



Investigating the Impact of the Physical Growth of the City of Heris on the Change in Nearby lands over the Last Three Decades

Shahrivar Rostaei ^a , Masoumeh Nikjo ^b , Akbar Asghari Zamani ^c 

- a. Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Email: srostaiei@Tabrizu.ac.ir
- b. Master's Student, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Email: www.mswmhnykfw2@gmail.com
- c. Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Email: azamani621@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Article extracted from the dissertation

Received:

5 July 2026

Received in revised form:

2 September 2026

Accepted:

13 September 2026

pp.87-107

Keywords:

Physical growth, land use change, satellite images, Heris City.

ABSTRACT

Nowadays, cities across the globe, acting as the primary habitats for humanity, are constantly undergoing physical growth; this phenomenon is frequently accompanied by various structural and environmental challenges, often leading to intense pressure on surrounding areas, particularly high-quality agricultural and orchard lands. Such processes, which result in significant land-use changes, ultimately threaten the sustainability of natural resources for future generations. In this context, the city of Heris has also been significantly influenced by population growth and physical expansion during recent decades

This research aims to examine the impact of the physical growth trend of Heris on land-use changes over the past three decades (1991–2021) and to predict its future status. In this study, Landsat 5 TM and Sentinel-2 satellite images were utilized across three distinct time intervals (1991, 2006, and 2021). Data processing was executed through the Google Earth Engine platform along with specialized software including ArcGIS, ENVI, and Idrisi. Furthermore, linear regression was employed to predict the population for 2026, Shannon's Entropy was applied to assess land extensibility, and a hybrid model combining Markov Chain and Cellular Automata (CA) was used to predict future land-use patterns. The results indicate that during this 30-year period, Heris has undergone gradual physical growth and horizontal expansion driven by natural population increases. This trend has caused surrounding lands to undergo land-use changes under the progressive influence of human construction. The physical expansion of Heris has led to the conversion of high-quality lands into built-up areas, which underscores the urgent necessity for effective land-use management and strategic urban planning.

Citation: Rostaei, Sh., Nikjo, M., & Asghari Zamani, A. (2026). Investigating the Impact of the Physical Growth of the City of Heris on the Change in Nearby lands over the Last Three Decades. *Journal of Geography and Urban Research*, 3(2), 87-107.

 <https://doi.org/10.22130/gur.2026.2093164.1051>

© The Author(s)

Publisher: University of Maragheh.

This is an open access article under the CC BY licens (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

Cities, as the main centers of population settlement and socio-economic activities, have always been subject to physical and spatial changes. The growth of urbanization in Iran, especially since the 1950s, accelerated significantly under the influence of factors such as increased oil revenues, land reforms, rapid industrialization, and widespread rural migration. This trend continued after the Islamic Revolution, and many rural settlements were transformed into cities or integrated into neighboring urban areas. The result has been excessive physical expansion and major changes in land-use patterns. In many cases, urban development has occurred without sufficient attention to ecological capacities and spatial planning, leading to the destruction of agricultural lands and surrounding open spaces. This trend, known as “horizontal expansion” or “urban sprawl,” has resulted in increased service costs, spatial inequality, reduced land-use efficiency, and environmental imbalance. Heris, a small city in East Azerbaijan Province, has also undergone such spatial transformations over the past three decades. Although Heris is not among the rapidly growing metropolitan centers and is generally considered a migration-sending city, its natural population increase and socio-economic changes have gradually contributed to its physical expansion and land-use transformation. Understanding the nature and direction of this growth is important because even small and medium-sized cities can generate substantial long-term environmental and economic impacts when expansion occurs in a dispersed and unplanned form. Therefore, examining the physical growth of Heris and analyzing its consequences for land use is necessary for sustainable urban planning and local development management. The main objective of this study is to investigate the physical expansion of Heris over the three decades from 1991 to 2021 and to analyze its effects on land-use change and future development trends. The main research question of this study is: to what extent has the physical growth of Heris over the past

three decades influenced land-use change within the city?

Methodology

This study is applied in purpose and descriptive-analytical in nature. Landsat 5 TM and Sentinel-2 satellite images corresponding to the years 1991, 2006, and 2021 were used to analyze land-use changes over time. The images were subjected to geometric, radiometric, and atmospheric corrections to improve their accuracy and comparability. After preprocessing, supervised classification methods and advanced image-processing techniques were applied to classify land use into three major categories: built-up land, cultivated agricultural land, and uncultivated agricultural land. Field observations and reference data were incorporated to improve classification reliability, and noise-reduction filters were used to minimize errors. The overall classification accuracy was above 90%, indicating a high level of precision in land-use mapping. To examine population dynamics, a simple linear regression model was used to analyze the population trend and to estimate the population for 2026. In addition, Shannon entropy was employed to assess the degree of spatial dispersion and urban sprawl. For predicting future land-use changes, the CA-Markov model was applied using ArcGIS, ENVI, and Idrisi software environments. This combination of remote sensing, statistical modeling, and simulation techniques made it possible to examine both past land-use transitions and future spatial development scenarios.

Results and Discussion

The findings indicate that the population of Heris, based on census data, increased from 8,627 in 1986 to 10,515 in 2016, providing the temporal framework for the period of the study (1991–2021). Based on the linear regression model, the city’s population is projected to reach approximately 11,654 by 2026. Land-use analysis, synchronized with the satellite imagery period, reveals that 14/71% of the study area underwent transformation during the 1991–2006 period, which increased to 17/88% during 2006–2021, signifying an accelerating rate

of land-use change. Specifically, built-up areas expanded significantly from 60.34 hectares to 139.42 hectares, accompanied by a decline in uncultivated agricultural lands. These changes reflect a clear shift from agricultural and open lands toward urban uses. The results of Shannon entropy confirmed a tendency toward spatial dispersion and horizontal expansion; the urban built-up pattern has become increasingly fragmented rather than compact. Furthermore, the CA-Markov model predicts continued growth in built-up areas and further conversion of surrounding lands if current development trends persist, suggesting that without strategic intervention, the city will face increased pressure on agricultural resources and intensified spatial fragmentation.

Conclusion

Over the past three decades, Heris has experienced gradual and predominantly horizontal physical expansion, influenced by population growth and socio-economic change. This process has led to a reorganization of land use, a decline in agricultural lands, and an increase in built-up areas. Although the city's growth intensity is lower than that of large metropolitan areas, its dispersed expansion

pattern may produce serious long-term environmental, economic, and planning consequences. Therefore, integrated land management, protection of agricultural lands, promotion of compact development, and the use of remote sensing and forecasting tools are essential for guiding sustainable urban development in Heris. The findings of this study can support local planners and policymakers in controlling urban sprawl and in maintaining a balanced relationship between urban expansion and natural land resources.

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.



بررسی تأثیر رشد فیزیکی شهر هریس بر تغییر کاربری اراضی پیرامون آن در طی سه دهه اخیر

شهریور روستایی^۱ ✉، معصومه نیکجو^۲، اکبر اصغری زمانی^۳

۱-استاد گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. Email: srostaei@Tabrizu.ac.ir

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. Email: www.mswmhnykijw2@gmail.com

۳-استاد گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. Email: azamani621@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله مستخرج از پایان نامه

تاریخ دریافت:

۱۴۰۵/۰۴/۱۴

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۵/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۶/۲۲

صص. ۸۷-۱۰۷

واژگان کلیدی:

رشد فیزیکی شهر،
تغییرات کاربری اراضی،
تصاویر ماهواره‌ای،
شهر هریس.

امروزه شهرها در سراسر جهان به‌عنوان سکونتگاه اصلی انسان، همواره در حال تجربه رشد فیزیکی هستند؛ رشدی که با چالش‌های ساختاری و محیطی همراه بوده و اغلب منجر به فشار بر اراضی پیرامونی، به‌ویژه اراضی کشاورزی و باغی مرغوب می‌شود. این روند با تغییر کاربری اراضی، پایداری منابع نسل‌های آینده را تهدید می‌کند. در این راستا، شهر هریس نیز در دهه‌های اخیر تحت تأثیر رشد جمعیت و گسترش فیزیکی قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر روند رشد فیزیکی شهر هریس بر تغییرات کاربری اراضی در سه دهه اخیر (۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰) و پیش‌بینی وضعیت آینده آن انجام شده است. در این مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM5 و سنتینل-۲ در سه مقطع زمانی (۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰) استفاده شد. پردازش داده‌ها با بهره‌گیری از پلتفرم Google Earth Engine و نرم‌افزارهای تخصصی ArcGIS، ENVI و Idrisi انجام گرفت. همچنین برای پیش‌بینی جمعیت سال ۱۴۰۵ از مدل رگرسیون خطی، برای سنجش گستردگی از روش آنتروپی شانون و برای پیش‌بینی پهنه‌های کاربری از ترکیب زنجیره مارکوف و اتوماتای سلولی (CA) استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که طی بازه ۳۰ ساله، شهر هریس در اثر افزایش طبیعی جمعیت، دچار رشد فیزیکی تدریجی و گسترش افقی بوده است. این روند باعث شده است که اراضی اطراف شهر به‌صورت بطئی تحت تأثیر ساخت‌وسازهای انسانی قرار گرفته و دچار تغییر کاربری شوند. گسترش فیزیکی هریس منجر به تبدیل اراضی مرغوب به مناطق ساخته‌شده شده است که ضرورت مدیریت کاربری اراضی و برنامه‌ریزی شهری را دوچندان می‌کند.

استناد: روستایی، شهریور؛ نیکجو، معصومه و اصغری زمانی، اکبر. (۱۴۰۵). بررسی تأثیر رشد فیزیکی شهر هریس بر تغییر کاربری اراضی پیرامون آن در طی سه دهه اخیر. *مجله جغرافیا و پژوهش‌های شهری*، ۳(۲)، ۸۷-۱۰۷.

<https://doi.org/10.22130/gur.2026.2093164.1051>

ناشر: دانشگاه مراغه

© نویسندگان

مقدمه

پویایی سکونتگاه‌های انسانی و تحولات ساختاری ناشی از رشد جمعیت و مهاجرت، همواره یکی از محرک‌های اصلی تغییر در پیکره فیزیکی شهرها بوده است. این تحولات، فراتر از تغییرات ساده در مرزهای شهری، ماهیت و عملکرد اراضی را دستخوش دگرگونی‌های بنیادین می‌کند. گسترش کاربری‌های تجاری و صنعتی در محدوده درون‌شهری و کاربری‌های مسکونی در پهنه شهر تا شهرک‌های برنامه‌ریزی‌شده که در اثر نبود یک نظام متمرکز در مدیریت کاربری زمین پدید آمده‌اند، و نیز سایر کاربری‌هایی که به‌صورت زنجیره‌ای از یکدیگر اثر می‌پذیرند، منجر به تحولات نسبتاً شتابان در توزیع کاربری‌ها و قابلیت‌های اراضی شهری می‌گردد. این تحولات موجب تبدیل اراضی غیرشهری به کاربری‌های مسکونی، تجاری و صنعتی می‌گردد؛ علاوه بر این، هم‌زمان بر پیکره شهر اصلی نیز اثرگذار خواهد بودند (HaghBin & Daryabari, 2017). پیامدهای این روند توسعه می‌تواند مطلوب یا نامطلوب باشد؛ توسعه‌ای که موزون و متعادل باشد، نتایج مثبتی به همراه دارد، اما در صورت عدم هماهنگی و ناموزون بودن توسعه فیزیکی در بخش‌های مختلف شهر، به ناپایداری شهری منجر خواهد شد (Nasiri & Nasermaghdal, 2014). این روند، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، با سرعت زیادی در حال پیشرفت است و موجب تغییرات چشمگیر در کاربری اراضی و پوشش طبیعی آن می‌شود که پیامدهای محیط‌زیستی متعددی از جمله افزایش شدت پدیده جزیره گرمایی شهری دارد (Zargari et al., 2024).

این عدم توازن در توسعه، زمانی بحرانی‌تر می‌شود که گسترش کالبدی شهر با بی‌توجهی به محدودیت‌های زیست‌محیطی و ضرورت حفظ اکوسیستم‌های طبیعی همراه شود. در بسیاری از مناطق، این روند منجر به از دست رفتن زمین‌های ارزشمند کشاورزی می‌گردد. بررسی اجمالی روند تحولات طرح‌ریزی کالبدی در سطوح شهری و سطوح منطقه‌ای در عرصه جهانی بیانگر این واقعیت است که هم‌زمان با آغاز عصر صنعتی شدن و توسعه مراکز شهری در قرن نوزدهم و تداوم پرشتاب آن در قرن بیستم، روند توسعه شهری بدون در نظر گرفتن الزامات حفاظت از اراضی کشاورزی و پایداری محیط‌زیست صورت گرفته است. در بسیاری از شهرهای کشور، اراضی زراعی پیرامونی، بافت شهری را احاطه کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که در موارد متعددی، وجود این اراضی و منابع آبی، به عنوان محرک‌های اصلی احداث و گسترش شهر عمل کرده‌اند؛ به طوری که با افزایش وسعت و میزان این اراضی، روند گسترش کالبدی و رشد جمعیت شهری نیز تشدید یافته است (Isaipour & Majd, 2015). این رابطه مستقیم بین وسعت زمین‌های کشاورزی و رشد شهر و جمعیت آن، در متون پژوهشی نیز تأیید شده است. توسعه و گسترش شهرها نه تنها منجر به تخریب فضاهای پیرامونی می‌گردد، بلکه نظم کالبدی و متقارن آن‌ها را نیز مختل می‌سازد. بروز تعارضات کاربری زمین میان ساکنان مناطق زراعی حاشیه شهر و ساکنان محدوده شهری یکی از پیامدهای بارز این پدیده است (Shams & Hajimallayri, 2009).

در حالی که اکثر مطالعات بر مدیریت رشد در شهرهای بزرگ متمرکز هستند، بررسی پویایی کاربری اراضی در شهرهای کوچک با چالش‌های ساختاری متفاوت، ضرورتی جدی دارد. شهر هریس، علی‌رغم برخورداری از فضاهای مناسب برای توسعه در میان کوه‌ها، الگوی رشدی متناقض را تجربه کرده است؛ به گونه‌ای که برخلاف شهرهای دارای رشد جمعیتی، پدیده مهاجرت فرستی در هریس، منجر به تغییرات کاربری نامنظم و بی‌نظم در پیرامون هسته شهر شده است. این وضعیت باعث شده تا روند رشد فیزیکی شهر به جای توسعه برنامه‌ریزی‌شده، به شکلی تدریجی و فاقد تعادل کالبدی صورت گیرد که در نهایت سیمای نامطلوبی را ایجاد کرده است. این تقابل میان پتانسیل‌های جغرافیایی و کاهش جمعیت، مدیریت اراضی را با پیچیدگی‌های جدیدی مواجه کرده که درک دقیق آن‌ها مستلزم تحلیل‌های داده‌محور است. لذا، شناسایی و تحلیل روند تغییرات کاربری در این شهر می‌تواند مبنای لازم را برای ارائه پیشنهادهایی جهت مدیریت توسعه فیزیکی فراهم آورد.

پژوهش‌های پیشین در زمینه تغییرات کاربری اراضی و رشد فیزیکی شهرها، از حیث موضوع، هدف و روش‌شناسی تنوع قابل توجهی دارند. در این بخش، با هدف شناسایی شکاف‌های پژوهشی و روشن‌سازی جایگاه مطالعه حاضر، مهم‌ترین

پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی در دو حوزه همراهی رشد کالبدی با تخریب اراضی پیرامونی و عوامل محرک و پیامدهای توسعه شهری مرور و تحلیل می‌شوند. این دسته‌بندی دوگانه، امکان بررسی نظام‌مند و تطبیقی پژوهش‌های پیشین را برای تبیین مسئله تغییرات کاربری اراضی در هریس فراهم می‌آورد:

سعیدی و همکاران^۱ (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با عنوان «نقش خزش روستایی و تغییر کاربری اراضی»، به تحلیل اثرات این پدیده بر اراضی پیرامون شهر همدان طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴ پرداخته‌اند. این مطالعه که با روش‌های توصیفی-تحلیلی، مصاحبه، بازدید میدانی و تحلیل مقایسه‌ای نقشه‌های GIS انجام شده، نشان می‌دهد که در این دوره زمانی، اراضی دیم، آبی و باغات در مجموع حدود ۷۰ درصد گسترش یافته‌اند و مساحت بافت کالبدی روستاها از ۴۵۰/۳ هکتار به ۷۷۶/۲ هکتار افزایش یافته که بیانگر تغییر کاربری بیش از ۲۲۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی و باغی است. رویکرد این پژوهش، تلفیق داده‌های مکانی و میدانی است که با روش پژوهش حاضر سنجش از دور و GIS هم‌خوانی نسبی دارد. با این حال، تفاوت در مقیاس مطالعه (شهر همدان در مقابل هریس) و رویکرد (تأکید بر خزش روستایی در مقابل رشد شهری)، ضرورت مطالعه‌ای مختص شهرهای کوچک را نشان می‌دهد. پورمحمدی و همکاران^۲ (۲۰۰۸) با هدف ارزیابی و تحلیل توسعه فیزیکی و تغییرات کاربری اراضی شهر پارس‌آباد مغان، از داده‌های سنجش از دور تصاویر ماهواره‌ای لندست TM سال ۱۳۶۸، ETM+ سال ۱۳۸۱ و لندست ۸ سال ۱۳۹۴ بهره گرفته‌اند. نتایج این تحقیق توصیفی-تحلیلی، نشان‌دهنده رشد چشمگیر توسعه شهری است؛ به‌طوری که مساحت اراضی ساخت‌وساز شهری از ۲۷۸ هکتار در سال ۱۳۶۸ به ۸۲۰ هکتار در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است. این مطالعه از حیث روش‌شناسی (استفاده از تصاویر لندست) به پژوهش حاضر بسیار نزدیک است، اما بازه زمانی آن (سه مقطع) کوتاه‌تر از بازه سده‌های پژوهش حاضر است و بر شهر متوسطی متمرکز شده که تفاوت‌های جمعیتی و اقتصادی با هریس دارد. حاج‌علیزاده^۳ (۲۰۱۸) نیز در پژوهشی با عنوان «ارزیابی تغییرات کاربری و گسترش افقی شهری با تأکید بر نقش اقتصاد شهری» در شهر اردبیل، تغییرات کاربری را با استفاده از روش‌های کمی و کیفی و نرم‌افزار ArcGIS ارزیابی کرده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گسترش شهری، پیامدهای اقتصادی نامطلوبی نظیر افزایش هزینه‌های ساخت‌وساز و خدمات شهری را به دنبال دارد. بعد اقتصادی مطرح‌شده در این مطالعه، به پژوهش حاضر کمک می‌کند تا پیامدهای اقتصادی تغییرات کاربری اراضی در هریس را نیز مورد توجه قرار دهد. قدرتی‌آذر^۴ (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با عنوان «تحلیل گسترش فضایی-کالبدی شهر و تأثیر آن بر تغییرات اکولوژیک» در شهر عجب‌شیر (هم‌استان با هریس)، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و رویکرد اکولوژیک، نشان داد که گسترش فضایی شهر موجب افزایش اراضی تحت ساخت‌وساز و در مقابل، کاهش پهنه‌های اکولوژیک و تغییر در الگوی کاربری زمین شده است. این پژوهش از حیث رویکرد (اکولوژیک) و روش (سنجش از دور) به پژوهش حاضر نزدیک است، اما بازه زمانی آن کوتاه‌تر بوده و بر شهر کوچک هم‌استان متمرکز شده است. صوفی بوکبران و همکاران^۵ (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر لندست و مدل CA-Markov در شهر تبریز نشان دادند که گسترش شهری عمدتاً در بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی (مناطق دارای زمین‌های مرغوب کشاورزی) رخ داده و با کاهش چشمگیر پوشش گیاهی (از ۸۱ به ۴۳ کیلومتر مربع) و افزایش دمای سطح (حدود ۱ درجه سانتی‌گراد) همراه بوده است. این پژوهش از حیث روش‌شناسی (تصاویر لندست، مدل CA-Markov و بازه بلندمدت) به پژوهش حاضر نزدیک است، اما تفاوت در مقیاس مطالعه (کلان‌شهر تبریز در مقابل شهر کوچک هریس) ضرورت پژوهش متمرکز بر شهرهای کوچک را نشان می‌دهد. در سطح بین‌المللی، اجمل و جمال^۶ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با عنوان «تجزیه و تحلیل تغییر کاربری اراضی، پوشش زمین و رشد شهری آینده با توجه به مکان کشتارگاه‌ها

¹ Saeidi et al

² Pourmohammadi et al

³ Haj Alizadeh

⁴ Ghodrati Azar

⁵ Soufi Boukbaran et al

⁶ Ajmal & Jamal

در حومه شهر علیگر^۱، به بررسی تأثیر پراکنش شهری بر مکان کشتارگاه‌ها پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که زمین‌های کشاورزی و اراضی خالی، نه تنها در حاشیه، بلکه در مناطق بسیار نزدیک به کشتارگاه‌ها نیز تحت ساخت‌وسازهای انسانی قرار گرفته‌اند. این یافته، بر اهمیت توجه به کاربری‌های صنعتی و خدماتی در تحلیل تغییرات کاربری اراضی تأکید دارد؛ موضوعی که می‌تواند در تحلیل کاربری‌های حاشیه‌ای هریس نیز مدنظر قرار گیرد.

دسته دوم از پژوهش‌ها فراتر از توصیف تغییرات، به تحلیل علل (عوامل محرک) و پیامدهای تخصصی توسعه شهری پرداخته‌اند. چترجی و محمودار^۲ (۲۰۲۲) در مقاله‌ای تحت عنوان «تأثیر تغییر کاربری زمین و شهرنشینی سریع بر جزیره گرمایی شهری در شهر کلکته»، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹ نشان دادند که سطح پوشش گیاهی در نواحی مرکزی شهر رو به کاهش و درصد مناطق ساخته‌شده رو به افزایش است که منجر به بالا رفتن دمای سطح در مناطق مرکزی شهر شده است. رویکرد سیستمی این مطالعه و توجه به پیامدهای زیست‌محیطی رشد شهری، برای تحلیل پیامدهای تغییرات کاربری اراضی در هریس (از جمله افزایش شاخص آنتروپی) قابل تطبیق است. همچنین، یو و همکاران^۳ (۲۰۲۲) در مقاله‌ای با عنوان «شهرنشینی، تبدیل زمین و زمین‌های زراعی در شهرهای چین: اثرات موج‌دار راه‌آهن پرسرعت»، به بررسی تأثیر گسترش شبکه HSR بر تبدیل زمین‌های کشاورزی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در املاک و مستغلات، در کنار روند شهرنشینی، باعث کاهش زمین‌های کشاورزی می‌شود و این تأثیر در مناطق کمتر توسعه‌یافته شدیدتر است. یافته کلیدی این مطالعه، برجسته کردن نقش تعیین‌کننده بستر بوم‌شناختی و موقعیت جغرافیایی در شدت اثر عوامل محرک است که می‌توان آن را با نقش جاده‌های ارتباطی (محورهای اهر، تبریز و مشگین‌شهر) در توسعه فیزیکی هریس مقایسه کرد. الشریف و همکاران^۴ (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای در منطقه الباحا (عربستان سعودی) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل سلول‌های خودکار مارکوف (CA-Markov)، به تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و رشد شهری پرداختند. آنان نشان دادند که توسعه شهری در این منطقه عمدتاً به قیمت اراضی طبیعی (مراعات، جنگل‌ها و اراضی بایر) رخ داده است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۴۷، سطح مناطق ساخته‌شده با رشد چشمگیری (حدود ۸۱۱ کیلومتر مربع افزایش) همراه باشد. این مطالعه از حیث روش‌شناسی (استفاده از مدل CA-Markov و تصاویر لندست) و رویکرد (تحلیل تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی روند آتی) به پژوهش حاضر شباهت زیادی دارد. همچنین، یافته‌های آن در مورد گسترش شهری به قیمت اراضی طبیعی، با نتایج پژوهش حاضر در مورد کاهش اراضی کشاورزی و افزایش ساخت‌وساز در هریس هم‌سو است و نشان می‌دهد که الگوی گسترش شهری به قیمت اراضی طبیعی، در مناطق مختلف جهان قابل مشاهده است. ژانگ و همکاران^۵ (۲۰۲۲) نیز در مطالعه‌ای با عنوان «تجزیه و تحلیل استفاده از زمین و الگوهای تغییر پوشش زمین و پویایی جمعیت در شهرهای با رشد سریع ایالات متحده: شهرستان کولین، تگزاس^۶»، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های جمعیتی سرشماری، نشان دادند که تغییرات کاربری و پوشش زمین در این شهرستان عمدتاً شامل تبدیل زمین‌های مزرعنی به اراضی ساخته‌شده بوده است. وجه اشتراک این مطالعات، تکیه بر هم‌افزایی داده‌های سنجش از دور، داده‌های آماری و داده‌های میدانی برای فهم جامع‌تر فرایند رشد شهری است؛ رویکردی که پژوهش حاضر نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (لندست و سنتینل)، شاخص آنتروپی و مدل CA-Markov، آن را در مقیاس محلی پیاده‌سازی کرده است. طاهر و همکاران^۷ (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای در شهر لاهور پاکستان با استفاده از مدل CA-Markov، به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی روند آتی آن پرداختند.

¹ Aligarh

² Chatterjee & Majumdar

³ Yu et al

⁴ Alsharif et al

⁵ Zhang et al

⁶ Killeen, Texas

⁷ Tahir et al

نتایج آنان نشان داد که مناطق ساخته شده ۳۵۹/۸ کیلومتر مربع افزایش یافته و در مقابل، پوشش گیاهی و اراضی بایر کاهش چشمگیری داشته است. این الگو با نتایج پژوهش حاضر در مورد گسترش هریس به سمت اراضی کشاورزی همسو است و نشان می‌دهد که رشد شهری، فارغ از مقیاس شهر، اغلب با تخریب اراضی طبیعی همراه است. همچنین، کارایی مدل CA-Markov برای پیش‌بینی روند آتی در این مطالعه، اعتبار روش‌شناسی پژوهش حاضر را در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تقویت می‌کند.

با وجود تنوع موضوعی و روشی، واکاوی مطالعات پیشین چند خلأ آشکار را نمایان می‌سازد. نخست، عمده پژوهش‌های موجود بر شهرهای بزرگ یا مراکز استان‌ها متمرکز بوده‌اند و الگوهای رشد شهرهای کوچک، که ویژگی‌های جمعیتی، اقتصادی و کالبدی متمایزی دارند، کمتر تبیین شده است. هرچند پژوهش‌هایی نظیر مطالعه قدرتی‌آذر (۲۰۱۸) در عجب‌شیر، به بررسی این موضوع در یک شهر کوچک پرداخته است، اما همچنان تعداد این مطالعات اندک است و نیاز به پژوهش‌های بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. دوم، در رابطه با شهر هریس، تاکنون پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های مکانی مبتنی بر سنجش از دور برای بررسی رشد فیزیکی و تغییرات کاربری اراضی طی یک بازه زمانی بلندمدت انجام نشده است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلأهای مقیاسی، زمانی و روش‌شناختی، به تحلیل روند تغییرات کاربری اراضی در شهر هریس طی سه دهه (۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی CA-Markov می‌پردازد. پاسخ به این پرسش «چه عواملی بر شدت و جهت این تغییرات در هریس مؤثر بوده‌اند»، مستلزم مطالعه‌ای بلندمدت با داده‌های چندمنبعی است که پژوهش حاضر عهده‌دار آن است.

در حالت کلی می‌توان اذعان نمود که با وجود پژوهش‌های متعدد در زمینه تغییرات کاربری اراضی در شهرهای بزرگ و متوسط، تاکنون مطالعه‌ای که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های فضایی، روند تغییرات کاربری اراضی را در شهر هریس طی یک بازه سه‌دهه مورد بررسی قرار داده باشد، انجام نشده است. این خلأ، ضرورت پژوهش حاضر را دوچندان می‌سازد. از این رو، پژوهش حاضر به دنبال تبیین روند رشد فیزیکی و تحلیل میزان و الگوی تغییرات کاربری اراضی در شهر هریس طی سه دهه (۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰) و پیش‌بینی وضعیت آتی تا افق ۱۴۱۰ با استفاده از تلفیق داده‌های سنجش از دور، شاخص آنتروپی شانون و مدل‌سازی CA-Markov انجام شده است. نوآوری پژوهش حاضر در دو سطح قابل تعریف است: نخست، استفاده از تلفیق داده‌های سنجش از دور (لندست و سنتینل) و مدل‌سازی CA-Markov برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در یک شهر کوچک؛ دوم، ارائه یک تحلیل بلندمدت (سه دهه) که امکان شناسایی روندهای پنهان را فراهم می‌آورد. بر این اساس، سؤال اصلی پژوهش این است که آیا روند رشد فیزیکی طی سه دهه اخیر، منجر به تغییر کاربری اراضی در محدوده شهر هریس شده است؟

مبانی نظری

شهرها به‌عنوان پدیده‌های اجتماعی-اقتصادی، تحت تأثیر نیروها و عوامل گوناگون شکل گرفته و گسترش می‌یابند. گرد هم آمدن انسان‌ها برای کار، زندگی و برقراری ارتباط در پهنه‌های محدود و متراکم، موجب پیدایش شهر می‌شود. شهرها، مشابه موجودات زنده، همواره از لحاظ کالبدی بزرگ‌تر و از لحاظ ساختاری پیچیده‌تر می‌شوند و به دنبال این رشد فیزیکی، شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آن‌ها نیز دگرگون می‌گردد. بررسی تاریخی نحوه گسترش کالبدی شهر، عوامل مؤثر بر تغییر ساختار آن را آشکار می‌سازد (Saiedinia, 2003). در این راستا، نظریه سیستم‌ها، چارچوب مناسبی برای تحلیل شهر به‌عنوان یک کل یکپارچه فراهم می‌آورد که در آن، سیستم کالبدی شهر مجموعه‌ای از فضاها، کاربری‌های مختلف و شبکه‌های ارتباطی است که تحت تأثیر سیستم‌های جغرافیایی، اقلیمی، اکولوژیکی و اقتصادی به‌عنوان محیط سیستم، در راستای فراهم آوردن شرایط زندگی مطلوب برای ساکنان (هدف سیستم) قرار دارد (Hossein-Zadeh Dalir & Hooshyar, 2006). بر اساس این دیدگاه، تغییرات کاربری اراضی در شهرها، نتیجه کنش متقابل میان عوامل محرک (نظیر رشد جمعیت، سیاست‌های دولتی و ارزش اقتصادی زمین) و سیستم کالبدی شهر است. از این منظر، سیستم‌های شهری، شبکه‌ای از شهرها در یک قلمرو مکانی معین هستند که از طریق جابه‌جایی جمعیت، مبادله کالا، انتشار اندیشه‌ها و ارائه

خدمات، شکل گرفته و توسعه می‌یابند. ماهیت پویای این سیستم‌ها به گونه‌ای است که بقای هر شهر به روابط متقابل آن با دیگر شهرها وابسته است و هیچ شهری نمی‌تواند به تنهایی و جدا از دیگران به حیات خود ادامه دهد. از این رو، سیستم‌های شهری ماهیتی باز داشته و همواره با پیرامون خود در تعامل هستند (Badiei Azandahi & Hosseini Nasrabadi, 2020). رشد فیزیکی شهرها، فرایندی پویا اما مستمر است که در طی آن، محدوده کالبدی شهر در ابعاد افقی و عمودی گسترش می‌یابد و کیفیت و کمیت فضاهای شهری دستخوش تغییر می‌شود. اگر این گسترش بدون برنامه‌ریزی و با سرعت زیاد رخ دهد، نه تنها به شکل‌گیری ساختار مناسب شهری منجر نمی‌شود، در نهایت می‌تواند نظام شهری را با مسائل و نارسایی‌های عدیده‌ای روبه‌رو سازد (Amiri et al., 2019). توسعه فیزیکی شهر در اصل به معنای افزایش و بسط فضای ساخته‌شده شهر است که منجر به تغییر تدریجی سایر انواع کاربری زمین به کاربری‌های شهری و صنعتی می‌شود (Karimi Firouzjahi et al., 2018). با توسعه کالبدی فزاینده شهر، محلات جدیدی شکل گرفته و در استمرار این جریان، نواحی روستایی و کانون‌های تمرکز جمعیتی پیرامونی، در بطن ساختار شهری افزوده شده و در حقیقت به آن تحمیل می‌شوند (Ghaffari Gilande et al., 2012).

پراکنش افقی از چالش‌های اصلی در برنامه‌ریزی فضایی قرن ۲۱ و از مباحث اساسی در مطالعات شهری و کاربری اراضی کشورهای پیشرفته و در حال توسعه می‌باشد (Pourmohammadi & Jam-Kasra, 2011). گسترش افقی شهر، نتایج ناگواری در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به دنبال داشته است. یکی از مهم‌ترین نتایج این پدیده که در هر سه بعد پیامدی نامطلوب به شمار می‌رود، تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی یا تبدیل کاربری کشاورزی به کاربری شهری مانند کاربری مسکونی، تجاری، خدماتی، صنعتی و غیره می‌باشد (Farhoodi et al., 2014). در دهه‌های اخیر، تغییر کاربری زمین، به دنبال توسعه سریع اقتصادی، به کاهش شدید ارزش خدمات اکوسیستمی منجر شده است (Li et al., 2022). تغییرات زمین سبب لطمه زدن به امنیت غذایی و کاهش اشتغال شده و افزایش پدیده‌هایی همچون مهاجرت را نیز به دنبال دارد. از سوی دیگر، تشدید استفاده از زمین نیاز به سرمایه‌گذاری‌ها را در بهبود بازگرداندن حاصلخیزی زمین در پی دارد (Mohammad Sharifi et al., 2020). عوامل متعددی در رشد فیزیکی شهرها و تغییرات کاربری اراضی نقش دارند که بر اساس مبانی نظری موجود، می‌توان آنها را در چهار دسته کلی طبقه‌بندی کرد:

الف) عوامل طبیعی و محیطی: موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شکل ناهمواری، آب‌وهوا، خاک و پوشش گیاهی و شبکه آب‌ها، هریک به گونه‌ای در پیدایش و شکل‌گیری، وسعت و گسترش مراکز شهری و تعیین نقش آنها مؤثر هستند (Hosseini-Zadeh Dalir & Hooshyar, 2006). با این حال، نکته حائز اهمیت این است که توسعه و رشد فیزیکی اغلب در محدوده‌هایی که دارای خاک حاصل‌خیز و مرغوب هستند، اتفاق می‌افتد و ساخت‌وسازها در این مناطق روزبه‌روز گسترش می‌یابد که به نوبه خود باعث آسیب به منابع خاک و از بین رفتن خاک مرغوب کشاورزی می‌شود، چرا که این زمین‌ها به زیر ساخت‌وساز انسانی رفته و تغییر کاربری می‌دهند. به عبارت دیگر، ممکن است که بر اثر تغییرات پوشش اراضی که به دنبال رویکردهای مدیریتی مختلف و بدون در نظرگیری توان‌های محیطی صورت می‌پذیرد، تغییرات طولانی‌مدت در خصوصیات خاک ایجاد شود، به‌طوری‌که خاک به شرایط اولیه خود برنگردد (Aneseyee et al., 2020).

ب) عوامل اقتصادی: پایه اصلی مطالعات شهرسازی، مطالعه پایه اقتصادی شهر است که بر اساس آن اشتغال، جمعیت، درآمد و نهایتاً میزان نیاز به فضا مشخص می‌شود (Moradi et al., 2016). نظریه اقتصادی مربوط به متغیرهای مؤثر بر رشد افقی شهری (Bruckner & Fansler, 1983) نشان می‌دهد که گسترش افقی شهر در جایی صورت می‌گیرد که جمعیت افزایش یابد، درآمد سکنه بالا باشد، قیمت زمین‌های کشاورزی پایین باشد و هزینه حمل‌ونقل و جابجایی کم باشد. همچنین، بر اساس نظریه ارزش و قیمت زمین (Alonso, 1964)، ارزش اقتصادی زمین‌های شهری باعث می‌شود که کاربری‌های پرسودتر (اداری، تجاری و صنعتی) در مرکز شهر مستقر شده و کاربری مسکونی را به حاشیه شهر رانده و در نتیجه رشد افقی شهر تشدید شود.

ج) عوامل اجتماعی و جمعیتی: مهاجرت به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اجتماعی-اقتصادی، نقش عمده‌ای در توسعه فیزیکی شهرها برعهده داشته است (Khalili-Araghi, 1988). در نظریه کاستل^۱، رشد افقی سریع و گسترش ناموزون شهرهای جهان سوم به دو عامل افزایش نرخ رشد طبیعی جمعیت و مهاجرت از روستا به شهر عنوان شده است (Rezaei, 2005). به‌طوری که توسعه فیزیکی سریع شهرها حتی از نرخ رشد جمعیت نیز پیشی گرفته و این رشد بدون برنامه و گسیخته، پدیده پراکنش افقی شهر را به وجود آورده است (Haj-Alizadeh, 2018).

د) عوامل نهادی و مدیریتی (نقش دولت): نفوذ دولت در شهر و توسعه آن از طریق اقداماتی نظیر ساخت تاسیسات و امکانات شهری، اعطای هویت سیاسی-اداری به شهرها، واگذاری زمین به متقاضیان و سیاست‌های مربوط به مسکن صورت می‌گیرد (Moradi et al., 2016). دولت‌ها نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در رشد و جهت گسترش فیزیکی شهرها دارند. تصمیم‌گیری‌های سیاسی می‌توانند مجموعه یک شهر را جاذب یا فاقد جذابیت سازند و وضعیتی را که برای سرمایه‌گذاری مساعد است، به طور کامل تغییر دهند (Hosseini-Zadeh Dalir & Hooshyar, 2006).

بر اساس مبانی نظری ارائه‌شده در بخش قبل، مدل مفهومی پژوهش حاضر بر این فرض استوار است که تغییرات کاربری اراضی در شهر هریس، نتیجه تعامل چهار دسته عوامل محرک (طبیعی، اقتصادی، اجتماعی و نهادی-مدیریتی) است که از طریق مکانیسم‌هایی نظیر افزایش قیمت زمین، رشد جمعیت، مهاجرت و سیاست‌های مدیریتی، به گسترش فیزیکی شهر و تخریب اراضی کشاورزی پیرامون می‌انجامد. در همین راستا، شاخص آنتروپی شانون به عنوان ابزاری برای سنجش پراکندگی فضایی در شهر هریس به کار گرفته شده است تا میزان عدم قطعیت در توزیع فضایی کاربری‌ها، طی دو بازه زمانی مورد مطالعه، کمی‌سازی شود. این شاخص که برگرفته از تئوری اطلاعات است، به‌عنوان معیاری برای سنجش بی‌نظمی در یک سیستم شناخته می‌شود (Bednarik et al., 2010) و افزایش آن نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر و توسعه نامتمرکز است. همچنین، مدل سلولی خودکار-مارکوف^۲ به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در چارچوب این مدل مفهومی قرار می‌گیرد. زنجیره‌های مارکوف، حالت خاصی از مدل‌های احتمالی هستند که بر پایه فرایندهای تصادفی بنا شده‌اند و در این مدل‌ها، حالت فعلی یک سیستم به تمام حالت‌های قبلی بستگی دارد (Hamidizadeh, 2010). سلول‌های خودکار نیز متشکل از تعداد زیادی سلول هستند که به صورت یک شبکه به یکدیگر متصل می‌باشند و هر سلول می‌تواند حالتی مخصوص به خود داشته باشد (Breckling et al., 2007). خروجی این فرایند، شامل تخریب اراضی کشاورزی، کاهش تولیدات زراعی، افزایش هزینه‌های زیرساختی، تغییرات اکولوژیک و زیست‌محیطی، تکه‌تکه شدن زیست‌گاه‌های طبیعی و کاهش پایداری محیطی است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر با هدف کاربردی و با رویکرد توصیفی-تحلیلی، محدوده شهر هریس و اراضی پیرامون آن را در سه مقطع زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ بررسی کرده است. داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (سنجنده TM) و سنتینل ۲ بود. به‌منظور رفع ناهمگونی داده‌های سنجش‌ازدور ناشی از تفاوت در رزولوشن فضایی، پیش‌پردازش تصاویر شامل تصحیحات اتمسفری (تبدیل مقادیر رقومی به بازتاب سطحی) و هم‌ترازسازی هندسی در نرم‌افزار ENVI انجام شد؛ سپس با هدف ادغام داده‌های چندزمانه و ارتقای کیفیت مکانی تصاویر، از تکنیک فیوژن^۳ استفاده گردید تا داده‌ها به یک ساختار همسان و یکپارچه تبدیل شوند. در مرحله استخراج داده، پس از برش تصاویر بر اساس محدوده مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS، کلاس‌های کاربری (شامل اراضی ساخته‌شده، اراضی زراعی کشت‌شده و اراضی زراعی کشت‌نشده) با استفاده از ترکیب باندهای رنگی کاذب و الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده، حداکثر احتمال، تفکیک شدند. برای تحلیل رشد فیزیکی و پراکنده‌روی شهری، مدل آنتروپی شانون با فرمول $H = -\sum (P_i \times \ln(P_i))$ برای هر سه مقطع

¹ Castel

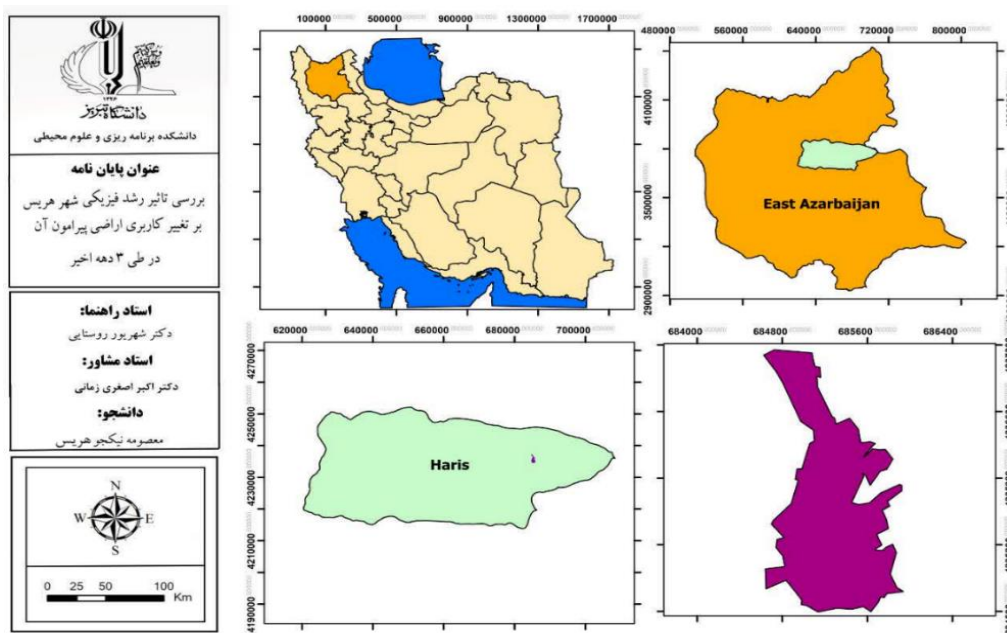
² CA-Markov

³ Fusion

محاسبه گردید. به منظور پیش‌بینی تغییرات آبی، از مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره‌ی مارکوف در نرم‌افزار Idrisi استفاده شد؛ در این فرایند، ماتریس‌های احتمال انتقال بر اساس تغییرات سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ استخراج و کالیبراسیون مدل با تنظیم ۱۰ تکرار و پنجره همسایگی ۵×۵ سلول صورت گرفت. برای اطمینان از دقت و قابلیت اعتماد مدل، ابتدا نقشه‌ی سال ۱۴۰۰ بر اساس داده‌های سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۵ شبیه‌سازی و سپس با نقشه واقعی همان سال مقایسه شد؛ در این مرحله، صحت‌سنجی از طریق محاسبه ماتریس خطا و ضریب کاپا انجام پذیرفت و پس از تأیید اعتبار، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا افق ۱۴۱۰ تدوین گردید. در نهایت، تمامی تحلیل‌های مکانی، ارزیابی دقت و تولید نقشه‌های نهایی و گرافیکی مربوط به تغییرات کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام پذیرفت.

محدوده مورد مطالعه

شهر هریس، مرکز شهرستان هریس، در فاصله‌ی حدود ۷۵ کیلومتری شمال شرق تبریز و بین مختصات جغرافیایی $38^{\circ}14'$ تا $38^{\circ}15'$ عرض شمالی و $47^{\circ}06'$ تا $47^{\circ}07'$ طول شرقی قرار گرفته و در منطقه‌ای نیمه‌کوهستانی با ارتفاع میانگین حدود ۱۷۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهر ۱۰۹۵۱۵ نفر است. از نظر ویژگی‌های کالبدی، این شهر بر روی دشت آبرفتی با شیب ملایم استقرار یافته و موقعیت آن در کنار کریدور ارتباطی تبریز-اهر-مشگین شهر و در میان اراضی کشاورزی آبی و دیم، آن را در سه دهه‌ی اخیر به یکی از کانون‌های رشد فیزیکی و تغییر کاربری اراضی پیرامونی تبدیل کرده است (Statistical Yearbook of East Azerbaijan Province, 2021). با توجه به ماهیت توسعه‌ی این منطقه، تحلیل روند رشد کالبدی و تغییرات کاربری اراضی در چارچوب برنامه‌ریزی‌های شهری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شکل (۱) موقعیت مکانی شهر هریس را در سطح استان و محدوده‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱. محدود جغرافیایی شهر هریس

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

یافته‌های پژوهش

تجزیه و تحلیل جمعیتی

تحلیل روند تغییرات جمعیتی شهر هریس حاکی از افزایش جمعیت در طول سه دهه گذشته است. بر اساس داده‌های آماری، جمعیت این شهر از ۸۶۲۷ نفر در سال ۱۳۶۵ به ۱۰,۰۵۷ نفر در سال ۱۳۸۵ و در نهایت به ۱۰,۵۱۵ نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است. با توجه به مساحت ثابت ۲/۷ کیلومتر مربع، تراکم جمعیت نیز از ۱۱۹۸ نفر در هر کیلومتر مربع در سال ۱۳۶۵، به ۱۳۹۶ نفر در سال ۱۳۸۵ و ۱۴۶۰ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است. با این حال، اگرچه جمعیت رو به رشد بوده، اما نرخ رشد آن در بازه زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵ معادل ۱۶/۵۷ درصد بوده و در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ با کاهش به ۴/۵۴ درصد رسیده است. این روند، نشان‌دهنده افت شتاب رشد جمعیت است که می‌تواند ناشی از عواملی نظیر کاهش نرخ باروری، مهاجرت و تحولات اقتصادی-اجتماعی باشد. در این پژوهش، با تکیه بر داده‌های جمعیتی سه دهه گذشته و با بهره‌گیری از مدل رگرسیون خطی، پیش‌بینی جمعیت شهر هریس برای سال ۱۴۰۵ انجام شده است.

جدول ۱. محاسبه جمعیت کل شهر هریس

سال	X (دوره زمانی)	X ²	جمعیت Y1 (نفر)	Y1×X
۱۳۶۵	-۱	۱	۸۶۲۷	-۸۶۲۷
۱۳۸۵	۰	۰	۱۰,۰۵۷	۰
۱۳۹۵	۱	۱	۱۰,۵۱۵	۱۰,۵۱۵
Σ	-	۲	۲۹۲۹۹	۱۸۸۸

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

$$a = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{1888}{2} = 944 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$b = \frac{\sum y}{\sum N} = \frac{29299}{3} = 9766/33 \quad \text{رابطه (۲)}$$

رابطه (۳)

$$Y1 = ax + b = (944 \times 2) + 9766/33 = 11/654$$

جمعیت پیش‌بینی شده برای شهر هریس در سال ۱۴۰۵، معادل ۱۱/۶۵۴ نفر برآورد شد. مقایسه جمعیت گذشته، حال و پیش‌بینی شده شهر هریس، بیانگر تداوم روند افزایشی جمعیت است؛ هرچند شدت رشد در دوره‌های زمانی مختلف، متفاوت بوده است. در فاصله سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵، جمعیت شهر از ۸۶۲۷ نفر به ۱۰,۰۵۷ نفر افزایش یافت که معادل رشد ۵/۱۶ درصدی بوده و نشان‌دهنده رشد قابل توجه جمعیت شهری است. در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، جمعیت با افزایش ۴۵۸ نفری به ۱۰,۵۱۵ نفر رسید که حاکی از کاهش محسوس نرخ رشد به ۵/۴ درصد است. بر اساس پیش‌بینی‌ها، جمعیت شهر هریس در سال ۱۴۰۵ به حدود ۱۱/۶۵۴ نفر خواهد رسید که بیانگر تداوم روند افزایشی جمعیت، با آهنگی ملایم‌تر نسبت به دوره‌های گذشته می‌باشد.

تحلیل تغییرات کاربری اراضی ۱۳۷۰-۱۳۸۵

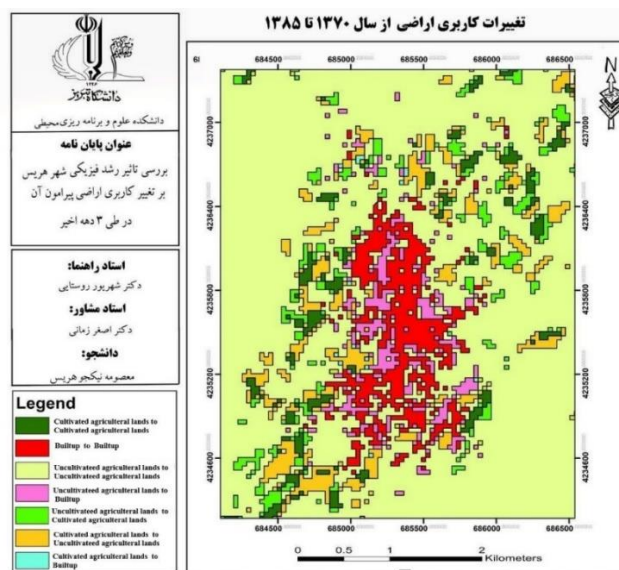
بررسی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵ و بر اساس مساحت کل ۱۰۴۰/۴۵ هکتار، نشان می‌دهد که ۱۴/۷۱ درصد از سطح منطقه (معادل ۱۵۳/۱۵ هکتار) در این دوره پانزده ساله دستخوش دگرگونی شده است؛ این میزان تغییر، متوسط ارزیابی می‌شود نرخ که بیانگر تحولی تدریجی در ساختار فضایی منطقه است.

در تحلیل روند توسعه کالبدی، افزایش سطح اراضی ساخته‌شده از ۶۰/۳۴ به ۹۴/۸۱ هکتار، متأثر از تغییر کاربری ۳۳/۱۲ هکتار از اراضی زراعی کشت‌نشده و مقیاس کمتری از اراضی زراعی کشت شده بوده است. این نسبت بیانگر آن است که توسعه شهری تا حد زیادی به قیمت تغییر کاربری اراضی پیرامونی پیش رفته وابسته است و ضرورت دارد برای پیشگیری از استمرار این روند، ضوابط تغییر کاربری با جدیت بیشتری اعمال شود.

در حوزه کشاورزی، اراضی زراعی کشت‌شده در سال ۱۳۸۵ مساحتی برابر با ۸۴/۴۳ هکتار داشته‌اند که در مجموع کاهش خالص ۲۴/۹۷ هکتاری نسبت به سال ۱۳۷۰ را تجربه کرده‌اند. این روند بیانگر نزول تدریجی است که می‌تواند در بلندمدت به کاهش تولید کشاورزی منطقه منجر شود تحلیل فرآیند تغییرات نشان می‌دهد که اگرچه ۳۶/۹ هکتار از این اراضی (به عنوان بخش پایدار) کاربری خود را حفظ کرده‌اند، اما خروج ۷۱/۱۵ هکتار از اراضی فعال و تغییر کاربری آن‌ها به اراضی زراعی کشت‌نشده عامل اصلی کاهش تولید بوده است. با وجود اینکه ۴۷/۵۳ هکتار از اراضی کشت‌نشده در این دوره به چرخه کشت بازگشته‌اند، اما این حجم از بازگشت به چرخه، نتوانسته است کسری ناشی از خروج اراضی فعال را جبران کند. این موازنه منفی، نه تنها گویای ناپایداری در الگوی بهره‌برداری است، بلکه به وضوح نشان‌دهنده شکنندگی ساختار تولید و کاهش توان رقابتی کشاورزی در هریس است.

اراضی کشت‌نشده با ۸۶۱/۲۱ هکتار، همچنان بیشترین سهم را در مساحت منطقه دارند. پایداری ۷۹۰/۰۶ هکتار از این اراضی، مؤید حفظ ساختار کلی است، اما کاهش خالص ۹/۵۰ هکتاری که عمدتاً ناشی از تبدیل به ساخت‌وساز و اراضی کشت‌شده بوده، نشان از آغاز یک روند نزولی تدریجی دارد.

در مجموع، شواهد نشان می‌دهد که هریس در مسیر توسعه شهری قرار گرفته است. اگرچه این تغییرات در وضعیت فعلی در حد هشدار جدی نیست، اما تداوم این روند می‌تواند در بلندمدت به کاهش اراضی زراعی و افزایش وابستگی معیشتی بینجامد؛ لذا تدوین سیاست‌هایی برای ایجاد تعادل میان توسعه کالبدی و حفاظت از اراضی کشاورزی، امری ضروری است.



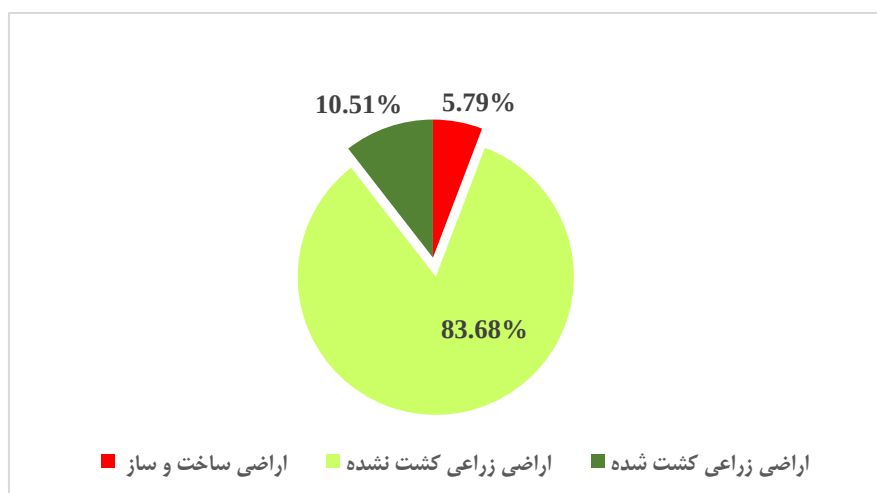
شکل ۲. تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

جدول ۲. ماتریس تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵

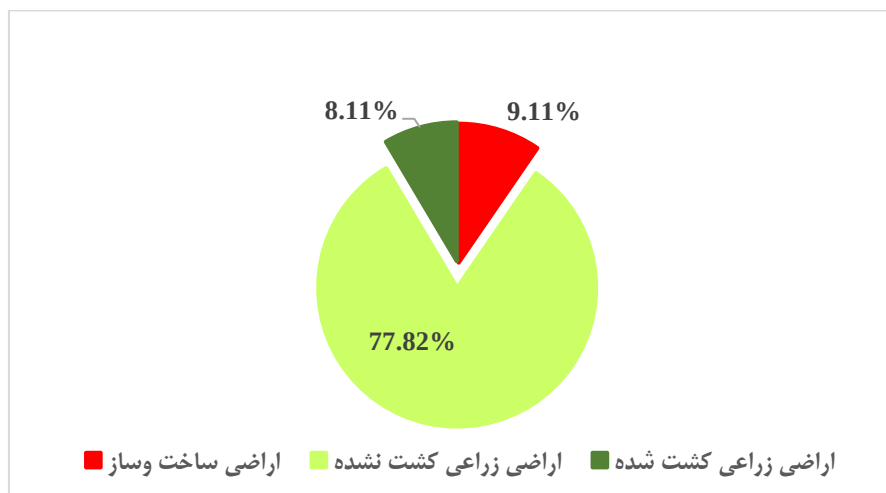
مجموع کاربری	اراضی زراعی کشت شده	اراضی زراعی کشت نشده	ساخت و ساز	۱۳۷۰ / ۱۳۸۵
۹۴/۸۱	۱/۳۵	۳۳/۱۲	۶۰/۳۴	ساخت و ساز
۸۶۱/۲۱	۷۱/۱۵	۷۹۰/۰۶۴	۰	اراضی زراعی کشت نشده
۸۴/۴۳	۳۶/۹	۴۷/۵۳	۰	اراضی زراعی کشت شده
۱۰۴۰/۴۵	۱۰۹/۴	۸۷۰/۷۱	۶۰/۳۴	مجموع کاربری
۱۵۳/۱۵	۴۷/۵۳	۷۱/۱۵	۳۴/۴۷	تغییرات کاربری
۰	-۳۰/۷۸	۳۵۵/۲۳	-۳۲۴/۴۵	تفریق تصاویر

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)



شکل ۳. درصد توزیع کاربری اراضی در سال ۱۳۷۰

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)



شکل ۴. درصد توزیع کاربری اراضی در سال ۱۳۸۵

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

تحلیل تغییرات کاربری اراضی ۱۳۸۵-۱۴۰۰

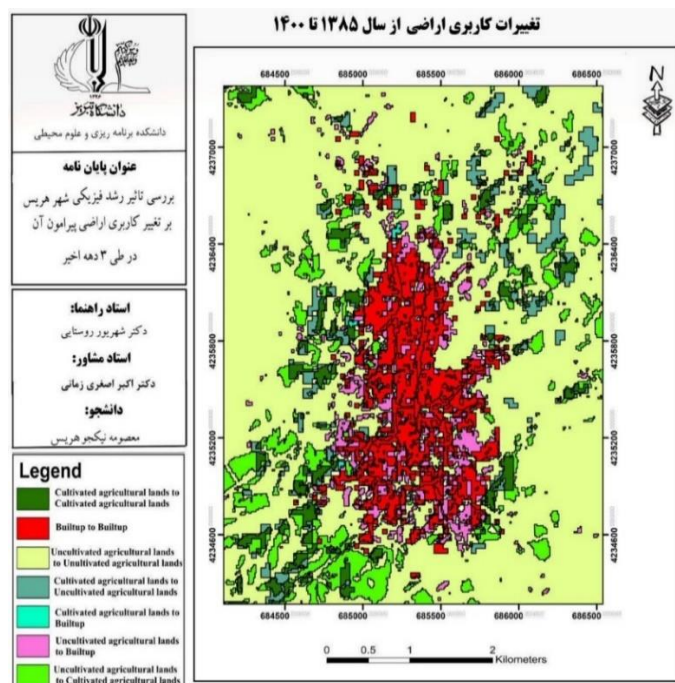
بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰ نشان می‌دهد که حدود ۱۸۶/۱۳ هکتار، معادل ۱۷/۸۸ درصد از کل منطقه، دستخوش تغییر شده است. این رقم در مقایسه با دوره قبل (۱۴/۷۱ درصد)، افزایش یافته و نشان از شتاب گرفتن تحولات در منطقه دارد؛ به گونه‌ای که منطقه از مرحله تحول تدریجی، به مرحله پویایی بالاتر وارد شده است.

اراضی ساخت‌وساز در سال ۱۴۰۰ با ۱۳۹/۴۲ هکتار نسبت به سال ۱۳۸۵ افزایش یافته و تغییر خالص آن برابر با ۴۴/۶۱ هکتار است. نکته مهم این است که این رشد، همانند دوره قبل، از ۴۳/۳۳ هکتار از اراضی کشت‌نشده تأمین شده و در مقیاس کمتر، از اراضی زراعی کشت‌شده بوده است. این امر نشان می‌دهد که فشار توسعه شهری بر زمین‌های کشاورزی مجدداً افزایش یافته که این پدیده، زنگ خطری برای امنیت تولید غذا محسوب می‌شود.

در بخش اراضی کشت‌نشده، با وجود حفظ بیشترین سهم کاربری (۷۶/۰۹ هکتار)، کاهش خالص ۹۴/۱۲ هکتاری رخ داده است. این کاهش عمدتاً ناشی از تبدیل اراضی کشت‌نشده به پهنه‌های ساخت‌وساز است که به معنای خروج همیشگی این اراضی از پتانسیل‌های تولید کشاورزی در آینده است. هرچند بخشی از این زمین‌ها، در حدود ۹۶/۱۹ هکتار، به کشت فعال بازگشته‌اند، اما سهمی که به ساخت‌وساز اختصاص یافته، برای همیشه از چرخه کاربری کشاورزی خارج شده است. در مقابل، حدود ۴۵/۴۰ هکتار از اراضی کشت‌شده به دلیل رهاسازی و افت بهره‌وری، به اراضی کشت‌نشده تغییر کاربری داده‌اند که این موضوع، خود بیانگر شکنندگی در تداوم فعالیت‌های زراعی است.

در سوی دیگر، اراضی کشت‌شده در این دوره با رشد قابل توجهی به ۱۳۳/۹۴ هکتار رسیده و تغییر خالص مثبت ۴۹/۵۱ هکتار را تجربه کرده است. این افزایش که عمدتاً از تبدیل ۹۶/۱۹ هکتار اراضی کشت‌نشده حاصل شده، نشان از احیای نسبی کشاورزی و افزایش بهره‌برداری زراعی در منطقه دارد. اما این احیا، تا حدی ناشی از جابه‌جایی سطح کشت (از کشت‌نشده به فعال) است و نه افزایش کل زمین‌های کشاورزی؛ بنابراین، این روند نه یک پیروزی، بلکه یک تغییر در الگوی کشت محسوب می‌شود.

در مجموع، آنچه از این اعداد برمی‌آید، تشدید رقابت بین مسکن و تولید در منطقه است. افزایش ساخت‌وساز از یک سو و احیای زمین‌های کشت‌شده از سوی دیگر، نشان می‌دهد که منطقه در گذار اقتصادی قرار دارد؛ گذاری که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق برای جلوگیری از تخریب زیست‌محیطی و تضمین توسعه متوازن است. در همین راستا، پیشنهاد می‌شود سیاست‌هایی نظیر تعیین حریم کشاورزی، اخذ عوارض برای تغییر کاربری و حمایت از کشاورزان برای تداوم تولید، در دستور کار قرار گیرد.



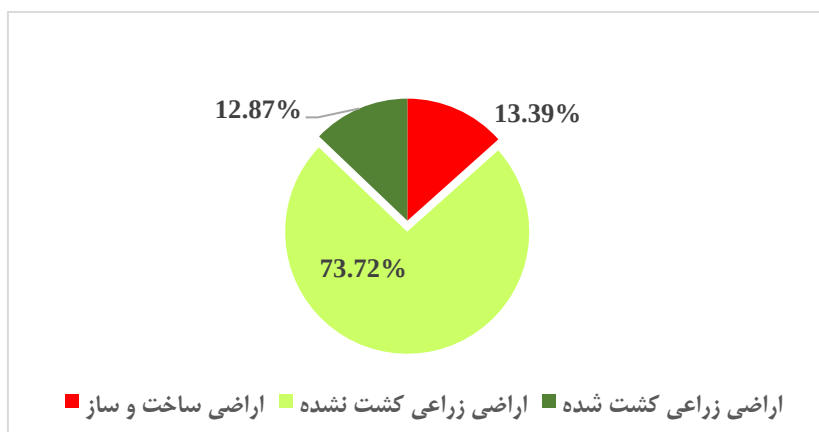
شکل ۵. تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

جدول ۳. ماتریس تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰

مجموع ردیف	اراضی زراعی کشت شده	اراضی زراعی کشت نشده	ساخت و ساز	۱۳۸۵/۱۴۰۰
۱۳۹/۴۲	۱/۲۸	۴۳/۳۳	۹۴/۸۱	ساخت و ساز
۷۶۷/۰۹	۴۵/۴۰	۷۲۱/۶۹	۰	اراضی زراعی کشت نشده
۱۳۳/۹۴	۳۷/۷۵	۹۶/۱۹	۰	اراضی زراعی کشت شده
۱۰۴۰/۴۵	۸۴/۴۳	۸۶۱/۲۱	۹۴/۸۱	مجموع ستون‌ها
۱۸۶/۱۳	۹۶/۱۹	۴۵/۴۰	۴۴/۶۱	تغییرات کاربری
۰	۲۳/۵۱	-۱۳/۴۱	-۱۰/۱۰	تفریق تصاویر

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)



شکل ۶. درصد توزیع کاربری اراضی در سال ۱۴۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

سنجش پراکندگی شهری

در مطالعه حاضر، برای اندازه‌گیری میزان پراکندگی در شهر هریس از روش آنتروپی شانون استفاده شده است این مدل، پدیده رشد بی‌قواره شهری را تجزیه و تحلیل و مقدار آن را تعیین می‌کند. ساختار کلی آن بدین شرح است:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \times \ln(P_i) \quad \text{رابطه ۴}$$

جدول ۴. محاسبه آنتروپی شانون در سال ۱۳۷۰ در شهر هریس

نوع کاربری	مساحت (هکتار)	نسبت (Pi)	Ln (Pi)	Pi × Ln (Pi)
اراضی زراعی کشت شده	۱۰۹/۴	۰/۱۰۵۱	-۲/۲۵۲	-۰/۲۳۶
اراضی زراعی کشت نشده	۸۷۰/۷۱	۰/۸۳۶۹	-۰/۱۷۸	-۰/۱۴۸
اراضی ساخته‌شده	۶۰/۳۴	۰/۰۵۷۹	-۲/۸۴۹	-۰/۱۶۴
جمع کل	۱۰۴۰/۴۵	۱۰۰۰۰	—	-۰/۵۴۸

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

جدول ۵. محاسبه آنتروپی شانون در سال ۱۳۸۵ در شهر هریس

نوع کاربری	مساحت (ha)	نسبت (Pi)	Ln (Pi)	Pi × Ln (Pi)
ساخت‌وساز	۹۴/۸۱	۰/۰۹۱۱	-۲/۳۹۵	-۰/۲۱۸
اراضی زراعی کشت نشده	۸۶۱/۲۱	۰/۸۳۷۸	-۰/۱۸۸	-۰/۱۵۵
اراضی زراعی کشت شده	۸۴/۴۳	۰/۰۸۱۱	-۲/۵۱۲	-۰/۲۰۳
جمع کل	۱۰۴۰/۴۵	—	—	-۰/۵۷۶

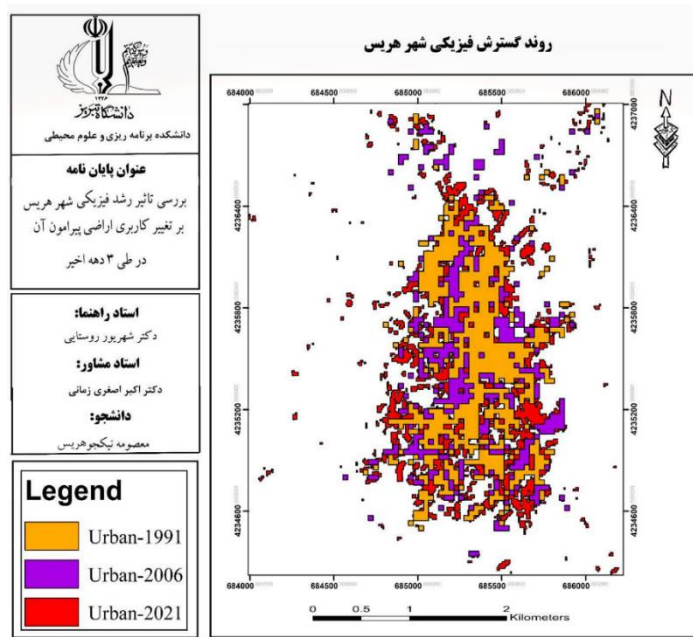
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

جدول ۶. محاسبه آنتروپی شانون در سال ۱۴۰۰ در شهر هریس

نوع کاربری	مساحت (هکتار)	نسبت (Pi)	Ln (Pi)	Pi × Ln (Pi)
ساخت‌وساز	۱۳۹/۴۲	۰/۱۳۴۰	-۲/۰۰۹	-۲/۲۶۹
اراضی زراعی کشت نشده	۷۶۷/۰۹	۰/۷۳۷۲	-۰/۳۰۴	-۰/۲۲۴
اراضی زراعی کشت شده	۱۳۳/۹۴	۰/۱۲۸۸	-۲/۰۴۹	-۰/۲۶۳
جمع کل	۱۰۸۳/۷۱	—	—	-۰/۷۵۶

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

محاسبه شاخص آنتروپی شانون در سه مقطع ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ نشان‌دهنده روند صعودی از $-۰/۵۴۸$ به $-۰/۷۵۶$ است. این افزایش بیانگر گذار از الگوی توسعه فشرده به پراکنده‌روی شهری در هریس می‌باشد. در سال ۱۳۷۰، با غلبه اراضی کشت‌نشده و سهم اندک ساخت‌وساز، تمرکز بالای کاربری‌ها (آنتروپی $-۰/۵۴۸$) نشان‌دهنده ساختار فضایی منسجم و فشرده شهر بود. با افزایش سهم ساخت‌وساز در سال ۱۳۸۵، آنتروپی به $-۰/۵۷۶$ رسید که نشان از شروع پراکندگی و کاهش نظم فضایی داشت. در سال ۱۴۰۰، با افزایش ساخت‌وساز و رشد اراضی کشت‌شده، آنتروپی به $-۰/۷۵۶$ افزایش یافت که بیانگر گسترش پراکنده و نامتمرکز فضاهای شهری است. در مجموع، روند افزایشی شاخص آنتروپی نشان می‌دهد که توسعه کالبدی شهر هریس در دوره مورد بررسی، عمدتاً به‌صورت غیرمتمرکز و همراه با افزایش پراکنش فضایی رخ داده است.

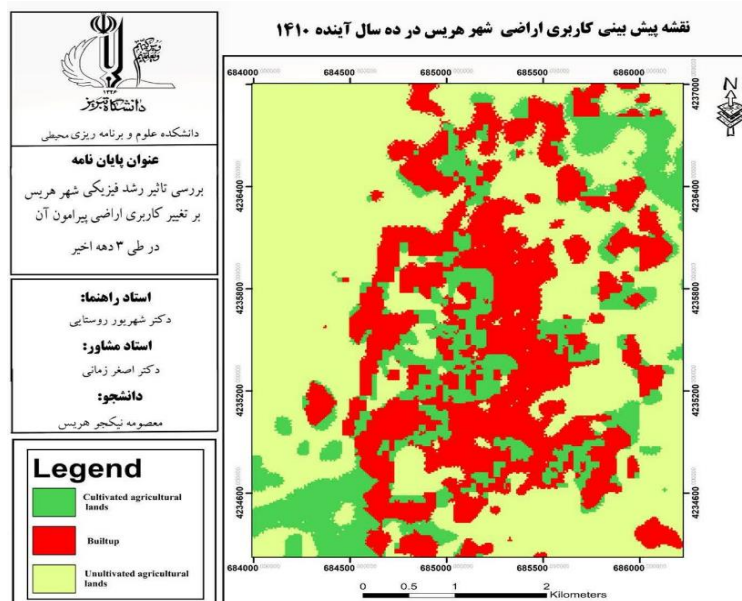


شکل ۷. نقشه روند گسترش فیزیکی شهر هریس
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل سلولی خودکار و CA-Markov

در پژوهش حاضر، زنجیره‌ی مارکوف و مدل سلولی خودکار-مارکوف به منظور پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری اراضی به کار گرفته شده است. تلفیق مدل CA-Markov با داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای و GIS، رویکردی کارآمد و قدرتمند برای تحلیل و پیش‌بینی پویایی‌های کاربری و پوشش زمین فراهم می‌آورد. در این مطالعه، مدل CA-Markov برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی در بازه‌ی زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ مورد استفاده قرار گرفته و روندهای مشاهده‌شده به آینده، یعنی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۱۰، تعمیم و پیش‌بینی شده‌اند.

در این فرآیند، ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به منظور استخراج ماتریس احتمال انتقال مارکوف و ماتریس منطقه‌ی انتقال مورد استفاده قرار گرفتند. این ماتریس‌ها به عنوان پارامترهای کلیدی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به کار گرفته شدند. سپس، داده‌های کاربری اراضی سال ۱۴۰۰ به مدل CA-Markov وارد شد و ماتریس انتقال، همراه با نقشه‌های مطلوبیت سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۷۰، در قالب سناریوی موردنظر اعمال گردید. در این مدل، تعداد ۱۰ تکرار برای فرآیند اتوماسیون سلولی در نظر گرفته شد و برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۱۰، اندازه‌ی پنجره‌ی همسایگی سلولی ۵×۵ لحاظ شد.



شکل ۸. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی شهر هریس در ده سال آینده ۱۴۱۰
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

تحلیل پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۱۰ نشان‌دهنده تداوم و تشدید روندهای مشاهده‌شده در دوره‌های قبل است. اراضی زراعی کشت‌شده از ۱۳۳/۹۴ هکتار (۱۲/۸۷٪) به ۱۲۴/۰۹ هکتار (۱۲/۰٪) کاهش یافته و ۹/۸۵ هکتار از این اراضی تغییر کاربری داده‌اند. این کاهش، اگرچه در ظاهر ناچیز به نظر می‌رسد، اما از آنجا که اراضی کشت‌شده به‌عنوان کاربری با ارزش افزوده بالا در چرخه کشاورزی محسوب می‌شوند، خروج هر هکتار از این اراضی می‌تواند تأثیر مستقیمی بر تولیدات کشاورزی منطقه داشته باشد از سوی دیگر، اراضی کشت‌نشده از ۷۶۷/۰۹ هکتار (۷۷/۱۹٪) به ۶۷۰/۵۸ هکتار (۶۴/۴۶٪) کاهش یافته و ۹۶/۵۱ هکتار از دست رفته است. این حجم از کاهش، نشان‌دهنده آن است که اراضی کشت‌نشده (که به‌عنوان منابع بالقوه برای احیای کشاورزی محسوب می‌شوند) به‌سرعت در حال تبدیل به سایر کاربری‌ها هستند که بازگشت آنها به چرخه کشاورزی تقریباً غیرممکن خواهد بود در همین بازه، مساحت مناطق شهری از ۱۳۹/۴۲ هکتار (۱۳/۳۹٪) به ۲۴۵/۷۸ هکتار (۲۳/۶۲٪) افزایش یافته و ۱۰۶/۳۶ هکتار به توسعه شهری اختصاص یافته است.

نکته قابل‌تأمل در این پیش‌بینی‌ها، جهش ۷۶ درصدی مناطق شهری در تنها ۱۰ سال است که فراتر از نرخ رشد جمعیت می‌باشد. این ناهماهنگی نشان می‌دهد که توسعه شهری در هریس، نه بر اساس نیاز واقعی جمعیت، بلکه تحت تأثیر عوامل اقتصادی (نظیر افزایش قیمت زمین و سرمایه‌گذاری در بخش مسکن) و زیرساختی (نزدیکی به جاده‌های ارتباطی) در حال رخ دادن است.

پیامدهای این روند برای هریس، هشدار جدی برای مدیریت شهری است. بنابراین، در صورت تداوم این روند، هریس با چالش‌هایی نظیر کاهش امنیت غذایی، افزایش وابستگی به واردات محصولات کشاورزی و تخریب زیست‌محیطی مواجه خواهد شد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که گسترش شهرها اصلی‌ترین عامل تغییر در الگوی کاربری اراضی بوده و بخش عمده‌ای از رشد شهری آینده بر اراضی کشاورزی متمرکز خواهد شد، که پیش‌بینی‌ها با روند واقعی همخوانی دارد.

جدول ۷. پیش‌بینی درصد تغییرات کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۱۰

نوع کاربری	۱۴۰۰		۱۴۱۰	
	مساحت(ha)	درصد	مساحت(ha)	درصد
اراضی زراعی کشت شده	۱۳۳/۹۴	۱۲/۸۷	۱۲۴/۰۹	۱۲/۰۰
شهر	۱۳۹/۴۲	۱۳/۳۹	۲۴۵/۷۸	۲۳/۶۲
زمین‌های زراعی کشت نشده	۷۶۷/۰۹	۷۷/۱۹	۶۷۰/۵۸	۶۴/۴۵

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۵)

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات کاربری اراضی در شهر هریس طی سه دهه اخیر نشان‌دهنده دگرگونی عمیق در ساختار فضایی این شهر است؛ به گونه‌ای که الگوی سنتی کشاورزی به تدریج جای خود را به توسعه شهری داده است. نتایج حاکی از آن است که در سال ۱۳۷۰، بخش اعظم اراضی (تقریباً ۹۰ درصد) به صورت زمین‌های زراعی کشت‌نشده بوده و مناطق شهری سهم اندکی از کل مساحت را به خود اختصاص داده بودند. در طول این دوره زمانی، تغییرات چشمگیری در کاربری اراضی مشاهده گردید؛ از جمله کاهش اراضی زراعی کشت‌نشده به حدود ۷۶۷/۰۹ هکتار، در حالی که مساحت مناطق شهری به تدریج افزایش یافته و از مرز ۱۳۹ هکتار فراتر رفت. اراضی زراعی کشت‌شده نیز که در دوره اول (۱۳۷۰-۱۳۸۵) با کاهش قابل‌ملاحظه‌ای روبرو بود، از دوره دوم (۱۳۸۵-۱۴۰۰) روند افزایشی را تجربه کرده است. گسترش شهر هریس عمدتاً به سمت جاده اهر، جاده تبریز و محور مشگین‌شهر بوده است؛ زیرا این محورهای مواصلاتی دسترسی به اراضی حاشیه‌ای را تسهیل کرده و ارزش زمین را در این مسیرها افزایش داده‌اند. از سوی دیگر، نبود فرصت‌های شغلی پایدار در خود شهر، یکی از دلایل اصلی رکود رشد و مهاجرت فرستی محسوب می‌شود که خود به نوعی فشار بر اراضی کشاورزی را تشدید کرده است، زیرا تمایل به ساخت‌وسازهای غیرمجاز و فروش زمین‌های کشاورزی به عنوان یک منبع درآمد سریع افزایش یافته است.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که کاهش اراضی کشت‌شده و افزایش ساخت‌وساز در هریس، الگویی مشابه با سایر شهرهای کشور دارد. سعیدی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه شهر همدان، افزایش چشمگیر اراضی ساخته‌شده را طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴ گزارش کردند و نشان دادند که بخشی از این گسترش، بر اثر تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی و باغی پیرامون صورت گرفته است. پورمحمدی و همکاران (۲۰۰۸) نیز با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست، رشد برجسته توسعه شهری پارس‌آباد مغان را با تخریب اراضی بایر و مزارع پیرامونی همراه دانستند. در سطح منطقه‌ای، قدرتی‌آذر (۲۰۱۸) در مطالعه تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اکولوژیک شهر عجب‌شیر، نشان داد که گسترش فضایی شهر موجب افزایش اراضی تحت ساخت‌وساز و در مقابل، کاهش پهنه‌های اکولوژیک و تغییر در الگوی کاربری زمین شده است. هم‌سویی یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های یادشده، بیانگر آن است که تخریب اراضی حاصل‌خیز پیرامون شهرها، صرف‌نظر از مقیاس‌های مکانی، الگویی تکرارشونده در فرایند رشد فیزیکی است. با این حال، برخلاف مطالعه قدرتی‌آذر که توسعه عجب‌شیر را عمدتاً در محور شرقی شناسایی کرده، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گسترش هریس عمدتاً در ضلع جنوبی و شمالی به سمت جاده‌های ارتباطی متمرکز شده است. این تفاوت، نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده عوامل موقعیتی و زیرساختی در تعیین جهت توسعه شهری است.

در سطح بین‌المللی، اجمل و جمال (۲۰۲۱) نشان دادند که در حومه شهر علیگر، روند رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی منجر به نفوذ بافت ساخته‌شده به مناطق بسیار نزدیک به کشتارگاه‌ها شده است که در آینده منجر به ادغام این

زیرساخت‌های صنعتی در دل سکونتگاه‌های شهری خواهد شد. ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) نیز با ترکیب تصاویر لندست و داده‌های سرشماری در شهرستان کولین تگزاس، تبدیل اراضی مزروعی به سطوح ساخته‌شده را به عنوان دگرگونی اصلی شناسایی کردند که با یافته‌های این پژوهش در مورد تبدیل اراضی کشت‌نشده به ساخت‌وساز مطابقت دارد.

روند افزایشی شاخص آنتروپی شانون از ۰/۵۴۸- در سال ۱۳۷۰ به ۰/۷۵۶- در سال ۱۴۰۰، بیانگر پراکندگی بیشتر و توسعه نامتمرکز شهری در شهر هریس است که نشان می‌دهد توسعه کالبدی شهر عمدتاً به صورت غیرمتمرکز و همراه با افزایش پراکنش فضایی رخ داده است. این پراکندگی که ناشی از جذابیت اراضی حاشیه‌ای برای اهالی این شهر بوده، می‌تواند چالش‌های اکولوژیک بیشتری را در آینده ایجاد نماید، از جمله افزایش سطح تماس لبه‌های شهر با اراضی کشاورزی و تشدید تکه‌تکه شدن زیست‌گاه‌های طبیعی. این یافته با پژوهش چترجی و محمودار (۲۰۲۲) در کلکته هم‌سو است که ارتباط میان رشد شهری و کاهش پوشش گیاهی را با تشدید جزیره گرمایی شهری پیوند زدند. همچنین، یو و همکاران (۲۰۲۲) در چین به تأثیر سرمایه‌گذاری املاک و مستغلات و روند شهرنشینی بر کاهش زمین‌های کشاورزی اشاره کردند که با الگوی توسعه هریس به سمت جاده‌های ارتباطی و افزایش تقاضای زمین برای ساخت‌وساز هم‌سو است. صوفی بوکبران و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای در شهر تبریز نشان دادند که گسترش شهری به سمت اراضی کشاورزی مرغوب، با کاهش پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح همراه بوده است. این یافته با نتایج پژوهش حاضر در مورد گسترش هریس به سمت اراضی کشاورزی هم‌سو است و بیانگر آن است که پیامدهای زیست‌محیطی گسترش شهری، نه تنها در کلان‌شهرها، بلکه در شهرهای کوچک نیز قابل مشاهده است.

مقایسه با پژوهش‌های پیشین در زمینه پیامدهای اقتصادی حاج‌علیزاده (۲۰۱۸) در مطالعه شهر اردبیل، ضمن ارزیابی تغییرات کاربری اراضی، بر پیامدهای اقتصادی گسترش شهری، از جمله افزایش هزینه‌های ساخت‌وساز و خدمات شهری، تأکید کرد. این یافته با نتایج پژوهش حاضر در مورد افزایش هزینه‌های زیرساختی ناشی از توسعه پراکنده در هریس هم‌خوانی دارد.

دقت مدل CA-Markov در این پژوهش، با ضریب کاپای ۰/۸۵ و خطای کلی حدود ۱۵ درصد، قابلیت بالای این مدل را در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تأیید می‌کند. پیش‌بینی‌های مربوط به سال ۱۴۱۰، جهش قابل‌توجهی در توسعه شهری را نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که انتظار می‌رود سهم اراضی ساخته‌شده به بیش از ۲۳ درصد از کل مساحت افزایش یابد. در مقابل، اراضی زراعی کشت‌شده و اراضی زراعی کشت‌نشده با کاهش محسوسی مواجه خواهند شد که احتمالاً بخشی از آنها به منظور ساخت‌وساز تغییر کاربری داده یا برای توسعه‌های آتی آماده‌سازی می‌شوند. این یافته با نتایج طاهر و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای در شهر لاهور (پاکستان) هم‌سو است؛ آنان نیز با استفاده از مدل CA-Markov نشان دادند که گسترش شهری با کاهش چشمگیر اراضی طبیعی همراه بوده است. همچنین، الشریف و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای در عربستان سعودی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف نشان دادند که گسترش شهری با کاهش چشمگیر مراتع، جنگل‌ها و اراضی بایر همراه بوده است که با الگوی گسترش هریس به سمت اراضی کشاورزی نیز هم‌سو است. این هم‌سویی، بیانگر کارایی مدل CA-Markov در تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در شهرهای با اندازه‌های مختلف است و ضرورت توجه به پیامدهای زیست‌محیطی گسترش شهری را در شهرهای کوچک نیز آشکار می‌سازد.

از منظر علمی، طبق یافته‌های این پژوهش الگوی رشد شهر هریس، اگرچه با سایر شهرهای کوچک استان هم‌سو است، اما جهت‌گیری و شدت آن تحت تأثیر عوامل موقعیتی همچون نزدیکی به جاده‌های ارتباطی، محدودیت‌های طبیعی قرار دارد. این یافته، نظریه توسعه وابسته به مسیر را در مقیاس محلی تقویت می‌کند؛ بدین معنا که الگوی کنونی توسعه در هریس، نتیجه انباشت تصمیمات و سرمایه‌گذاری‌های گذشته است که مسیرهای آتی توسعه را محدود و جهت‌دار کرده است.

در حالت کلی پیامدهای تغییرات کاربری اراضی در هریس را می‌توان در سه سطح تحلیل کرد. در بعد اقتصادی، تغییر

کاربری اراضی کشاورزی به ساخت‌وساز، هرچند در کوتاه‌مدت منجر به افزایش درآمد حاصل از فروش زمین می‌شود، اما در بلندمدت به کاهش تولیدات کشاورزی، افزایش قیمت مواد غذایی و کاهش درآمد کشاورزان می‌انجامد همچنین، توسعه پراکنده شهری هزینه‌های زیرساختی را افزایش داده و بار مالی مضاعفی را بر مدیریت شهری تحمیل می‌کند. در بعد اجتماعی، نبود فرصت‌های شغلی پایدار در خود شهر، یکی از دلایل اصلی مهاجرفرستی بوده است. این خروج جمعیت، هویت کشاورزی شهر را تضعیف کرده و نسل جوان را از مشاغل کشاورزی دور ساخته است. در بعد زیست‌محیطی، افزایش شاخص آنتروپی از ۰/۵۴۸- به ۰/۷۵۶- نشان‌دهنده گذار از توسعه فشرده به الگوی پراکنده‌روی شهری است که موجب افزایش سطح تماس لبه‌های شهر با اراضی کشاورزی، تکه‌تکه شدن زیست‌گاه‌های طبیعی و فرسایش خاک می‌شود.

دلایل اصلی تغییرات کاربری اراضی در هریس را می‌توان در دو عامل دسته‌بندی کرد. عامل طبیعی: موقعیت جغرافیایی و محدودیت‌های توپوگرافی (ارتفاعات شرقی و شمال‌غربی، سطح بالای آب در جنوب‌غربی) باعث شده تا توسعه شهری به سمت اراضی کشاورزی و جاده‌های ارتباطی سوق یابد. عامل اقتصادی: افزایش قیمت زمین در مرکز شهر، سرمایه‌گذاران را به سمت اراضی کم‌بها در حاشیه سوق داده است. همچنین، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های حمل‌ونقل (جاده‌های اهر، تبریز و مشگین‌شهر) ارزش زمین را در این مسیرها افزایش داده است. عامل اجتماعی: افزایش طبیعی جمعیت، مهاجرت روستاییان و نیز مهاجرت افراد جویای کار از شهرهای دیگر (برای کار در نیروگاه سیکل ترکیبی هریس)، تقاضا برای مسکن را افزایش داده و فشار بر اراضی حاشیه‌ای را تشدید کرده است. عامل نهادی و مدیریتی: ضعف نظارت بر تغییر کاربری اراضی و نبود سیاست‌های تشویقی مؤثر برای حفظ کشاورزی، عملاً تغییر کاربری اراضی حاشیه را تسهیل کرده است.

به طور کلی یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گسترش هریس عمدتاً به صورت تدریجی به سمت جاده‌های ارتباطی متمرکز شده است که تداوم روند فعلی بدون اعمال سیاست‌های نظارتی، پیامدهای جبران‌ناپذیری نظیر تخریب اراضی مرغوب کشاورزی، تنزیل تنوع زیستی و تشدید روان‌آب‌های سطحی را در پی خواهد داشت. لذا، گذار از توسعه بی‌رویه به سمت توسعه پایدار، مستلزم اتخاذ رویکردهای مدیریت جامع زمین است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، راهکارهای زیر برای جلوگیری از تخریب اراضی کشاورزی و هدایت توسعه پایدار در شهر هریس ارائه می‌شود:

راهکارهای کالبدی-فضایی: نوسازی بافت‌های فرسوده و کم‌کاربرد در محدوده فعلی شهر (به ویژه در هسته اولیه اطراف مسجد جامع و بازار تاریخی) به جای گسترش فیزیکی در اراضی کشاورزی و باغی، گسترش فیزیکی شهر تنها پس از بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌های درونی و به صورت جهت‌دار با تراکم ساختمانی پایین (حداقل ۸۰ درصد فضای سبز) در اراضی دیم یا کم‌بازده انجام شود، ایجاد کمربند سبز در پیرامون محدوده کالبدی شهر برای جلوگیری از گسترش بی‌رویه و حفظ اراضی کشاورزی حاصل‌خیز (به ویژه زمین‌های پایین‌دست با حاصل‌خیزی بالا و دسترسی مناسب به منابع آبی)، طراحی برنامه‌های توسعه فیزیکی بر اساس مطالعه ظرفیت اراضی، توان زیرساختی و نیاز واقعی جمعیت، **راهکارهای اقتصادی-معیشتی:** حمایت از صنایع تبدیلی محصولات کشاورزی، مشاغل خانگی و صنایع دستی محلی از جمله فرش هریس (که شهرت جهانی دارد) و فطیر معروف این شهر برای ایجاد اشتغال پایدار و جلوگیری از مهاجرفرستی، اتخاذ سیاست‌های تشویقی برای توسعه کشاورزی و باغداری به منظور جلوگیری از رها کردن زمین‌های اطراف، ارائه تسهیلات مالی (وام بانکی)، بخشودگی مالیاتی، بیمه و تضمین خرید محصولات کشاورزی برای افزایش انگیزه کشاورزان و کاهش تمایل به تغییر کاربری، **راهکارهای زیرساختی-حمل‌ونقلی:** ارتقای راه‌های دسترسی و حمل‌ونقل عمومی برای تقویت تعامل اقتصادی و اجتماعی با تبریز، اهر و مشگین‌شهر، بهبود زیرساخت‌های شهری در بافت موجود به جای گسترش به حاشیه و افزایش هزینه‌های زیرساختی، **راهکارهای نظارتی-پایشی:** استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی GIS جهت رصد تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی روند رشد آینده به منظور مانع شدن از شکل‌گیری ساخت‌وسازهای غیرمجاز و بی‌ضابطه، کنترل و نظارت دقیق بر خرید و فروش اراضی کشاورزی و برخورد جدی با ساخت‌وسازهای غیرمجاز،

بر کردن خلأهای قانونی حمایت از اراضی کشاورزی و برخورد جدی با عاملان تخریب، نهادهای مدیریت شهری می‌بایست با به‌کارگیری پایش‌های مستمر مبتنی بر GIS و سنجش از دور، بر روند توسعه فضایی نظارت داشته و سیاست‌های خود را بر اساس ضرورت‌های حفظ منابع طبیعی بازنگری نمایند؛ در نهایت، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، متغیرهای اقلیمی (بارندگی، دما و خشکسالی) و اقتصادی (قیمت زمین و محصولات کشاورزی) نیز به مدل CA-Markov اضافه شوند تا دقت پیش‌بینی‌ها افزایش یابد و برنامه‌ریزی شهری مبتنی بر شواهد دقیق‌تری انجام شود.

References:

1. Ajmal, U., & Jamal, S. (2021). Analyzing land-use land-cover change and future urban growth with respect to the location of slaughterhouses in Aligarh city outskirts. *Journal of Environmental Challenges*, 5(2), 10-25. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100331>
2. Alonso, W. (1964). *Location and land use*. Cambridge. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674730854>
3. Alsharif, M., Alzandi, A. A., Shrahily, R., & Mobarak, B. (2022). Land use land cover change analysis for urban growth prediction using Landsat satellite data and Markov chain model for Al Baha region Saudi Arabia. *Journal of Forests*, 13(10), 15-30 <https://doi.org/10.3390/f13101530>
4. Aneseyee, A. B., Elias, E., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2020). Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, Omo Gibe Basin. *Journal of Ethiopia. Science of the Total Environment*, 728(4), 138-152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138776>
5. Badiei Azandahi, M., & Hosseini Nasrabadi, N. S. (2020). A systemic approach to the city as a political-spatial system from the perspective of Cohen and Soja. *Journal of Geopolitics*, 16(2), 157-186. <https://dor.isc.ac.ir/dor/20.1001.1.17354331.1399.16.58.6.4> [In Persian].
6. Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., & Marschalko, M. (2010). Landslide susceptibility assessment of the Kralovany-Liptovsky Mikulas Railway case study. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 35(3), 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.002>
7. Breckling, B., Pe'er, G., & Matisons, G. (2011). *Modeling complex ecological dynamics*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05029-9_8
8. Brueckner, J. K., & Fansler, D. A. (1983). The economics of urban sprawl: Theory and evidence on the spatial size of cities. *Journal of The Review of Economics and Statistics*, 65(3), 479-482. <https://doi.org/10.2307/1924193>
9. Comprehensive plan of Heris County. (2011). *Organization of Management and Planning of East Azerbaijan Province*. [In Persian]
10. Chatterjee, U., & Majumdar, S. (2022). Impact of land use change and rapid urbanization on urban heat island in Kolkata city: A remote sensing-based perspective. *Journal of Urban Management*, 11(1), 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.002>
11. Farhoodi, R., Pourmousavi, S. M., Hosseini, S. A., & Hosseini, S. M. (2014). An analysis of the horizontal expansion of Mashhad city in recent decades (1956-2006) and its impact on soil resources. *Journal of Geography and Planning*, 18(50), 28-259. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_3133.html [In Persian].
12. Ghaffari Gilandeh, A., Kazemi, F., & Bagdilo, M. (2012). *An analysis of the impact of migration on land-use change trends (Case study: surrounding areas of Parsabad City)*. Proceedings of the Fourth National Conference on Urban Planning and Management. <https://civilica.com/doc/164766> [In Persian]
13. Ghodrati Azar, M. (2018). *Analysis of spatial-physical expansion and its impact on ecological changes*. Master's thesis, University of Tabriz. [In Persian]
14. Haj Alizadeh, A. (2018). Evaluation of land-use change and horizontal urban expansion with emphasis on the role of urban economy (Case study: Ardabil City). *Journal of Geography*, 16(57), 19-29. <https://civilica.com/doc/1489029/> [In Persian]
15. Haqbin, M., & Daryabari, S. J. (2017). Analysis of urban land-use change (Case study: District 1, Tehran). *Journal of New Attitudes in Human Geography*, 9(4), 111-119. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.66972251.1396.9.4.7.4> [In Persian]
16. Hossein-Zadeh Dalir, K., & Hooshyar, H. (2006). Views, factors, and elements affecting the physical development of Iranian cities. *Journal of Geography and Regional Development*, 10(6), 1-24. <https://doi.org/10.22067/geography.v4i6.3113> [In Persian].

17. Isapour, R., & Majd Rahimabadi, M. (2015). Analysis of factors affecting physical development of Rahimabad City (Rudsar County) during the last two decades. *Journal of Regional Planning*, 5(17), 135–150. https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_725.html [In Persian]
18. Karimi Firouzjaei, M., Kiavarz, M., & Kalantari, M. (2018). Monitoring and prediction of land-use changes and physical expansion of Babol City during 1985-2040 using multi-temporal Landsat images. *Journal of Physical Development Planning*, 3(7), 32–52. <https://doi.org/10.30473/psp.2018.5257> [In Persian]
19. Khalili-Araghi, M. (1988). *Identification of factors affecting the urban sprawl of Tehran*. University of Tehran, Ers International Campus Library. [In Persian].
20. Li, B., Yang, Z., Cai, Y., Xie, Y., Guo, H., Wang, Y., Zhang, P., Li, B., Jia, Q., Huang, Y., & Qi, Z. (2022). Prediction and valuation of ecosystem service based on land use/land cover change: A case study of the Pearl River Delta. *Journal of Ecological Engineering*, 179(4), 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106612>
21. Moradi, A., Gholami, M., Sheibani Amin, I., & Bakhtiari Kia, M. (2016). *The role of factors affecting the physical development of cities in the physical development of Zabol city*. Proceedings of the Second International Conference on Research in Civil Engineering, Architecture, Urbanism and Sustainable Environment. <https://civilica.com/doc/529153> [In Persian].
22. Mohammad Sharifi, M., Hayati, B., Pishbahar, E., & Dashti, G. (2020). Factors affecting on agricultural land use change in the Dezful County. *Journal of Agricultural Economics Research*, 12(45), 25–45. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086407.1399.12.45.2.2>
23. Nasiri, E., & Naser-Moqbel, M. (2014). Analysis of factors affecting physical development of small cities. *Journal of Urban Management Studies*, 6(19), 43–53. <https://sanad.iau.ir/Journal/ums/Article/824618> [In Persian]
24. Pourmohammadi, M. R., & Jam-Kasra, M. (2011). An analysis of the unbalanced development pattern of Tabriz. *Journal of Geographical Research*, 25(100), 36–54. https://journals.ui.ac.ir/article_17882.html [In Persian]
25. Pourmohammadi, M. R., Jamali, F., & Asghari Zamani, A. (2008). Evaluation of spatial-physical expansion of Zanjan City with emphasis on land-use change during 1975-2005. *Journal of Geographical Research*, 40(63), 29–46. https://jrg.ut.ac.ir/article_19262.html [In Persian]
26. Rezaei, M. (2005). *Physical-spatial development of the city and its environmental role: Shiraz city*. Master's thesis, Tarbiat Modares University. [In Persian]
27. Saeidi, A., Taleshi, M., Kazemi Mahdi, M., & Zianoushin, M. M. (2016). The role of rural sprawl and land-use change (Case study: villages around Hamadan City). *Journal of Geography*, 14(50), 5–35. https://mag.iga.ir/article_253514.html [In Persian]
28. Soufi Boukbaran, O., Valizadeh Kamran, K., & Rostamzadeh, H. (2022). Investigating land use changes due to urban growth and its effect on thermal patterns using remote sensing techniques (Case study: Tabriz City). *Journal of Application of Remote Sensing and GIS in Environmental Sciences*, 1(4), 37–56. <https://doi.org/10.22034/rsg.2023.15837> [In Persian]
29. Shams, M., & Haji Malayeri, P. (2009). Physical development and its impact on land-use changes in Malayer City. *Journal of Environmental Planning*, 2(7), 75–91. <https://www.sid.ir/paper/391209/fa> [In Persian]
30. Statistical yearbook of East Azerbaijan Province. (2021). *Plan and Budget Organization of East Azerbaijan Province*. <https://www.amar.org.ir/> [In Persian]
31. Tahir, Z., Haseeb, M., Mahmood, S. A., Batool, S., Abdullah-Al-Wadud, M., Ullah, S., & Tariq, A. (2025). Land use and land cover change assessment and future prediction using CA-Markov modelling and GIS techniques. *Journal of Scientific Reports*, 15(1), 28-39. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87796-w>
32. Yu, M., Chen, Z., Long, Y., & Mansury, Y. (2022). Urbanization, land conversion, and arable land in Chinese cities: The ripple effects of high-speed rail. *Journal of Applied Geography*, 146(4), 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102756>
33. Zargari, M., Mofidi, A., Entezari, A., & Baaghdeh, M. (2024). Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. *Journal of Scientific Reports*, 14(1), 643-654. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50757-2>
34. Zhang, B., Li, W., & Zhang, C. (2022). Analyzing land use and land cover change patterns and population dynamics of fast-growing US cities. *Journal of Evidence from Collin County, Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27(4), 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100804>