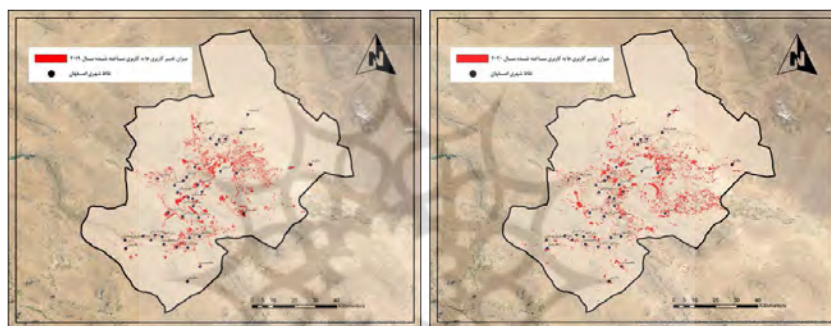
آمایش فضا و ژئوماتیک

کلان‌شهری مرتبط است. چنین گسترشی تأثیر قابل توجهی بر اراضی کشاورزی و منابع طبیعی داشته و منابع آبی و اراضی کشاورزی بیشتری به‌سوی تأمین نیازهای مناطق ساخته‌شده و زیرساخت‌های آن‌ها هدایت شده است. این وضعیت ضرورت مدیریت و کنترل بهینه منابع طبیعی و کشاورزی را برجسته می‌کند.

شکل (۳) نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰ تغییرات گسترده‌ای در مرزهای رشد به‌ویژه در جنوب شرقی و بخش‌های میانی منطقه کلان‌شهری رخ خواهد داد، در حالی که مناطق شمالی و شمال شرقی کمترین تغییرات را تجربه خواهند کرد. در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰، گسترش مناطق ساخته‌شده با شیبی ملایم ادامه یافته و به تدریج به یک تعادل خواهد رسید. دلایل عمده این گسترش سریع شامل افزایش نرخ شهرنشینی، رشد اقتصادی و ایجاد شهرهای جدید است که به‌ویژه در حومه کلان‌شهر اصفهان مشهود می‌باشد. این عوامل منجر به توسعه پهنه‌های ساخته‌شده و رشد پراکنده و چندوجهی منطقه شده‌اند.

شکل ۳. میزان تغییرات گسترش کالبدی بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۳۰ (مطالعات پژوهشگر، منبع: تصاویر ماهواره‌ای لندست)

Figure 3. The amount of changes in physical expansion in the period 2019-2030 (Research studies)



۵-۲- پیش‌بینی مرزهای رشد و تغییرات آن‌ها

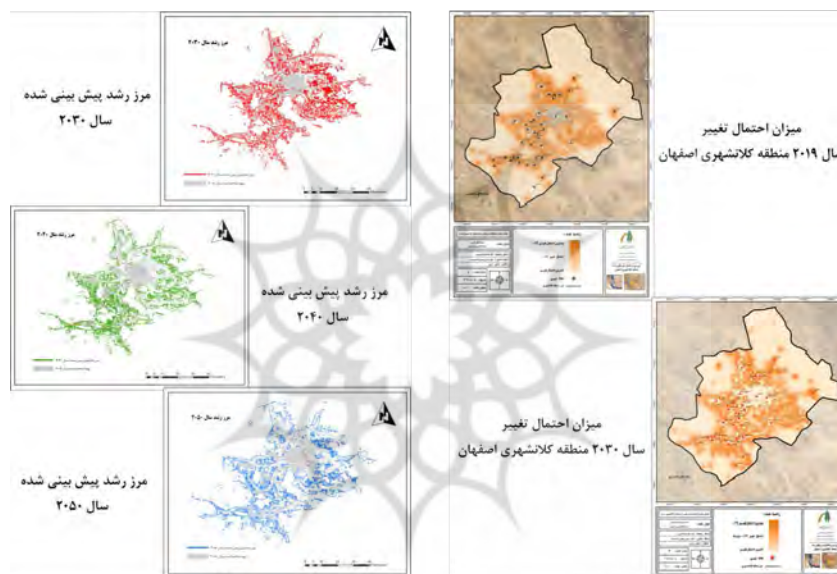
بر اساس مدل‌سازی انجام‌شده، مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰ به تدریج به سمت نوعی تعادل نسبی حرکت خواهد کرد. این تعادل عمدتاً ناشی از اشباع نسبی در توسعه اراضی ساخته‌شده و محدودیت‌های جغرافیایی و محیطی است که مانع از گسترش بی‌رویه می‌شوند و موجب می‌گردند توسعه کالبدی در چارچوبی منظم‌تر و کنترل‌شده‌تر شکل گیرد. نتایج حاصل از شکل (۴) نشان می‌دهد که الگوی توسعه شهری در دوره‌های زمانی مختلف، از ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۰، به صورت تدریجی و پراکنده ادامه یافته است. بیشترین شدت تغییرات در حاشیه شهر اصفهان و در امتداد محورهای ارتباطی اصلی متمرکز بوده و در سال ۲۰۳۰ تراکم تغییرات نسبت به سال پایه ۲۰۱۹ به طور محسوسی افزایش یافته است. در افق‌های بلندمدت‌تر نیز، به‌ویژه در سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰، پدیده گسترش پراکنده و توسعه نامتوازن در نواحی پیرامونی تشدید شده و فشار بیشتری بر منابع زمین و محیط‌زیست وارد می‌کند؛ وضعیتی که ضرورت مداخله‌های سیاستی در هدایت و کنترل توسعه شهری را برجسته می‌سازد. برای درک بهتر روند این تحولات، شکل (۵) مرزهای شبیه‌سازی‌شده را در فاصله زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۵۰ به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. این تصویر امکان مقایسه گذشته و آینده را فراهم کرده و نشان می‌دهد که چگونه مرزهای کلان‌شهر تحت تأثیر فشارهای جمعیتی و کالبدی به تدریج تغییر یافته‌اند. روند ترسیم‌شده

آمایش فضا و ژئوماتیک

در این شکل بیانگر آن است که توسعه از حالت متراکم‌تر در سال‌های ابتدایی به‌سوی الگوی پراکنده‌تر و گسترده‌تر در افق‌های آتی حرکت کرده است. در نهایت، شکل (۶) پهنه‌هایی را مشخص می‌سازد که بیشترین میزان گسترش و تغییر را تجربه کرده‌اند. تحلیل این نقشه نشان می‌دهد که کانون‌های اصلی توسعه عمدتاً در پیرامون شهر اصفهان و در امتداد محورهای ارتباطی شکل گرفته و همین نواحی بیشترین سهم از تحولات فضایی آینده را به خود اختصاص خواهند داد. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی توسعه آینده منطقه کلان‌شهری اصفهان علاوه بر نیروهای جمعیتی و کالبدی، به‌شدت تحت تأثیر محدودیت‌های محیطی و ظرفیت‌های زمین خواهد بود و بدون سیاست‌گذاری هدفمند، تداوم این روند می‌تواند پیامدهای جدی برای پایداری شهری و منطقه‌ای به همراه داشته باشد.

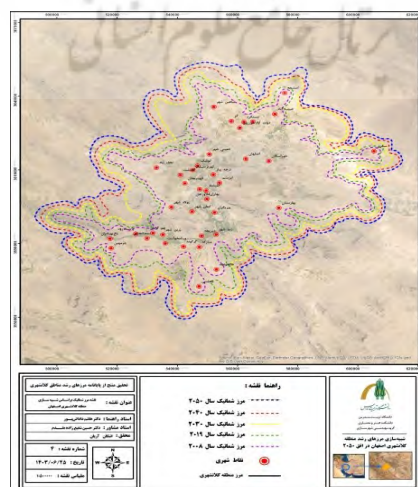
شکل ۴. میزان احتمال تغییر و مرزهای رشد پیش‌بینی شده در بازه ۲۰۱۹-۲۰۳۰ (مطالعات پژوهشگر، منبع: تصاویر ماهواره‌ای)

Figure 4. The probability of change and the growth boundaries predicted in the period 2019-2030 (Research studies)



شکل ۵. مرزهای رشد پیش‌بینی شده شماتیک (مطالعات پژوهشگر، منبع: تصاویر ماهواره‌ای)

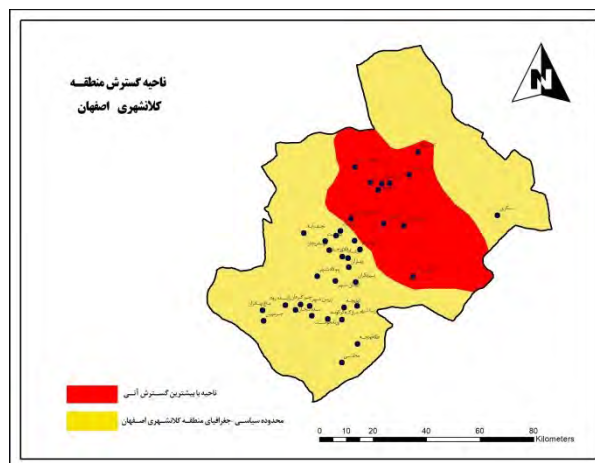
Figure 5. Schematic predicted boundaries (Research studies)



آمایش فضا و ژئوماتیک

شکل ۶. ناحیه با بیشترین گسترش کالبدی در بازه ۲۰۱۹-۲۰۲۳ (مطالعات پژوهشگر، منبع: تصاویر ماهواره‌ای)

Figure 6. The area with the most physical expansion in the period of 203-2019 (Research studies)



۵-۳- شاخص‌های تأثیرگذار بر گسترش مرزهای رشد

شاخص‌هایی که در بخش‌های پیشین به آن‌ها اشاره شد، به‌منزله مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده به روند گسترش مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان شناخته می‌شوند. این شاخص‌ها نه‌تنها مسیر توسعه کالبدی را مشخص می‌سازند، بلکه تعیین می‌کنند که کدام نواحی ظرفیت بیشتری برای جذب جمعیت و فعالیت‌های جدید دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این عوامل در قالب سه دسته کلی قابل تحلیل‌اند و هر یک به‌گونه‌ای خاص بر جهت‌گیری و شدت گسترش کالبدی اثرگذار بوده‌اند. در ادامه، این شاخص‌ها به تفکیک تبیین می‌گردند:

۱. توپوگرافی و ساختار طبیعی منطقه کلان‌شهری: بر اساس تحلیل‌های مکانی و مدل‌های رقومی ارتفاع، مشخص شد که شرایط طبیعی، به‌ویژه شیب و ارتفاع، نقش تعیین‌کننده‌ای در جهت‌دهی به الگوی گسترش کالبدی منطقه دارند. اراضی با شیب ملایم و ارتفاع مناسب، به‌ویژه در نواحی جنوب شرقی و بخش‌های میانی منطقه، بیشترین قابلیت توسعه را دارا بوده‌اند. وجود پهنه‌های گسترده و مستعد توسعه در این نواحی سبب شده است که روند گسترش کالبدی به‌طور طبیعی در این جهت متمرکز گردد.

۲. فاصله از اراضی کشاورزی و باغات: یافته‌های تحلیلی نشان می‌دهند که نزدیکی به اراضی کشاورزی و باغات تأثیر مستقیمی بر افزایش توسعه کالبدی داشته است. این موضوع به دو عامل اصلی وابسته است: نخست، وجود منابع آبی در مجاورت اراضی کشاورزی که امکان تأمین نیازهای زیستی و اقتصادی را فراهم می‌آورد؛ و دوم، ایجاد فرصت‌های شغلی مرتبط با فعالیت‌های کشاورزی. به همین دلیل، توسعه کالبدی عمدتاً در جهت مجاورت با این اراضی صورت گرفته است.

۳. فاصله از اراضی ساخته‌شده و شبکه‌های ارتباطی: یکی دیگر از شاخص‌های مهم در گسترش مرزهای رشد، فاصله از پهنه‌های شهری موجود و میزان دسترسی به شبکه‌های ارتباطی است. نتایج نقشه‌های تحلیلی نشان می‌دهند که نواحی

آمایش فضا و ژئوماتیک

نزدیک‌تر به بافت‌های ساخته‌شده، پتانسیل بیشتری برای توسعه دارند. همچنین، گسترش شبکه‌های حمل‌ونقل و بزرگراه‌ها - به‌ویژه در محور جنوب شرقی منطقه - موجب تسریع در شکل‌گیری شهرها و شهرک‌های جدید شده است. این زیرساخت‌ها علاوه بر تسهیل جابه‌جایی جمعیت و کالا، به ارتقای پیوندهای اقتصادی و صنعتی کمک کرده و به‌طور مستقیم زمینه‌ساز توسعه کالبدی منطقه گردیده‌اند.

۵-۴- صنعت و مهاجرت نیروی کار

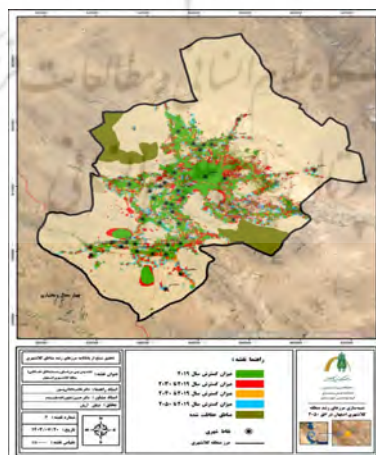
منطقه کلان‌شهری اصفهان به دلیل وجود صنایع بزرگ مانند کارخانه‌های ذوب‌آهن و فولاد، نیروی کار زیادی را به خود جذب کرده است. این مهاجرت، منجر به شکل‌گیری شهرک‌های خوابگاهی و شهرهای جدید در حومه شهرهای اصلی شده و بر روند گسترش کالبدی منطقه تأثیر بسزایی داشته است. به‌ویژه در مناطق جنوب شرقی و جنوب غربی، که نزدیکی به صنایع کلان و ایجاد فرصت‌های شغلی باعث توسعه سریع‌تر این نواحی شده است.

۵-۵- مرزهای رشد و حفاظت از اراضی طبیعی

در راستای حفظ اراضی طبیعی و کشاورزی، مرزهای رشد به‌گونه‌ای تعیین شده‌اند که از تخریب این اراضی جلوگیری شود. شکل (۷) نشان می‌دهد که در مناطق حفاظت‌شده، به‌ویژه در نواحی غربی و جنوب شرقی منطقه کلان‌شهری اصفهان، گسترش کالبدی به‌طور قابل‌توجهی محدود شده است. این مناطق به‌عنوان پهنه‌های حفاظتی در نظر گرفته شده‌اند و مرزهای رشد بر اساس مدل‌سازی‌های هوش مصنوعی به‌گونه‌ای تعیین شده‌اند که از هرگونه توسعه در این نواحی جلوگیری کنند. همچنین، پیش‌بینی مرزهای رشد در این پژوهش بر اساس فاصله امن ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری از اراضی بایر و پهناور با قابلیت توسعه، نشان می‌دهد که گسترش در مناطق غیر حفاظتی بیشتر محتمل است. در شکل (۴) نیز این نکته رعایت گردیده است و مرزهای رشد با رعایت این فاصله امن تعیین شده‌اند تا از فشار بر اراضی کشاورزی و منابع طبیعی جلوگیری شود.

شکل ۷. میزان گسترش کالبدی و مرزبندی بر اساس مناطق طبیعی حفاظتی (مطالعات پژوهشگر)

Figure 7. Physical expansion and demarcation based on natural protection areas (Research studies)



۵-۶- تأثیر عوامل محرک اصلی

منطقه کلان‌شهری اصفهان بر اساس تحلیل شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌سازی از هفت پارامتر کلیدی در تعیین مرزهای رشد استفاده کرده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به توپوگرافی، فاصله از اراضی ساخته‌شده و شبکه‌های ارتباطی

آمایش فضا و ژئوماتیک

اشاره کرد. این پارامترها به طور مستقیم بر روند گسترش کالبدی تأثیر گذاشته اند. به عنوان مثال، فاصله از اراضی ساخته شده و اراضی کشاورزی به عنوان مهم ترین عوامل در مدل سازی مرزهای رشد منطقه کلان شهری اصفهان شناخته شده اند (جدول ۲)، در حالی که عوامل محیطی مانند درصد شیب کمترین تأثیر را در این فرآیند داشته اند. این امر به دلیل ماهیت مسطح اراضی منطقه کلان شهری اصفهان است که اجازه توسعه راحت تر در مناطق مختلف را داده است.

جدول ۲. میزان تأثیر عوامل محرک اصلی منطقه کلان شهری اصفهان (مطالعات پژوهشگر)

Table 2. The impact of the main driving factors of Isfahan metropolitan area (Research studies)

متغیرهای مستقل	رتبه بندی میزان تأثیر	میزان دقت کل متغیر (درصد)
فاصله از شبکه ارتباطی	۳	۷۹,۶
فاصله از اراضی کشاورزی	۲	۷۹,۳
فاصله از اراضی بایر	۵	۸۰
تراکم جمعیتی	۶	۸۰,۱
درصد شیب	۷	۸۰,۲
فاصله از پهنه صنعتی	۴	۷۹
فاصله از اراضی ساخته شده	۱	۶۰

در نهایت میزان دقت مدل سازی پژوهش بر اساس تأثیر چندوجهی عوامل محرکه مورد بررسی قرار می گیرد. بر اساس (جدول ۳) میزان دقت کلی و خطای^۱ RMS مشخص شده است که هرچه مقدار RMS کمتر باشد دقت مدل بالاتر بود و RMS آزمون و یادگیری به هم دیگر نزدیک باشد کیفیت مدل از نظر دقت و صحت در سطح بالایی قرار دارد و هرچه مقدار RMS کمتر گزارش شود به معنی صحت و دقت مدل است، برای منطقه کلان شهری اصفهان طبق سه دوره مطرح شده دقت کلی ۸۰ درصد بوده که نشان از کیفیت بالایی متغیرهای مستقل دارد، که نتیجه آن ترسیم مرزهای رشد با دقت بالا در سطح منطقه کلان شهری اصفهان است.

جدول ۳. میزان دقت مدل سازی مرزهای رشد منطقه کلان شهری اصفهان (مطالعات پژوهشگر)

پارامتر ارزیابی خطا	سال ۲۰۳۰	سال ۲۰۴۰	سال ۲۰۵۰
RMS	۰,۳۷	۰,۳۷	۰,۳۷
ACCURACY RATE	۸۰٪	۸۰,۶٪	۸۰,۳٪
SKILL MEASURE	۰,۶	۰,۶۱	۰,۶
ROC	۰,۹۷	۰,۸	۰,۸

Table 3. Accuracy of modeling growth boundaries of Isfahan metropolitan area (Research studies)

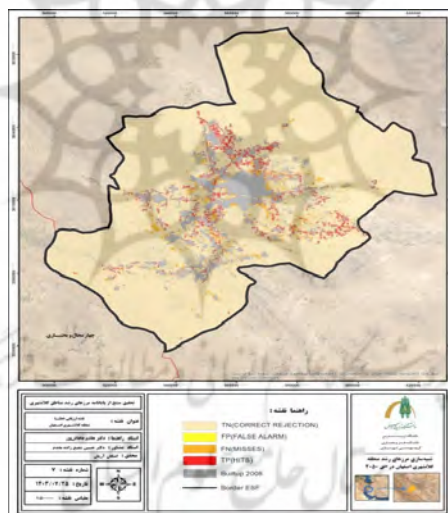
یافته های پژوهش نشان می دهد که منطقه کلان شهری اصفهان به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، صنعتی و اقتصادی خود،

¹ Root Mean Square

شاهد گسترش چشم‌گیری در اراضی ساخته شده بوده است. مرزهای رشد تعیین شده بر اساس تحلیل‌های دقیق و استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی، به‌عنوان ابزاری مؤثر در کنترل این گسترش بی‌رویه عمل کرده‌اند. درنهایت، مرزهای رشد باید به‌گونه‌ای تنظیم شوند که علاوه بر مدیریت توسعه شهری، به حفظ اراضی طبیعی و کشاورزی نیز توجه ویژه‌ای شود. بر اساس مطالعات بخش روش‌شناسی در خصوص خطای ROC^۱ نقشه‌ای تهیه گردیده تا به‌صورت مصور میزان دقت و کیفیت تغییرات را مشخص کند. بر اساس شکل (۸) پهنه‌های قرمز رنگ به‌عنوان پهنه‌های Hits انتخاب شده‌اند، بدین معناست که مدل منطبق با وضع موجود تحلیل و میزان تغییر را در نظر گرفته است. رنگ نارنجی که به‌عنوان Misses انتخاب شده است به‌عنوان خطای مدل و اشتباه مدل در انتخاب آن پهنه به‌عنوان پهنه ساخته شده مشخص می‌گردد، خطا رد صحیح^۲ که به‌عنوان مثبت کاذب مشخص می‌گردد، در واقع مدل دچار تشخیص صحیح کاذب در روند مدل‌سازی شده است و خطای مثبت کاذب^۳ به‌عنوان منفی کاذب انتخاب شده است که نشان‌دهنده تشخیص صحیح به‌صورت کاذب است و درواقع خطای ROC به مدل اخطار امکان اشتباه را می‌دهد. بر اساس این ساختار میزان دقت و صحت مدل ROC مساحت هر یک از خطاها به مترمربع محاسبه گردید و بر اساس فرمول میزان صحت اعداد مشخصی به دست آمد که هرچقدر این اعداد به ۱ نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده صحت و دقت مدل است.

شکل ۸. میزان خطای ROC منطقه کلان‌شهری اصفهان (مطالعات پژوهشگر، منبع: تصاویر ماهواره‌ای)

Figure 8. of the ROC error rate of Isfahan metropolitan area (Research studies)



۶. بحث

بر اساس نتایج بدست آمده گسترش و پراکندگی کالبدی منطقه کلان‌شهری اصفهان، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های توسعه شهری، تأثیرات چندبعدی بر ابعاد کالبدی، اقتصادی و زیست‌محیطی این منطقه دارد. افزایش فشرده‌گی جمعیتی، گسترش نامتعادل کاربری‌ها و تغییرات کاربری اراضی موجب بروز مسائل متعددی از جمله کاهش کارایی زیرساخت‌ها،

^۱ Receiver Operating Characteristic

^۲ Correct Rejection

^۳ False Alarm

فشار بر منابع طبیعی و کاهش کیفیت محیط زندگی می‌شود. از این رو، تحلیل مرزهای رشد و شبیه‌سازی روند توسعه شهری برای برنامه‌ریزی پایدار و مدیریت منابع شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مطالعات پیشین نشان می‌دهند که بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزارهای مؤثری برای تحلیل و پیش‌بینی توسعه شهری هستند. پژوهش‌های طیبی (۲۰۱۱)^۱ با استفاده از GIS و شبکه‌های عصبی مصنوعی، رابطه میان عوامل محیطی و اجتماعی و توسعه شهری را بررسی کرده و مدلی پیش‌بینی‌کننده ارائه کردند. در پژوهش حاضر نیز رابطه بین هفت متغیر اصلی و میزان شعاع مرزهای رشد در آزمون مورد بررسی قرار گرفته است، که امکان تحلیل همزمان اثرات عوامل مختلف بر توسعه منطقه کلان‌شهری اصفهان را فراهم می‌آورد.

مطالعه هه و تان (۲۰۱۸)^۲ درباره شهر ووهان چین، با بهره‌گیری از مدل UBEM^۳، مسیر توسعه تاریخی و پتانسیل گسترش شهر را در هر سمت شبیه‌سازی کرده و نشان داده است که حرکت مرزهای شهری، به ویژه توسعه بیرونی، نقش عمده‌ای در فرآیند توسعه دارد. این تحقیق با انتخاب هشت شاخص اصلی شامل ارتفاع، شیب، فاصله به مناطق شهری، جاده‌های اصلی، راه‌آهن، مراکز تجاری و ساختمان‌های شهری، پتانسیل رشد شهری را ارزیابی کرده است. نتایج حاصل، اهمیت تحلیل یکپارچه شاخص‌های کالبدی و زیست‌محیطی در پیش‌بینی روند گسترش شهری را تأیید می‌کند. مطالعه محمودزاده و نوازی (۱۳۹۷) نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های میدانی، چهار کلاس اصلی کاربری اراضی شامل اراضی بایر، اراضی ساخته‌شده، اراضی زراعی و اراضی باغی را در شهر ایلخچی بررسی کردند. با ارائه روند مقایسه‌ای دو دوره زمانی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی، امکان شبیه‌سازی میزان توسعه شهری و ارزیابی رشد جمعیت و تغییرات کالبدی فراهم شد.

با این حال، هیچ‌یک از مطالعات پیشین به‌صورت تطبیقی و یکپارچه به مهار رشد و تحلیل مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان نپرداخته‌اند. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سه دوره زمانی و طبقه‌بندی کاربری اراضی، ضمن تحلیل روند توسعه شهری، با ترکیب روش LCM^۴ و شبکه‌های عصبی مصنوعی، امکان تحلیل همزمان عوامل کالبدی، طبیعی و زیست‌محیطی را فراهم آورده است. این رویکرد، مقیاس تحلیل را از یک فرآیند جزئی به سطح منطقه کلان‌شهری ارتقاء داده و امکان مقایسه اثرگذاری هر یک از عوامل محرک بر توسعه شهری را به صورت دقیق ارائه می‌دهد.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که عوامل کالبدی-طبیعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌صورت همزمان بر روند گسترش اصفهان اثرگذارند و می‌توان میزان سهم هر عامل را در تغییرات مرزهای رشد تعیین کرد. این نتایج با مطالعات

¹ Tayyebi & Pijanowski

² He & Tan

³ Urban boundary estimate model

⁴ Land Change Modeler

طبیعی و همکاران (۲۰۱۱) و هه و تان (۲۰۱۸) همخوانی دارد و نشان می‌دهد که تحلیل یکپارچه و مدل‌سازی چندعاملی، قابلیت پیش‌بینی و شبیه‌سازی توسعه شهری را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. علاوه بر این، استفاده از روش‌های یادگیری ماشین در ترکیب با مدل‌های شبیه‌سازی توسعه شهری، امکان تحلیل ساختاری و عملکردی تغییرات کاربری اراضی را در قالب مدل‌سازی مکانی فراهم کرده و چارچوب علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری ارائه می‌دهد. این رویکرد نوین با مطالعات مشابه در تهران و ووهان همخوانی دارد و می‌تواند به عنوان مدلی مستقل و قابل استناد برای سیاست‌گذاری توسعه پایدار و مدیریت مناطق کلان‌شهری مورد استفاده قرار گیرد.

در نتیجه، پژوهش حاضر ضمن تأیید و اعتبارسنجی یافته‌های مطالعات پیشین، با ارائه مدل‌سازی یکپارچه و تحلیلی نوین، چارچوبی علمی برای پیش‌بینی و هدایت روند توسعه شهری اصفهان ارائه می‌دهد که می‌تواند به تدوین سیاست‌های مهار رشد، حفاظت از اراضی طبیعی و تحقق توسعه پایدار در مقیاس کلان‌شهری کمک کند.

۷. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهری و پیش‌بینی مرزهای رشد در منطقه کلان‌شهری اصفهان طی سه دهه گذشته انجام شد و مدلی جامع برای تحلیل توسعه آینده ارائه کرد. یافته‌ها نشان داد که رشد کالبدی این منطقه عمدتاً تحت تأثیر توسعه صنعتی و جذب نیروی کار متخصص افزایش یافته است. بررسی داده‌های تاریخی نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹، اراضی ساخته‌شده با رشد قابل توجهی همراه بوده است، که این روند ناشی از توسعه اقتصادی و تجاری و عدم توجه کافی به حفاظت از منابع زیست‌محیطی و مرزهای طبیعی بوده است. در نتیجه، توسعه پراکنده و گسترش اراضی در جهات مختلف رخ داده است.

تحلیل عوامل مؤثر نشان داد که فاصله از اراضی کشاورزی و باغی، فاصله از اراضی ساخته‌شده، و فاصله از شبکه‌های ارتباطی به عنوان سه عامل کلیدی تعیین‌کننده جهت و میزان گسترش مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان عمل کرده‌اند. هرچند عوامل طبیعی و توپوگرافی نیز نقش ثانویه و محدود در کنترل فشردگی توسعه ایفا می‌کنند، اما نزدیکی به پهنه‌های ساخته‌شده و مسیرهای توسعه یافته قبلی، نقش اصلی در شکل‌گیری و جهت‌گیری توسعه کالبدی داشته است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که توسعه شهری غالباً در امتداد مسیرهای موجود و با هدف کاهش هزینه‌های زیرساختی رخ داده است.

پژوهش حاضر اولین مطالعه‌ای است که مرزهای رشد منطقه کلان‌شهری اصفهان را با استفاده از روش‌های نوین مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های تغییر زمین (LCM) و زنجیره مارکوف شبیه‌سازی کرده است. این مدل با تحلیل داده‌های مکانی و زمانی و تصاویر ماهواره‌ای، امکان پیش‌بینی توسعه کالبدی تا سال ۲۰۵۰ را فراهم کرده و مرزهای رشد منطقه را با دقت حدود ۸۰ درصد تعیین کرده است. علاوه بر این، شبیه‌سازی عوامل محرک توسعه شهری، چارچوبی علمی و کاربردی برای برنامه‌ریزی توسعه پایدار و کنترل پراکندگی شهری ارائه می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده، این پژوهش می‌تواند ابزاری ارزشمند برای مدیران شهری و سیاست‌گذاران در کنترل رشد بی‌رویه و برنامه‌ریزی توسعه شهری ارائه دهد و مبنایی برای تحقیقات آینده در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی،

فرهنگی و زیست محیطی مرتبط با توسعه شهری فراهم کند. همچنین، شناسایی عوامل محرک اصلی و تحلیل اثرات آنها، امکان تدوین سیاست‌های مدیریتی و حفاظت از اراضی طبیعی را تقویت می‌کند. با وجود دستاوردهای ارزشمند، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد؛ از جمله پیچیدگی پیاده‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی، نبود یکپارچگی کامل نرم‌افزارهای تحلیل و بررسی محدود برخی ابعاد اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی منطقه، که می‌تواند بر دقت و گستره نتایج تأثیرگذار باشد. با این حال، این پژوهش گامی مهم در مدیریت یکپارچه و پایدار گسترش مناطق کلان‌شهری محسوب می‌شود و استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و تحلیل مکانی-زمانی، نویدبخش توسعه مطالعات آینده در زمینه شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف است.

در مجموع، پژوهش حاضر ضمن ارائه مدل پیش‌بینی مرزهای رشد و تحلیل عوامل کلیدی توسعه شهری، به‌عنوان الگویی نوین برای مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار مناطق کلان‌شهری کشور قابل استفاده است و می‌تواند مسیر را برای تحقیقات جامع‌تر و سیاست‌گذاری مؤثر در کنترل توسعه شهری هموار کند.

منابع

- اصغری اسکویی، محمد رضا. (۱۳۸۱). کاربردهای شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی. پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۴(۱۲)، ۶۹-۹۶. https://ijer.atu.ac.ir/article_3830
- آذری، مرتضی، فنی، زهره، کوزه‌گر کالجی، لطفعلی، توکلی نیا، جمیله و حیدری تاشه کبود، اکبر. (۱۴۰۴). بررسی نقش پیشران‌های کلیدی در تغییرات کاربری زمین و تحولات فضایی شهر با رویکرد آینده‌پژوهی (مورد مطالعه: منطقه دوازده شهر تهران). آمایش فضا و ژئوماتیک، ۲۵(۲)، ۱۲۱-۱۴۴. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16059689.1400.25.2.6.3>
- جلالیان، حمید، پاشازاده، اصغر و نامداری، فریوش. (۱۳۹۵). عوامل مؤثر در تحولات جمعیتی و کالبدی سکونتگاه‌های پیرامون کلان‌شهرها و پیامدهای آن، پژوهش موردی: شهر قرچک. فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، ۷(۱۳)، ۳۳-۵۰. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25383930.1395.7.13.3.3>
- داداش پور، هاشم، رفیعیان، مجتبی و جهانزاد، نریمان. (۱۳۹۸). تدوین الگوی بهینه‌ی کاربری اراضی با رویکرد اکولوژیک در مجموعه شهری مشهد. برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۶(۱)، ۷۱-۸۲. doi: 10.30473/psp.2019.5832
- رعیتی فرد، علی حسین، قائدرحمتی، صفر، مشکینی، ابوالفضل و علوی، سید علی. (۱۴۰۴). بررسی وضعیت شرایط زیست محیطی سکونت‌گاه‌های پیرامونی کلانشهر شیراز. آمایش فضا و ژئوماتیک، ۲۷(۴)، ۱-۲۹. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16059689.1402.0.0.2.8>
- شرفی، خمر، (۱۳۹۵). مدیریت توسعه فیزیکی شهر دهدشت با استفاده از مرزهای رشد شهری جهت توسعه پایدار روستاهای پیرامون. نشریه مطالعات نواحی شهری دانشگاه شهید باهنر کرمان. صص ۷۳-۵۷. <https://ensani.ir/fa/article/368374>
- شیخی، محمد، مدیری، مهدی و رمضانی، سارا. (۱۴۰۴). شناسایی و طبقه‌بندی عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر دماوند با استفاده از روش‌شناسی کپو. آمایش فضا و ژئوماتیک، ۲۴(۲)، ۱۴۱-۱۷۰. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16059689.1399>

آمایش فضا و ژئوماتیک

- عمادزاده، دکتر مصطفی، آذربایجانی، دکتر کریم و زمانیان، غلامرضا. (۱۳۸۰). صرفه‌های ناشی از مقیاس: تحلیلی از وضعیت شرکت ذوب آهن اصفهان. فصلنامه تحقیقات اقتصادی (۲) ۳۶.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.00398969.1380.36.2.5.5>
- گائینی، ابوالفضل، و حسین زاده، امیر. (۱۳۹۱). پارادایم‌های سه‌گانه اثبات‌گرایی، تفسیری و هرمنوتیک در مطالعات مدیریت و سازمان. راهبرد فرهنگ، (۱۹) ۵، ۱۰۳-۱۳۸. <https://sid.ir/paper/149255/fa>
- محمودزاده، حسن و رنجبر نوازی، امیر مسعود. (۱۳۹۷). کاربرد مدل LTM در پیش‌بینی و مدل‌سازی توسعه فیزیکی شهر ایلخچی. پژوهش‌های جغرافیای انسانی، (۱) ۵۰، ۳۵-۵۳. doi: 10.22059/jhgr.2016.57398
- مهندسان مشاور نقش جهان پارس (۱۳۸۹). طرح مجموعه شهری اصفهان.
- Asghari Eskoui, M. R. (2002). Alications of neural networks in time series forecasting. Iranian Economic Research, 4(12), 69–96. https://ijer.atu.ac.ir/article_3830 (In persian)
- Aytur, S. A., Rodriguez, D. A., Evenson, K. R., & Catellier, D. J. (2008). Urban containment policies and physical activity: a time–series analysis of metropolitan areas, 1990–2002. American journal of preventive medicine, 34 (4), 320-332.
- Azari, M., Fani, Z., Kozegar-Kaleji, L., Tavakolinia, J., HeidariTashehKabood, A. (2012). Investigating the role of driving forces in land use changes and the spatial evolution of the city with a futurology aroach (Case study District 12 of Tehran). Journal of Spatial Planning and Geomatics, 3, 121-144. <http://dori.net/dor/20.1001.1.16059689.1400.25.2.6.3> (In Persian)
- Bajracharya, P., & Sultana, S. (2022). Examining the use of urban growth boundary for future urban expansion of Chattogram, Bangladesh. *Sustainability*, 14(9), 5546.
- Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Analyzing spatial patterns, driving forces and predicting future growth scenarios for suorting sustainable urban growth: Evidence from Tabriz metropolitan area, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101502.
- Dadashpoor, H., Rafieian, M., & Jahanzad, N. (2019). Developing an optimal land-use model with an ecological aroach in the Mashhad urban complex. *Physical Development Planning*, 6(1), 71–82. <https://doi.org/10.30473/psp.2019.5832> (In persian)
- Emadzadeh, M., Azarbajejani, K., & Zamaniyan, G. (2001). Economies of scale: An analysis of the situation of Esfahan Steel Company. *Economic Research Quarterly*, 36 . <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.00398969.1380.36.2.5.5> (In Persian)
- Ghaeni, A., & Hosseinzadeh, A. (2012). The three paradigms of positivism, interpretivism, and hermeneutics in management and organization studies. *Farhang Strategy*, 5(19), 103–138. <https://sid.ir/paper/149255/fa> (In Persian)
- Harig, O., Hecht, R., Burghardt, D., & Meinel, G. (2021). Automatic delineation of urban growth boundaries based on topographic data using germany as a case study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10 (5), 353.
- He, Q., Tan, R., Gao, Y., Zhang, M., Xie, P., & Liu, Y. (2018). Modeling urban growth boundary based on the evaluation of the extension potential: A case study of Wuhan city in China. *Habitat International*, 72, 57-65.
- Ismail, M. A., Ludin, A. N. M., & Hosni, N. (2018, June). Delineating urban growth limit for managing urbanisation in Iskandar Malaysia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 169, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.
- Jalalian, H., Pashazadeh, A., & Namdari, F. (2016). Factors influencing demographic and physical changes in settlements around metropolitan areas and their consequences: A case study of Qarchak city. *Urban Ecology Research Quarterly*, 7(13), 33–50 . <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25383930.1395.7.13.3.3> (In persian)

- Jiang, L., Deng, X., & Seto, K. C. (2013). The impact of urban expansion on agricultural land use intensity in China. *Land use policy*, 35, 33-39.
- 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.
- Long, Y., Han, H., Lai, S. K., & Mao, Q. (2013). Urban growth boundaries of the Beijing Metropolitan Area: Comparison of simulation and artwork. *Cities*, 31, 337-348.
- Long, Y., Shen, Z., & Mao, Q. (2011). An urban containment planning suort system for Beijing. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35 (4), 297-307.
- Mahmoudzadeh, Hassan, & Ranjbar Navazi, Amir Masoud. (2018). Alication Of Ltm Model In Predicting And Modeling Of Physical Development Of The Ilkhichi City. *Human Geography Research Quarterly*, 50(1), 35-53. <https://Sid.Ir/Paper/139121/En> (In Persian)
- Naghsh-Jahan Pars Consulting Engineers. (2010). Isfahan urban complex plan.
- Ra'iti Fard, A. H., Ghaderrahmati, S., Meshkini, A., & Alavi, S. A. (2025). Assessing the environmental conditions of peripheral settlements around Shiraz metropolitan area. *Spatial Planning & Geomatics*, 27(4), 1-29. . <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16059689.1402.0.0.2.8> (In persian)
- Shafizadeh-Moghadam, H., Asghari, A., Tayyebi, A., & Taleai, M. (2017). Coupling machine learning, tree-based and statistical models with cellular automata to simulate urban growth. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 297-308.
- Sharafi, H., Khamer, G., Ashkbos, A. (2016). Physical development management of Dehdasht city using urban growth boundaries for sustainable development. *Journal of Urban Area Studies, Shahid Bahonar University of Kerman*. 7. 57-73. <https://ensani.ir/fa/article/368374> (In Persian)
- Sheikhi, M., Modiri, M., Ramezani, S. (2019), An Investigation of the factors affecting Land-Use and Land-Cover Changes in Damavand city Using Q-Methodology, *Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 2, 141-168. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16059689.1399.24.2.2.2> (In Persian)
- Tayyebi, A., Pijanowski, B. C., & Pekin, B. (2011). Two rule-based urban growth boundary models alied to the Tehran metropolitan area, Iran. *Alied Geography*, 31 (3), 908-918.
- Tayyebi, A., Pijanowski, B. C., & Tayyebi, A. H. (2011). An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization: An alication to Tehran, Iran. *Landscape and Urban Planning*, 100 (1-2), 35-44.
- UN-HABITAT Report. (2020), 1-418
- Woo, M., & Guldman, J. M. (2014). Urban containment policies and urban growth. *International Journal of Urban Sciences*, 18 (3), 309-326 .