



## Analysis of the Urban Growth Pattern During the Last Two Decades Through Spatial Metrics; Case Study: Shiraz City

Amirhosein Bagheri<sup>1</sup> | Mojtaba Arasteh<sup>2</sup> | Khalil Hajipoor<sup>3</sup>

1. Department of Urban planning, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2. Corresponding author, Department of Urban planning, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: [m.arasteh@shirazu.ac.ir](mailto:m.arasteh@shirazu.ac.ir)

3. Department of Urban planning, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

### Article Info

### ABSTRACT

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

**Received:** 12 Jul 2024

**Received in revised form:** 04 Oct 2024

**Accepted:** 04 Oct 2024

**Available online:** 21 Dec 2024

#### Keywords:

Urban growth patterns,  
Urban sprawl,  
shannon's entropy,  
Landscape indices,  
Landscape expansion index,  
Shiraz city.

Urbanization is a widespread phenomenon worldwide, especially in developing countries, and it has an irreversible effect on the environment and land use. Therefore, it is necessary to identify and understand urban growth patterns to guide future urban growth patterns toward sustainable development through appropriate spatial policies. According to this need, the present study aims to calculate the urban growth rate and identify the growth patterns and the resulting changes in the urban landscape pattern in Shiraz metropolitan in the period from 2001 to 2023. Using Landsat satellite images, satellite image classification maps were obtained in 2001, 2013, and 2023. After that, to increase the accuracy of measuring the growth patterns of Shiraz metropolitan, from the combination of 4 spatial criteria of urban expansion intensity index, Shannon entropy, landscape indices, and landscape expansion index, in general, and sub-scales (in 8 geographical directions and 2 km distances from the center) was used. The results showed that the growth pattern of Shiraz metropolitan is scattered and has intensified over time. It was also found that the growth rate and pattern of Shiraz metropolitan areas are different in each direction and distance. The urban expansion intensity index showed that the highest speed of expansion in these 22 years was related to the south, southwest, and northwest regions. Shannon's entropy and landscape indices showed that the northwest and south regions have the highest amount of dispersion. Finally, the landscape expansion index identified the dominant pattern of urban growth in Shiraz metropolitan as the edge expansion pattern. It was found that the highest percentage of outlying expansion also occurred in the south and northwest regions.

**Cite this article:** Bagheri, A., Arasteh, M., & Hajipoor, Kh. (2024). Analysis of the Urban Growth Pattern During the Last Two Decades Through Spatial Metrics; Case Study: Shiraz City. *Geography and Environmental Sustainability*, 14 (4), 1-19. <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10846.2771>



© The Author (s).

DOI: <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10846.2771>

Publisher: Razi University

## واکاوی الگوهای رشد شهری در بازه زمانی ۲۰ ساله بر اساس فنون تحلیل فضایی؛ نمونه موردی: شهر شیراز

امیرحسین باقری<sup>۱</sup>، مجتبی آراسته<sup>۲</sup>، خلیل حاجی پور<sup>۳</sup>

۱. بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. نویسنده مسئول، بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: [m.arasteh@shirazu.ac.ir](mailto:m.arasteh@shirazu.ac.ir)
۳. بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی</p> <p><b>تاریخچه مقاله:</b></p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۰۴/۲۲</p> <p><b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۰۷/۱۳</p> <p><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۳/۰۷/۱۳</p> <p><b>دسترسی آنلاین:</b> ۱۴۰۳/۱۰/۰۱</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b></p> <p>الگوهای رشد شهری، پراکنده‌روی شهری، آنتروپی شانون، شاخص‌های منظر، شاخص گسترش چشم‌انداز.</p>	<p>شهرنشینی پدیده‌ای بسیار رایج در سرتاسر جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است و تأثیر بازگشت‌ناپذیری بر محیط‌زیست و کاربری اراضی دارد. از این‌رو، شناسایی و درک الگوهای رشد شهری به‌منظور هدایت الگوهای رشد شهری آینده به سمت توسعه پایدار از طریق سیاست‌های فضایی مناسب، ضروری است. با توجه به این نیاز، هدف مطالعه حاضر محاسبه نرخ رشد شهری، شناسایی الگوهای رشد و تغییرات حاصله در الگوی منظر شهرنشینی در شهر شیراز در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲ است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌اندست، نقشه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ به‌دست آمد. پس از آن به منظور افزایش دقت سنجش الگوهای رشد شهر شیراز، از ترکیب ۴ معیار فضایی شاخص شدت گسترش شهر، آنتروپی شانون، شاخص‌های منظر و شاخص گسترش منظر، در مقیاس‌های کلی و فرعی (در ۸ جهت جغرافیایی و فواصل ۲ کیلومتری از مرکز) استفاده شد. نتایج نشان داد الگوی رشد شهر شیراز پراکنده بوده و با گذشت زمان تشدید شده است. همچنین مشخص گردید میزان و الگوی رشد شهر شیراز در جهات و فواصل مختلف، متفاوت است. شاخص شدت گسترش نشان داد بیشترین سرعت گسترش در این بازه ۲۲ ساله مربوط به محدوده‌های جنوب، جنوب‌غربی و شمال‌غربی بوده است. آنتروپی شانون و شاخص‌های منظر نشان دادند محدوده‌های شمال‌غربی و جنوب بیشترین مقدار پراکندگی را دارند. در نهایت شاخص گسترش منظر الگوی غالب رشد شهری در شهر شیراز را الگوی رشد لبه‌ای شناسایی کرد. همچنین مشخص گردید بیشترین درصد گسترش بیرونی نیز در نواحی جنوب و شمال‌غربی رخ داده است.</p>

استناد: باقری، امیرحسین؛ آراسته، مجتبی؛ حاجی‌پور، خلیل (۱۴۰۳). واکاوی الگوهای رشد شهری در بازه زمانی ۲۰ ساله بر اساس فنون تحلیل فضایی؛ نمونه موردی: شهر شیراز. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۴ (۴)، ۱-۱۹. <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10846.2771>

## مقدمه

در سال ۲۰۱۸، مناطق شهری ۵۵ درصد از جمعیت جهان را تشکیل می‌دادند و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰، نسبت جمعیت شهرنشین جهان به ۶۸ درصد برسد (Cao et al., 2022; Zhao et al., 2015). به منظور تطبیق این رشد شهری، زمین از یک کاربری یا پوشش طبیعی به شکلی از زمین ساخته‌شده شهری تبدیل می‌شود. گسترش زمین شهری به عنوان جنبه مهمی از تغییر کاربری/پوشش زمین نقش حیاتی در محیط‌زیست و توسعه اقتصادی در سطح جهانی ایفا می‌کند. این دگرگونی یکی از قدرتمندترین، بازگشت‌ناپذیرترین و مشهودترین تأثیرات انسان بر محیط‌زیست است (Arifeen et al., 2021; Cheng et al., 2022; Nong et al., 2018).

رشد شهر با مزایای اقتصادی بسیاری همراه است. با این حال، نمی‌توان هزینه‌های زیان‌آور محیطی و اجتماعی و مسائل پایداری مرتبط با آن را نادیده گرفت (K & Angadi, 2021; Liang et al., 2020; Rimal et al., 2020). اگرچه مجموع نواحی شهری درصد ناچیزی از سطح کره زمین را تشکیل داده است (Pradhan et al., 2017)، اما گسترش آن اغلب به بهای زمین‌های زراعی مولد، جنگل‌ها و پوشش گیاهی بوده (Chakraborty, Maity, et al., 2022) و عامل بسیاری از مشکلات زیست محیطی مانند تغییرات اقلیمی، از بین رفتن زیستگاه جانوران، کاهش تنوع زیستی، تکه‌تکه شدن زمین، آلودگی هوا و جزایر گرمایی بوده است (Cao et al., 2022; Dahal & Lindquist, 2018; Li et al., 2017; C. Wu et al., 2022).

در پرتو این چالش‌های جهانی، دستور کار جدید شهری سازمان ملل بر «نیاز به هدایت توسعه شهری» از طریق «ترویج استفاده پایدار از زمین، ترکیب توسعه‌های شهری متراکم و فشرده‌سازی کافی برای جلوگیری و مهار پراکندگی شهری و همچنین جلوگیری از تغییرات غیرضروری کاربری‌های زمین و ازدست‌دادن زمین‌های مولد و اکوسیستم‌های مهم و شکننده» تأکید می‌کند (Chakraborty, Dadashpoor, et al., 2022). در مجموع، هدایت الگوهای رشد شهری آینده از طریق سیاست‌های فضایی تأثیرگذار به عنوان کلیدی برای دستیابی به پایداری جهانی در نظر گرفته می‌شود و در این راستا، درک بهتر الگوهای رشد فعلی شهری ضروری است. الگوهای رشد شهری، پیکربندی‌های فضایی خاص و پویایی فرآیند شهرنشینی را نشان می‌دهند.

استفاده از داده‌های کاربری اراضی (Land Use/Cover) و شاخص‌های فضایی در تسهیل فرایندهای تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان و مدیران مسئول روند رشد شهری بسیار مفید و مؤثر است. شاخص‌های منظر از جمله شاخص‌های فضایی هستند که عمدتاً در مطالعات اکولوژیکی استفاده می‌شود، اما در سالیان اخیر برای توضیح ترکیب و پیکربندی الگوی رشد شهری نیز از آن‌ها استفاده شده است (Cengiz et al., 2022). معیارهای شهری همچون شاخص‌های برآورد نرخ و شدت گسترش و آنتروپی شانون نیز اطلاعاتی را به منظور تعیین و ارزیابی میزان و شدت گسترش و میزان فشرده‌گی یا پراکندگی شهر فراهم می‌کنند (Angel et al., 2007).

فناوری‌های سنجش‌ازدور (RS) داده‌های کاربری/پوشش زمین را در طیف وسیعی از مکان‌ها و بازه‌های زمانی ارائه می‌کنند، درحالی‌که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) یک سکوی قدرتمند برای تحلیل‌های فضایی مختلف ایجاد می‌کنند و نظارت بر پویایی شهری را تسهیل می‌کنند؛ ترکیب این دو در بررسی الگوهای رشد شهری بسیار مفید است. بر اساس تعداد زیادی از مطالعات در مورد گسترش شهری، علاوه بر شاخص‌های کمی‌سازی فضای همچون شاخص‌های منظر یا آنتروپی شانون، چندین فرضیه برای تعمیم الگوهای مکانی - زمانی گسترش شهری، همچون فرضیه سه نوع رشد، ارائه شده است (Lu et al., 2023).

فورمن (۱۹۹۵) برای اولین بار استفاده از روابط مجاورت فضایی بین لکه‌های شهری را برای شناسایی انواع گسترش در مقیاس‌های خرد پیشنهاد کرد (He et al., 2019). از دیدگاه گونه‌شناسی فورمن، رشد شهری به سه نوع: پر کردن شکاف درونی<sup>۱</sup> (درون‌زا)، گسترش لبه<sup>۲</sup> و رشد بیرونی<sup>۳</sup> (دورافتاده یا خود به خودی) تقسیم می‌شود (Shi et al., 2012). انواع دیگر

1. infilling
2. Edge expansion
3. outlying

رشد شهری را می‌توان به عنوان ترکیبی از این سه نوع مشاهده کرد. این فرآیند سه‌گانه رشد شهری به طور گسترده در ادبیات مورد بحث قرار گرفته است (Basu et al., 2023; J. Wu et al., 2023). توسعه درونی به پر کردن یک یا چند شکاف در محدوده شهری از قبل موجود با تکه‌های شهری تازه توسعه یافته (Chakraborty, Maity, et al., 2022; Shi et al., 2012)، گسترش لبه به تکه‌های شهری جدید متصل به تکه‌های موجود (Zhao et al., 2015) و رشد بیرونی به توسعه‌ای که ردپای شهری را قطع نمی‌کند و با مناطق توسعه یافته قبلی مجاور نیست، گفته می‌شود (Nong et al., 2018). دو شاخص الگوی رشد شهری ساده (S) (Xu et al., 2007) و شاخص گسترش چشم‌انداز<sup>۱</sup> (LEI) (Liu et al., 2010) به منظور شناسایی الگوهای رشد درونی، لبه‌ای و بیرونی در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفتند.

مطالعات مختلف از شاخص‌های متفاوتی در مقیاس‌های مختلف به منظور سنجش الگوهای رشد شهری استفاده کرده‌اند. لو و همکاران شاخص‌های منظر و شاخص انواع رشد شهر (S) را به منظور نظارت بر روند گسترش شهر هانگژو در چین، ترکیب کرد (Lu et al., 2023). هی و همکاران الگوهای رشد شهری را در شهرهای دو کشور چین و آمریکا با استفاده از شاخص گسترش منظر (LEI) در فواصل مختلف از مرکز شهرها مورد مقایسه قرار داد (He et al., 2019). نانگ و همکاران الگوهای مکانی-زمانی مناطق شهری در هانوی، ویتنام را با استفاده از شاخص‌های منظر و معیارهای گسترش فضایی شهر و شاخص گسترش منظر (LEI) در بافرهای متحدالمرکز مورد بررسی قرار دادند (Nong et al., 2018). وو و همکاران با استفاده از شاخص نرخ رشد مناطق شهری، شاخص گسترش چشم‌انداز و شاخص گسترش میانگین وزن دار و همچنین شاخص‌های منظر تکامل فضایی زمانی خوشه‌های شهری و تاثیر آن بر الگوهای منظر در چین بررسی کردند (J. Wu et al., 2023). اژدری و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از شاخص‌های منظر و شاخص الگوی رشد شهری ساده (S) به تحلیل فضایی-زمانی گسترش کلانشهر شیراز طی بازه زمانی ۱۳۶۵ الی ۱۳۹۳ در ۴ جهت جغرافیایی پرداختند (Azhdari et al., 2018). ناصحی و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از شاخص گسترش چشم‌انداز و شاخص گسترش میانگین وزن دار منطقه الگوهای فضایی رشد شهر بندرعباس را در بافرهای متحدالمرکز از هسته تاریخی شهر مورد بررسی قرار دادند. مهیمی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و ۲۸ شاخص منظر به تبیین الگوی پراکنده‌روئی در شهر کرمان پرداختند.

مطالعات پیشین الگوهای رشد شهری را از نظر فنون تحلیل فضایی عمدتاً با استفاده یک یا دو معیار (شاخص‌های منظر و شاخص‌های انواع رشد سه‌گانه) بررسی کردند و معمولاً مقیاس‌های فرعی را در تحلیل‌های خود در نظر نگرفته یا فقط به یک بعد آن (جهت مختلف و یا فواصل مختلف از مرکز) بسنده کردند. باین‌حال، الگوهای رشد شهری در یک شهر می‌تواند شامل مدل‌های مختلفی باشد؛ زیرا عوامل محرک و تأثیرگذار مختلفی در توسعه هر شهر در جهت و فواصل گوناگون نقش دارند.

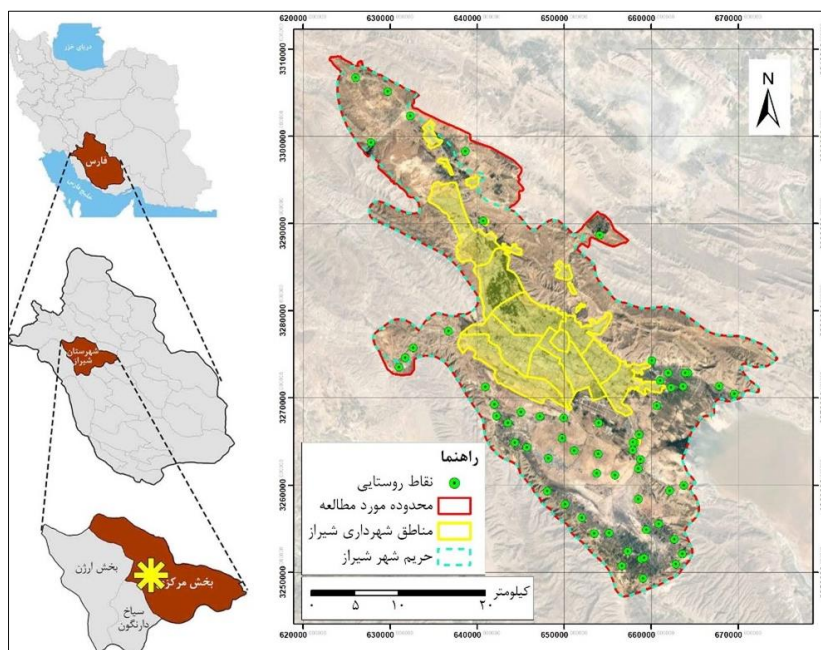
پژوهش حاضر به منظور افزایش دقت در سنجش الگوهای رشد شهر شیراز، از ترکیب ۴ معیار تحلیل فضایی شاخص شدت گسترش شهر، آنتروپی شانون، شاخص‌های منظر و شاخص گسترش منظر استفاده کرده است. این مطالعه همچنین به منظور تعیین الگوهای مختلف رشد شهر شیراز در مقیاس‌های کلی و فرعی، متغیرهای جهت و فاصله را به صورت همزمان در تحلیل‌های فضایی گنجانده است. به طوری که معیارهای فضایی در ۸ جهت اصلی جغرافیایی و فواصل دو کیلومتری از مرکز تجاری-تاریخی شیراز مورد محاسبه قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر شیراز، مرکز استان فارس و کلان‌شهر منطقه جنوب ایران در محدوده مختصات ۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه و ۲۹ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی در دامنه رشته کوه‌های زاگرس و در ارتفاع متوسط ۱۵۰۰ متری از سطح دریا بنا شده است. محدوده مورد بررسی حریم سیاسی شهر شیراز به طول ۴۰ کیلومتر و عرضی متغیر بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر بوده که مساحتی حدوداً ۱۱۰۰ کیلومتر مربعی را شامل می‌شود. این محدوده همانطور

که در شکل (۱) قابل مشاهده است، شامل شهر شیراز به همراه ۴۳ نقطه روستایی و تعدادی مجموعه باغشهری می‌باشد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

## داده‌های مورد استفاده

روش تحقیق پژوهش حاضر از نوع کمی بوده و داده‌های مورد استفاده در این پژوهش نیز کمی و ثانویه هستند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۷ و ۸ استفاده شده است. مطابق با جدول (۱)، چهار تصویر در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) اخذ گردیده است.

جدول ۱. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ اخذ	گذر ماهواره	سنجنده	وضوح تصویر
۲۰۰۷/۰۷/۳۰	۱۶۳/۳۹	لندست ۷	۳۰ متر
۲۰۰۸/۰۸/۰۸	۱۶۲/۴۰	ETM+	۳۰ متر
۲۰۱۳/۰۶/۲۱	۱۶۳/۳۹	لندست ۸	۳۰ متر
۲۰۲۳/۰۶/۱۷	۱۶۳/۳۹	OLI-TIRS	۳۰ متر

## روش کار

روش تحقیق شامل دو مرحله اصلی پیش‌پردازش داده‌ها (تصاویر ماهواره‌ای) و تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌باشد.

### (۱) پیش‌پردازش

تمامی پیش‌پردازش‌ها در نرم‌افزار ENVI صورت پذیرفت. ابتدا تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر صورت گرفت. در محله بعد با استفاده از ترکیب باندها با روش پن شارپنینگ (Pan-Sharpning) و تکنیک گرم - اشمیت<sup>۱</sup> وضوح تصاویر به ۱۵ متر افزایش یافت. در نهایت پس از تصحیح و افزایش دقت تصاویر عملیات موزائیک کردن بر روی تصویر سال ۱۳۸۰ انجام شد. در آخر تصاویر بر اساس مرز محدوده مورد بررسی برش داده شدند.

### (۲) تحلیل داده‌ها

این بخش شامل چهار مرحله است: (۱) تولید نقشه‌های کاربری اراضی و تغییرات آن‌ها، (۲) تجزیه و تحلیل میزان و سرعت

گسترش مناطق ساخته شده، (۳) بررسی تغییرات الگوی فضایی منظر و فرم مناطق ساخته شده، و (۴) شناسایی الگوهای فضایی رشد شهری.

در مرحله اول تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI طبقه‌بندی شدند. روش حداکثر احتمال رایج‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم طبقه‌بندی بوده و تحقیقات بسیاری از این روش استفاده کرده‌اند (Chetry, 2022; Getu & Bhat, 2021; Sahana et al., 2023; Salem et al., 2021; Seevarethnam et al., 2021). داده‌های آزمایشی به ۴ دسته مناطق ساخته شده، پوشش گیاهی، زمین‌بایر و پهنه آبی طبقه‌بندی و با استفاده از شاخص دقت کلی و ضریب کاپا اعتبارسنجی شدند.

در ادامه روند پژوهش مناطق ساخته شده عنوان دسته شهری و مابقی دسته‌ها (بایر، پوشش گیاهی، آب) به‌عنوان دسته غیرشهری در نظر گرفته شدند و نقشه محدوده مورد بررسی به ۸ جهت جغرافیایی و دایره‌های متحدالمرکز به شعاع ۲ کیلومتر از مرکز شهر شیراز تفکیک شد. سپس در مرحله دوم به منظور بررسی میزان گسترش مناطق شهری از شاخص شدت گسترش شهری (UEII)<sup>۱</sup> (Alam et al., 2023; Li et al., 2017; Manesha et al., 2021; Shaw & Das, 2018) استفاده شد. شاخص شدت گسترش شهر برای کل محدوده مورد مطالعه، هر بازه زمانی و هر زیرمنطقه، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$UEII_{it} = \left[ \frac{ULA_{i,b} - ULA_{i,a}}{t} \right] / TLA_i \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن،  $ULA_{i,a}$  و  $ULA_{i,b}$  برابر با مساحت ساخته شده در زمان  $a$  و  $b$  در منطقه  $i$  هستند و  $TLA_i$  مساحت کل منطقه  $i$  است. استاندارد شاخص شدت گسترش شهر به شرح زیر تقسیم می‌شود: ۰ تا ۰.۲۸ برابر با توسعه آهسته، ۰.۲۸ تا ۰.۵۹ توسعه کم سرعت، ۰.۵۹-۱.۰۵ توسعه با سرعت متوسط، ۱.۰۵-۱.۹۲ توسعه با سرعت بالا و بیشتر از ۱.۹۲ توسعه با سرعت بسیار بالا است.

در مرحله سوم از آنتروپی شانون و شاخص‌های منظر استفاده شده است. به‌طور کلی، آنتروپی شانون ( $H_n$ ) برای اندازه‌گیری درجه فشردگی یا پراکندگی مکانی متغیر ژئوفیزیکی (در اینجا مناطق ساخته شده) در بین  $n$  واحد فضایی استفاده می‌شود (Parvinnezhad et al., 2021; Rath et al., 2022; Shaw & Das, 2018; Zachary & Dobson, 2021). آنتروپی شانون از طریق رابطه (۲) و رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$H_n = - \sum_{i=1}^n P_i \log_e(P_i) = \sum_{i=1}^n P_i \log_e\left(\frac{1}{P_i}\right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$P_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن  $P_i$  نسبت متغیر (مناطق ساخته شده) در ناحیه  $i$  (بخش)،  $n$  تعداد کل مناطق و  $x_i$  مقدار مشاهده شده متغیر در ناحیه  $i$  است. مقدار آنتروپی شانون بین صفر تا  $\log_e(n)$  متغیر است. مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده توزیع بسیار فشرده است در حالی که مقادیر نزدیک به  $\log_e(n)$  نشان‌دهنده توزیع پراکنده است. (Das & Angadi, 2021; Jat et al., 2008; Shaw & Das, 2018). با استفاده از آنتروپی نسبی می‌توان مقدار آنتروپی را در محدوده ۰ تا ۱ نرمالایز کرد. آنتروپی نسبی از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Das & Angadi, 2021):

$$H'_n = \frac{H_n}{\log_e(n)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

با بررسی ادبیات مرتبط با شاخص‌های منظر، ۴ شاخص بزرگترین قطعه (LPI)، تعداد لکه‌ها (NP)، میانگین وزن دار بعد فرکتال (FRAC-AM) و میانگین وزن دار شاخص مجاورت (CONTIG-AM) جهت بررسی در محدوده مورد مطالعه با

استفاده از نرم‌افزار Fragstats برگزیده شدند. تعریف و تفسیر این چهار شاخص در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. معرفی شاخص‌های منظر مورد استفاده در مطالعه حاضر

شاخص	تعریف	فرمول محاسبه	افزایش مقدار
شاخص بزرگ‌ترین قطعه LPI	این شاخص درصد مساحت بزرگ‌ترین تکه شهری در منطقه مربوطه را در کل منطقه نشان می‌دهد. $0 < LPI < 100$	$LPI = \frac{[\max_{ij} (a_{ij})] \times 100}{A_i}$ $a_{ij}$ مساحت قطعه ij $A_i$ مساحت کل چشم انداز	فشرده‌گی
شاخص تعداد قطعات NP	این شاخص تعداد لکه‌های توسعه‌یافته جدید در هر بازه زمانی را بیان می‌کند $1 \leq NP$	$NP = n_i$ $n_i$ تعداد لکه‌های موجود در کلاس کاربری i	پراکندگی
میانگین وزن‌دار شاخص بعد فراکتال FRAC-AM	شاخص بعد فراکتال پیچیدگی شکل را در طیف وسیعی از مقیاس‌های فضایی منعکس می‌کند. $1 < FRAC-AM < 2$	$FRAC = \left( \frac{2 \times \ln(0.25 \times P_{ij})}{\ln(a_{ij})} \right) \times \left( \sum_{j=1}^n \left[ x_{ij} \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right] \right)$ $P_{ij}$ برابر با محیط (m) پیج ij $a_{ij}$ برابر با مساحت (m <sup>2</sup> ) پیج ij	پراکندگی
میانگین وزن‌دار شاخص مجاورت CONTIG-AM	شاخص مجاورت، اتصال فضایی یا مجاورت پیکسل‌هایی را که تکه‌های شهری را در منطقه مربوطه تشکیل می‌دهند، ارزیابی می‌کند. $0 \leq CONTIG \leq 1$	$CONTIG = \frac{\left[ \frac{\sum_{r=1}^z C_{ijr}}{a_{ij}} \right] - 1}{v - 1}$ $C_{ijr}$ مقدار مجاورت پیکسل r در لکه ij $v$ مجموع مقادیر در یک قالب سلولی ۳*۳ $a_{ij}$ مساحت لکه ij برحسب تعداد سلول	فشرده‌گی

در نهایت و در مرحله چهارم، با استفاده از شاخص گسترش چشم‌انداز (LEI) الگوهای فضایی رشد شهری در قالب سه دسته رشد درونی، رشد لبه‌ای و رشد بیرونی در نرم‌افزار Arc gis شناسایی و تحلیل شدند. این شاخص با استفاده از تحلیل بافر تعریف می‌شود. لیو و همکاران (۲۰۱۰) بیان کرد که فاصله بافر باید کمتر از وضوح تصویر باشد و به صورت کلی بافر ۱ متر بهترین نتایج را ارائه می‌دهد (Liu et al., 2010). این شاخص از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$LEI = 100 \times \frac{A_0}{A_0 + A_v} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن  $A_0$  نسبت مناطق شهری در بافر و  $A_v$  نسبت مناطق غیرشهری در بافر است. مقدار LEI در محدوده بین ۰ تا ۱۰۰ است. اگر حداقل ۵۰ درصد از بافر را مناطق شهری تشکیل دهند، نشان‌دهنده توسعه درونی، اگر کمتر از ۵۰ درصد از بافر را مناطق غیرشهری تشکیل دهند، نشان‌دهنده توسعه لبه‌ای است و اگر تمامی بافر شامل زمین‌های خالی باشد توسعه بیرونی نامیده می‌شود (Cao et al., 2022).

## نتایج

### دقت نقشه‌ها

اعتبارسنجی با استفاده از دقت کلی و ضریب کاپا بر روی ۴ دسته پوشش زمین هر سه نقشه طبقه‌بندی سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ انجام شد (جدول ۳). دقت کلی بسیار خوب بوده و از ۸۸.۵ تا ۹۳.۷۵ متغیر است. ضرایب کاپا نیز بیشتر از ۰.۸۰ بوده و در نقشه سال ۱۴۰۲ به ۰.۹۱ نیز رسیده است.

جدول ۳. دقت کلی و ضریب کاپا نقشه‌های طبقه‌بندی تولید شده

سال	دقت کلی	ضریب کاپا
۱۳۸۰	۸۸.۵	۰.۸۳۲۵
۱۳۹۲	۹۰.۵۰	۰.۸۵۸۲
۱۴۰۲	۹۳.۷۵	۰.۹۱۰۳

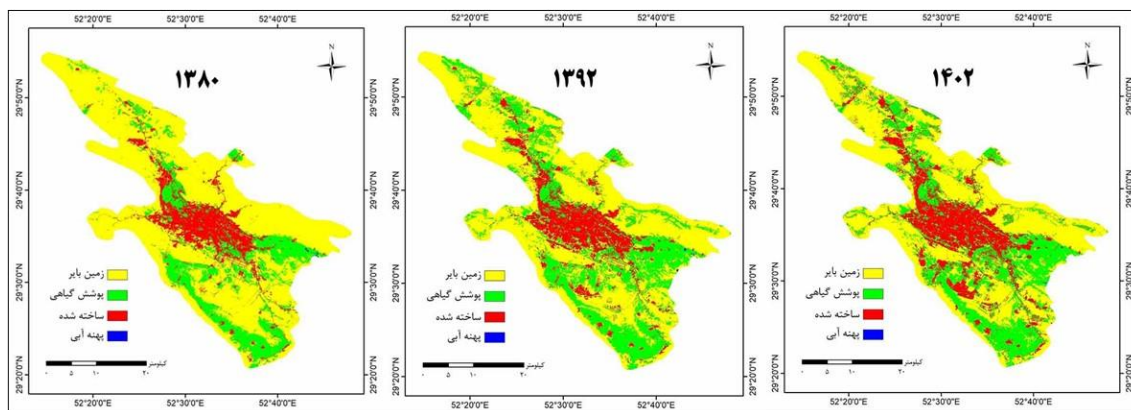
### تغییرات پوشش زمین

جدول (۴) و شکل (۲) نشان می‌دهند که این منطقه عمدتاً تحت سلطه زمین بایر بوده که این بیشتر به دلیل وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه است. در این بازه زمانی ۲۲ ساله، مساحت مناطق ساخته‌شده حدوداً ۵۲ درصد (۱.۵۲ برابر) افزایش یافته است. سهم مناطق ساخته شده در کل محدوده از ۱۴۳ کیلومترمربع در سال ۱۳۸۰ با افزایش ۱۷.۳ درصدی به ۱۶۸ کیلومترمربع در سال ۱۳۹۲ و سپس با افزایش ۲۹.۵ درصدی به ۲۱۸ کیلومتر مربع در سال ۱۴۰۲ تبدیل شده است.

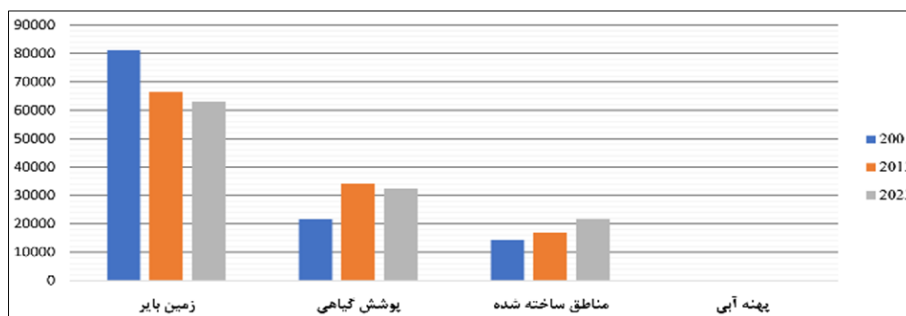
جدول ۴. مساحت کاربری اراضی و تغییرات آن‌ها در بازه زمانی ۱۳۸۰ الی ۱۴۰۲

سال		۱۳۸۰		۱۳۹۲		۱۴۰۲	
پوشش زمین	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	درصد
زمین بایر	۸۱۲۳۵.۳۱	۶۹.۲۹	۶۶۳۲۷.۵۳	۵۶.۵۷	۶۲۹۱۹.۶۱	۵۳.۶۶	
پوشش گیاهی	۲۱۵۸۸.۸۶	۱۸.۴۱	۳۴۰۰۶.۵۲	۲۹.۰۰	۳۲۴۵۹.۱۵	۲۷.۶۸	
مناطق ساخته‌شده	۱۴۳۵۷.۱۴	۱۲.۲۵	۱۶۸۵۴.۱۴	۱۴.۳۷	۲۱۸۲۲.۷۵	۱۸.۶۱	
پهنه آبی	۶۶۶۷	۰.۰۶	۵۹.۷۸	۰.۰۵	۴۶.۴۶	۰.۰۴	
کل	۱۱۷۲۴۷.۹۷	۱۰۰	۱۱۷۲۴۷.۹۷	۱۰۰	۱۱۷۲۴۷.۹۷	۱۰۰	

نرخ تغییرات زمین بایر روندی نزولی داشته و از ۸۱۲ کیلومترمربع در سال ۱۳۸۰ به ۶۶۳ کیلومترمربع در سال ۱۳۹۲ و ۶۲۹ کیلومترمربع در سال ۱۴۰۲ تبدیل شده است. مساحت پوشش گیاهی نیز که شامل زمین‌های کشاورزی و باغات می‌باشد ابتدا در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۲ افزایش چشمگیری داشته (۱.۵۷ برابر) و سپس در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲ مقداری کاهش یافته است. در نهایت پهنه‌های آبی که درصد بسیار ناچیزی از محدوده را شامل می‌شوند نیز روندی کاهش‌یافته را در این بازه زمانی طی کرده است (شکل ۳).



شکل ۲. نقشه پوشش اراضی شهر شیراز در بازه زمانی ۱۳۸۰ الی ۱۴۰۲



شکل ۳. نمودار تغییرات پوشش اراضی در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

در بازه زمانی اول (۱۳۸۰ - ۱۳۹۲) پوشش گیاهی رشد نسبتاً زیادی داشته و در ادامه روند تغییرات آن معتدل شده است. می‌توان از طرح ساخت مجموعه‌های باغشهری به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار بر این مسئله نام برد. طرح ساخت



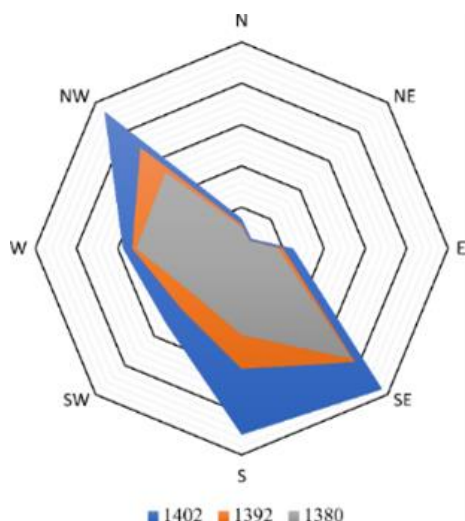
باغشهرها در اطراف شهرها در دولت نهم و از سال ۱۳۸۶ مطرح شد. مطابق با شکل (۴) در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۲ شاهد مناطق بسیاری در محدوده شهر شیراز هستیم که در سال ابتدا زمین بایر بوده، سپس خیابان‌کشی شده و به قطعات حدوداً ۱۰۰۰ متری تفکیک شد. در نهایت تا سال ۱۴۰۲ این مجموعه‌ها به اوج شکوفایی خود رسیده و مجموعه‌های ویلایی با پوشش گیاهی نسبتاً مناسب را به نمایش گذاشتند.



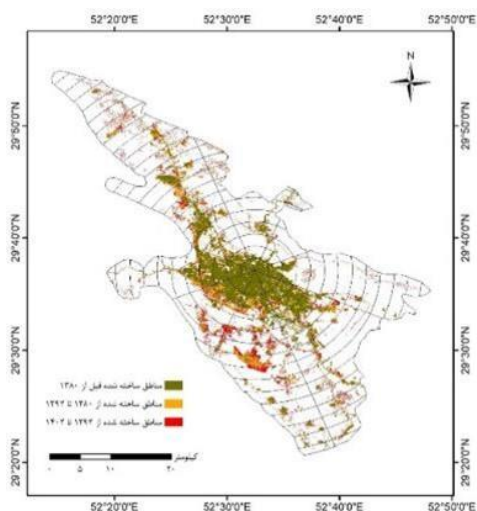
شکل ۴. پیدایش و تکامل باغشهرها در شهر شیراز در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۴۰۲

### میزان گسترش شهر

همان‌طور که اشاره شد، مناطق ساخته‌شده در بازه زمانی ۲۲ ساله مورد بررسی ۷۴.۹ کیلومترمربع (معادل ۵۱.۹ درصد) افزایش داشته است و از ۱۴۳۶ کیلومترمربع به ۲۱۸.۲ کیلومترمربع در سال ۱۴۰۲ رسیده است. از این میزان ۱۷.۴ درصد در ۱۲ سال نخست (۱۳۸۰-۱۳۹۲) و ۲۹.۵ درصد در ۱۰ سال دوم (۱۳۹۲-۱۴۰۲) که این امر حاکی از افزایش نرخ توسعه مناطق ساخته‌شده در ده سال اخیر است (شکل ۵). بیش‌ترین گسترش در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۲ مربوط به شمال‌غرب و جنوب بوده است که در بازه ۱۳۹۲-۱۴۰۲، منطقه جنوب‌شرقی نیز به این دو منطقه اضافه شده و بیشترین درصد گسترش را به خود اختصاص دادند (شکل ۶).



شکل ۶. میزان گسترش شهر شیراز در جهات مختلف



شکل ۵. نقشه تغییرات مناطق ساخته‌شده در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲

### شاخص شدت گسترش شهر

مطابق با جدول (۵) محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲ دارای بیشترین شدت گسترش خود بوده است (۰.۴۲). همچنین همگی جهات در دوره ۱۳۹۲-۱۴۰۲ نسبت به دوره ۱۳۸۰-۱۳۹۲ افزایش شدت گسترش را تجربه کرده‌اند. در هر دو بازه زمانی جهات جنوب، جنوب‌غرب و شمال‌غربی به ترتیب بیش‌ترین سرعت گسترش را از خود نشان

داده‌اند. اما با این حال، جنوب و جنوب شرق بیشترین افزایش مقدار شدت گسترش را ثبت کرده‌اند، به طوری که جنوب با ۰.۴۳ افزایش از ۰.۳۳ به ۰.۷۶ و جنوب شرق با ۰.۳۷ افزایش از ۰.۰۴ به ۰.۴۱ رسیده‌اند.

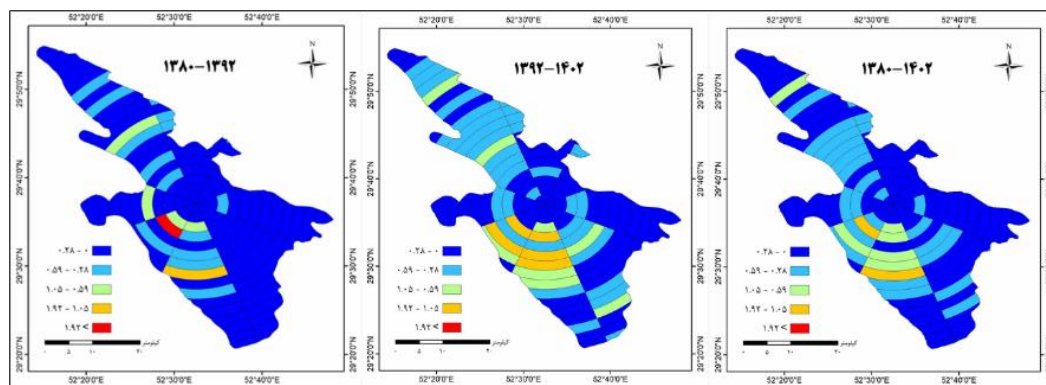
جدول ۵. میزان شدت گسترش شهر شیراز به صورت کلی و در ۸ جهت جغرافیایی به عنوان مقیاس فرعی

شاخص شدت گسترش	۱۳۸۰-۱۳۹۲	۱۳۹۲-۱۴۰۲	۱۳۸۰-۱۳۹۲	۱۳۸۰-۱۴۰۲
شمال	۰.۰۵	آهسته	۰.۱۸	آهسته
شمال شرق	۰.۰۲	آهسته	۰.۲۰	آهسته
شرق	۰.۰۷	آهسته	۰.۱۸	آهسته
جنوب شرق	۰.۰۴	آهسته	۰.۴۱	سرعت کم
جنوب	۰.۳۳	سرعت کم	۰.۷۶	سرعت متوسط
جنوب غرب	۰.۵۳	سرعت کم	۰.۷۰	سرعت متوسط
غرب	۰.۰۸	آهسته	۰.۲۳	آهسته
شمال غرب	۰.۲۳	آهسته	۰.۳۹	سرعت کم
کل محدوده	۰.۱۸	آهسته	۰.۴۲	سرعت کم

همان‌طور از شکل (۷) پیداست، محدوده‌های ۶ تا ۸ کیلومتری جنوب غرب، شامل محدوده میانرود، شهرک فرزندگان و شهرک فرهنگیان و ۱۴ تا ۱۶ کیلومتری جنوب، شامل شهرک صنعتی و منطقه ویژه اقتصادی شیراز، در هر دو بازه زمانی بیشترین شدت گسترش را داشته است. شدت گسترش در بازه زمانی دوم (۱۳۹۲-۱۴۰۲) در محدوده‌های ۱۰ تا ۱۴ کیلومتری جنوب و جنوب غربی افزایش یافت. این محدوده‌ها علاوه بر شهرک صنعتی، شامل نقاط روستایی از جمله کیان‌آباد، کرون، سلطان‌آباد، شاهپورجان، گچی، جرسقان و خاتونک در پیرامون شهر شیراز می‌باشد.

بین سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۲ محدوده ۱۸ تا ۲۰ کیلومتری شمال غرب شدت گسترش بیشتری را ثبت کرده است که نشان‌دهنده توسعه محدوده شهرک گلستان و شهرک بزین در آن بازه زمانی است. اما در بازه زمانی دوم (۱۳۹۲-۱۴۰۲) شدت توسعه در محدوده‌های ۱۴ تا ۱۶ کیلومتر که شهرک بهشتی و بلوار آفرینش را شامل می‌شود و همچنین ۳۰ تا ۳۲ کیلومتر که روستای قلات و مجموعه باغشهری‌های قلات در آن قرار دارد، بیشترین از سایر نقاط محدوده شمال غرب بوده است.

در بازه زمانی دوم شدت گسترش در محدوده ۸ تا ۱۴ کیلومتری جنوب شرق افزایش داشته و در فواصل ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر به اوج خود رسیده است. شهرک صادقیه، شهرک ترکان، شهرک قلعه نو و وزیرآباد در این محدوده واقع شدند. مناطق جنوب شرقی در فواصل ۲۴ تا ۲۶ کیلومتری از مرکز نیز شدت گسترش نسبتاً بالایی را در این بازه زمانی نشان داده است. این محدوده شامل روستای تهبیان و مجموعه‌های باغشهری آن می‌شود.



شکل ۷. میزان شدت گسترش شهر در مقیاس‌های فرعی شیراز (فواصل و جهات مختلف) در بازه زمانی ۱۳۸۰ - ۱۴۰۲

## آنتروپی

آنتروپی شانون برای سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ محاسبه گردید (جدول ۶). مقادیر آنتروپی شانون با استفاده از مناطق

دایره‌ای متحدالمرکز با فواصل ۲ کیلومتری برای کل محدوده به صورت کامل و در هشت جهت جغرافیایی جداگانه محاسبه گردید. آنتروپی شانون نسبی در هر دو بازه زمانی روندی صعودی و یکسان ۰.۰۴ داشته است.

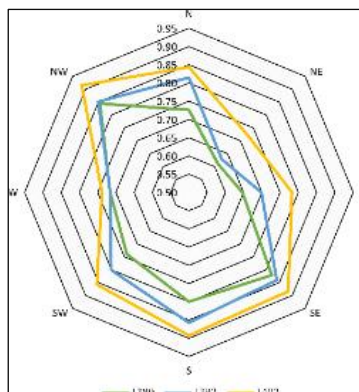
جدول ۶. میزان آنتروپی شانون مطلق و نسبی سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

تغییرات آنتروپی شانون	آنتروپی شانون نسبی	آنتروپی شانون مطلق	
-	۰.۷۴	۲.۳۰	۱۳۸۰
۰.۰۴	۰.۷۸	۲.۴۲	۱۳۹۲
۰.۰۴	۰.۸۲	۲.۵۵	۱۴۰۲

علاوه بر آنتروپی کل محدوده، مقادیر آنتروپی همه جهات در هر سه تاریخ بیشتر از ۰.۵ است (جدول ۷). در آنتروپی نسبی حد آستانه مابین رشد فشرده و پراکنده ۰.۵ در نظر گرفته می‌شود (Ozturk, 2017). این مورد نشان می‌دهد که شیراز در هیچ جهتی ساختار فشرده نداشته و رشد آن به صورت پراکنده در همه جهات رخ داده است.

جدول ۷. آنتروپی شانون نسبی جهات هشتگانه برای هر سه سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲

۱۴۰۲	۱۳۹۲	۱۳۸۰	
۰.۸۴	۰.۸۱	۰.۷۳	شمال
۰.۷۲	۰.۶۳	۰.۶۱	شمال شرق
۰.۷۸	۰.۷۰	۰.۶۵	شرق
۰.۸۸	۰.۸۴	۰.۸۲	جنوب شرق
۰.۸۹	۰.۸۶	۰.۸۰	جنوب
۰.۸۶	۰.۸۰	۰.۷۴	جنوب غرب
۰.۷۴	۰.۷۲	۰.۷۲	غرب
۰.۹۲	۰.۸۵	۰.۸۴	شمال غرب



شکل ۸. تغییرات آنتروپی شانون در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۴۰۲

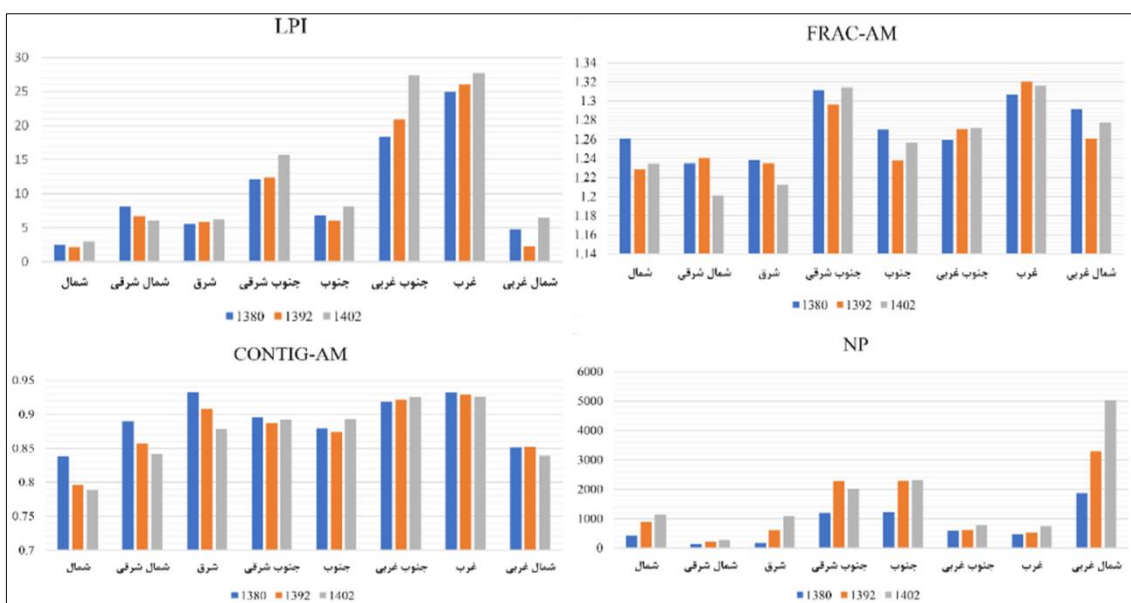
محدوده‌های شمال شرق و غرب کمترین میزان پراکندگی را نسبت به سایر مناطق در هر سه سال داشته‌اند. محدوده شرق نیز در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۲ پس از شمال شرق، کمترین آنتروپی را به خود اختصاص داده است، اما در سال ۱۴۰۲ آنتروپی این منطقه رشد نسبتاً زیادی داشته است. بیشترین میزان پراکندگی در هر سه سال نیز مربوط به محدوده شمال غرب می‌باشد و پس از آن جنوب و جنوب شرق قرار دارند (شکل ۸).

محدوده شمال غرب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۲ آنتروپی یکسان و زیادی داشته است که این را می‌توان به دلیل برنامه‌های جامع توسعه در محدوده مصوب شهر دانست. اما در سال ۱۴۰۲ آنتروپی این محدوده افزایش یافته و به بیش از ۰.۹۰ رسیده است. این امر را می‌توان معلول گسترش بسیار زیاد محدوده روستای قلات و باغشهر قلات و دیگر مجموعه‌های باغشهری در یک دهه اخیر در این منطقه دانست. مقدار زیاد آنتروپی در محدوده جنوب را می‌توان به دلیل قرارگیری شهرک صنعتی و منطقه ویژه اقتصادی شیراز در این منطقه و همچنین گسترش بسیار زیاد مناطق صنعتی در اطراف روستای گچی

و توسعه بی‌رویه مسکونی روستاهای سلطان‌آباد، جرسقان، خاتونک و کرونه دانست که همین امر باعث شده مقدار آنتروپی محدوده جنوبی به ۰.۸۹ برسد.

### شاخص‌های منظر

شاخص‌های منظر نیز در هشت جهت جغرافیایی به صورت جداگانه محاسبه شدند که در شکل (۹) قابل مشاهده‌اند. مقادیر شاخص بزرگترین قطعه (LPI) در بازه زمانی مورد بررسی به جز در قسمت شمال شرقی در همه جهت‌ها روندی صعودی داشته است. این افزایش نشان‌دهنده تجمیع و یکپارچه شدن قطعات ساخته‌شده و حرکت به سمت الگوی فشرده‌تر می‌باشد. منطقه غرب و جنوب‌غربی در هر سه سال مورد بررسی بیشترین مقادیر را داشتند. این امر نشان‌دهنده الگوی فضایی فشرده‌تر این دو منطقه نسبت به سایرین می‌باشد. در طرف مقابل، منطقه شمال و شمال‌غرب کمترین مقدار را داشتند که این به معنی شکاف بیشتر بین قطعات و الگوی فضایی پراکنده‌تر این دو منطقه نسبت به سایر مناطق است. مقادیر میانگین وزن‌دار شاخص بعد فراکتال مناطق شرق، شمال شرق و شمال دارای مقادیر کمتر و نزدیک به ۱ است که نشان‌دهنده اشکال ساده‌تر قطعات شهری می‌باشد. اما مناطق غرب و جنوب شرق مقادیر بالاتری را از خود نشان داده‌اند که این امر بیان‌کننده پیچیدگی بیشتر قطعات شهری در این مناطق می‌باشد. همه جهت‌ها در هر سال روندی روبه‌رشد از خود نشان دادند به‌غیر از مناطق شرق و شمال شرقی که در بازه ده‌ساله اخیر شاخص بعد فراکتال آن‌ها افت داشته و قطعات شهری به اشکال یکدست‌تر و ساده‌تری تبدیل شده‌اند.



شکل ۹. میزان شاخص‌های منظر مورد بررسی در ۸ جهت جغرافیایی

نتایج شاخص مجاورت (CONTIG-AM) نشان می‌دهد هم‌جواری بین قطعات ساخته‌شده در جهت‌های شمال، شمال شرق و شمال غرب کمتر از دیگر جهات بوده و در طول سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۴۰۲ کاهش یافته است. این موضوع به معنای ایجاد قطعات جدید بافاصله از قطعات قبلی در این مناطق است. همچنین حداکثر مجاورت قطعات در مناطق غرب و جنوب‌غربی بوده است.

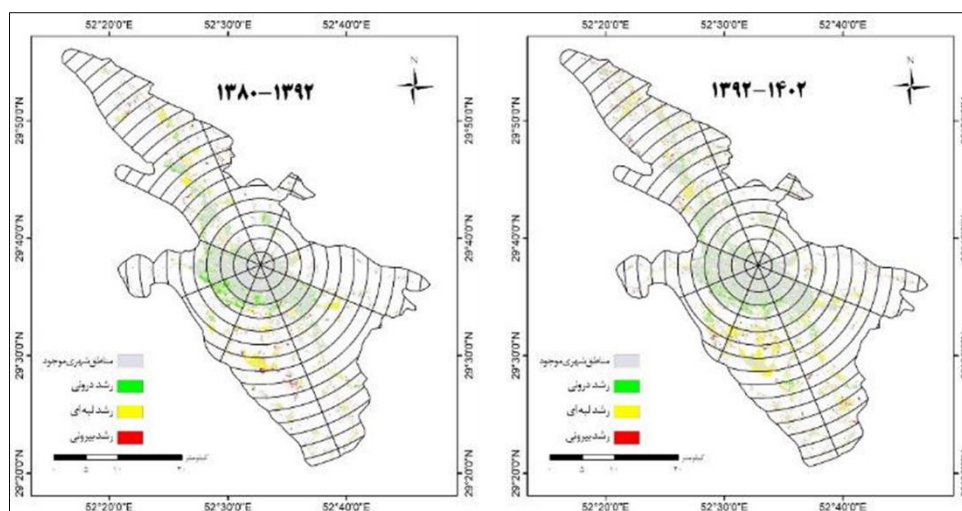
تعداد قطعات (NP) شهری در همه جهت‌ها به‌غیر از جنوب شرق افزایش داشته است و بیشترین افزایش مربوط به شمال غربی می‌باشد. محدوده شمال غربی همچنین شامل بیشترین تعداد قطعات بوده و پس از آن جنوب و جنوب شرقی قرار دارند. نتایج این شاخص نشان می‌دهد که در توسعه در جهت شمال غرب، جنوب و جنوب شرق منفصل و پراکنده بوده است. دلیل این امر را می‌توان توسعه باغشهرهای متعدد در شمال غرب (به‌عنوان مثال باغشهرهای قلات) و جنوب شرق (به‌عنوان مثال باغشهرهای تفهیان) و همچنین توسعه شهرک صنعتی و روستاهای اطراف آن در جنوب دانست.

## الگوهای سه‌گانه توسعه شهر

با استفاده از شاخص گسترش منظر (LEI) رشد شهری در قالب سه نوع رشد درونی، لبه‌ای و بیرونی آشکار شد. همان‌طور که جدول (۸) نشان می‌دهد، در هر دو بازه زمانی مورد بررسی رشد لبه‌ای الگوی رشد غالب بوده و پس از آن الگوی رشد درونی در رده دوم و الگوی رشد بیرونی در رده سوم قرار گرفتند. در طول دوره ۲۲ ساله، الگوی رشد درونی کاهش و رشد لبه‌ای افزایش یافته، در حالی که رشد بیرونی نسبتاً یکسان باقی مانده است (شکل ۱۰).

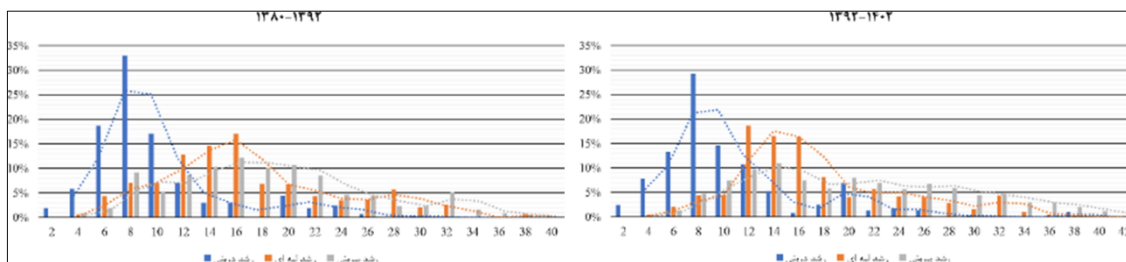
جدول ۸. سهم هر الگوی رشد شهری در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۲ و ۱۳۹۲-۱۴۰۲

بازه زمانی	الگوی رشد درونی	الگوی رشد لبه‌ای	الگوی رشد بیرونی
۱۳۸۰-۱۳۹۲	۳۷٪	۴۲٪	۲۱٪
۱۳۹۲-۱۴۰۲	۲۸٪	۵۲٪	۲۰٪



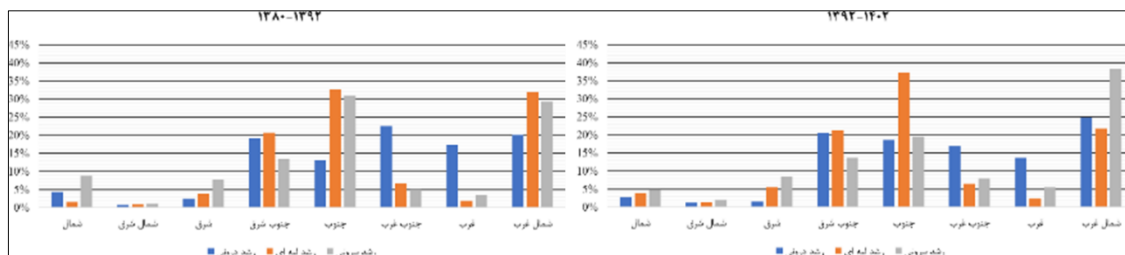
شکل ۱۰. انواع رشد درونی، لبه‌ای و بیرونی در بازه زمانی ۲۲ ساله در شهر شیراز

الگوهای رشد شهری در فواصل مختلف از مرکز در هر دو بازه زمانی تقریباً مشابه بوده است. مطابق با شکل (۱۱) بیشترین میزان رشد درونی از مرکز شهر تا فاصله ۱۲ کیلومتری بوده است، که در فواصل ۶ تا ۸ کیلومتری از مرکز به اوج خود می‌رسد. به عبارتی شهر در حال پر کردن فضای بین توسعه‌های لبه‌ای و بیرونی قبلی با هسته اصلی خود در این فواصل می‌باشد. در بازه زمانی دوم از شدت این الگوی رشد درونی کاسته شده که نشان می‌دهد مرحله ادغام در این فواصل در حال تکمیل است. با دورتر شدن از مرکز، الگوی گسترش لبه‌ای، الگوی غالب شده و در فواصل ۱۲ تا ۱۸ کیلومتری به اوج خود می‌رسد. این نشان می‌دهد، شهر هم‌زمان با پر کردن فضاهای داخلی، در حال گسترش مرزهای خود نیز بوده است. در نهایت رشد بیرونی از فواصل ۱۲ کیلومتری شدت گرفته و تا ۳۲ کیلومتر از مرکز ادامه دارد. توسعه‌های بیرونی در بازه زمانی اول عمدتاً شامل شهرک صنعتی و منطقه ویژه اقتصادی بوده، اما در بازه زمانی دوم توسعه باغشهرها عامل اصلی بوجود آمدن الگوی رشد بیرونی بوده است.



شکل ۱۱. الگوهای رشد شهری در فواصل مختلف از مرکز شهر

همان‌طور که در شکل (۱۲) مشخص است، در بازه زمانی اول، الگوی توسعه بیرونی عمدتاً در جهات جنوب، شمال‌غرب و جنوب‌شرق رخ داده است. سپس در بازه زمانی دوم در محدوده جنوب الگوی رشد بیرونی به شدت کاهش یافته و الگوی لبه‌ای و درونی افزایش پیدا کرده تا فواصل بوجود آمده از طریق توسعه بیرونی در بازه زمانی قبلی را پر کنند. اما در شمال‌غرب نه تنها الگوی رشد لبه‌ای کاهش داشته، بلکه الگوی رشد بیرونی حدوداً ۱۰ درصد نسبت به بازه زمانی قبل بیشتر شده و این موضوع نشان‌دهنده روند رو به افزایش پراکندگی در محدوده شمال‌غرب می‌باشد. این موضوع عمدتاً به دلیل وجود مجموعه‌های باغشهری متعدد در این منطقه است.



شکل ۱۲. الگوهای رشد شهری در جهات مختلف

## بحث

گسترش شهرها موضوعی چندبعدی و چندعاملی است. همان‌طور که الگوی رشد هر شهر نسبت به شهر دیگر متفاوت است، الگوهای رشد یک شهر در جهات و فواصل مختلف نیز، متفاوت بوده و تحت‌تأثیر عوامل گوناگون است. این مطالعه در جهت افزایش دقت و کیفیت سنجش الگوهای رشد شهری، از ترکیب ۴ تحلیل فضایی در مقیاس‌های کلی و فرعی (تفکیک محدوده اصلی به ۸ جهت جغرافیایی و فواصل ۲ کیلومتری از مرکز) استفاده کرده است. نتایج نشان داد الگوی توسعه در شهر شیراز پراکنده بوده و نیازمند هدایت الگوهای رشد آینده از طریق سیاست‌های فضایی تأثیرگذار در جهت دستیابی به توسعه پایدار این منطقه است. همچنین مشخص گردید میزان و الگوی رشد شهر شیراز در جهات و فواصل مختلف، متفاوت است. در دهه‌های اخیر، پراکنده‌روی شهری و پیامدهای منفی آن به یک موضوع عمده سیاست عمومی در بسیاری از کشورها تبدیل شده است. پدیده‌ای که تغییرات عمده‌ای در الگوی توسعه شهری ایجاد کرده است و به عنوان یک تهدید بالقوه برای توسعه پایدار شهری تلقی می‌شود (Hosseini & Hajilou, 2019). به صورت کلی در اکثر شهرهای امروزی الگوی رشد شهری ارتباط نزدیکی با پراکندگی شهری دارد (Abidin et al., 2019).

در این مطالعه از تکنیک تلفیق باندهای پانکروماتیک و چندطیفی تصاویر ماهواره‌ای به منظور افزایش وضوح تصاویر استفاده شد. هدف Pan-Sharpening ترکیب یک تصویر چند طیفی با یک تصویر پانکروماتیک است که نتیجه پردازش را با وضوح طیفی اولی و وضوح فضایی دومی نشان می‌دهد (Pinheiro & Minz, 2023). مغانی رحیمی و همکاران (۱۴۰۰) و مغانی رحیمی و مزیدی (۱۴۰۳) پس از اعمال روش‌های مختلف پن‌شارپنینگ تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات خود نتیجه گرفتند که روش گرم-اشمیت نسبت به سایر روش‌ها وضوح بهتری از عوارض منطقه مورد مطالعه را نشان داده است. در پژوهش حاضر نیز پس از مقایسه روش‌های گرم-اشمیت و تحلیل مولفه اصلی<sup>۱</sup> مشخص شد روش گرم-اشمیت در نرم افزار ENVI تغییرات رنگی کمتری در باندها ایجاد کرده و وضوح بهتری در نمایش عوارض دارد.

پیش‌از این مطالعاتی به منظور بررسی روند و شکل رشد شهر شیراز انجام شده است (جدول ۹)، اما این مطالعات عمدتاً بازه زمانی پیش از سال ۱۳۹۵ را پوشش داده‌اند. به عنوان مثال بدیعی و همکاران (۱۴۰۱) شکل رشد شهری شیراز را در یک بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۵) مورد بررسی قرار دادند. اژدری و همکاران (۲۰۱۸) نیز به بررسی الگوهای تغییرات پوشش زمین و همچنین روند رشد شهری در کلانشهر شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۴ پرداختند. در مطالعه دیگری، کریمی و همکاران (۱۳۹۹) روند توسعه فضایی کلانشهر شیراز را بین سال‌های ۱۳۶۵ الی ۱۳۹۵ بررسی و تحلیل کردند. در

مقابل، پژوهش حاضر به بررسی الگوهای رشد شهر شیراز در ۲۲ سال اخیر پرداخته و بازه زمانی ۱۳۸۰ الی ۱۴۰۲ را شامل می‌شود. بدیعی و همکاران (۱۴۰۱) و اژدری و همکاران (۲۰۱۸) به منظور تحلیل شکل رشد شهر از سنجش‌های فضایی (یا همان شاخص‌های منظر) استفاده کرده‌اند. شاخص‌های منظر یکی از فنون تحلیل فضایی هستند که معیارهای مختلفی دارند؛ با این حال، در پژوهش حاضر علاوه بر شاخص‌های منظر (یا همان سنجش‌های فضایی) از ۳ فن تحلیل فضایی دیگر از جمله آنتروپی شانون، شاخص شدت گسترش شهر و شاخص گسترش منظر (LEI) استفاده شده و در نهایت نتایج همگی فنون ترکیب گردیده است.

علاوه بر موارد بیان شده، برخی دیگر از مطالعات به منظور تحلیل و شناسایی الگوهای گسترش شهر شیراز از شاخص رشد شهری ساده (S) استفاده کرده‌اند (Azhdari et al., 2018; Bagheri & Soltani, 2023). اما شاخص S قادر به پاسخگویی درست به برخی موارد خاص نیست، به عنوان مثال اگر یک تکه جدید در داخل منطقه شهری با فاصله بسیار کم رشد کرده باشد اما هیچ مرز مشترکی نداشته باشد، شاخص S آن را توسعه بیرونی در نظر می‌گیرد در صورتی که این تکه توسعه درونی می‌باشد؛ یا اگر تکه جدید در فاصله بسیار کمی با مرز بیرونی شهر اما بدون مرز مشترک با لبه باشد، شاخص S آن را نیز توسعه بیرونی در نظر می‌گیرد در حالی که این تکه ارتباط بسیار نزدیکی به شهر داشته و به زودی در منطقه اصلی ادغام خواهد شد و رشد لبه به حساب خواهد آمد (Cao et al., 2022). از این رو، برخی از محققان ضرورت ایجاد مناطق حائل را استدلال کردند. لیو و همکاران شاخص گسترش چشم انداز (LEI) را پیشنهاد دادند (Liu et al., 2010). این شاخص با استفاده از تحلیل بافر تعریف می‌شود که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت LEI نشان داد رشد شهر شیراز از الگوی رشد لبه‌ای تبعیت می‌کند. در طول دوره ۲۲ ساله، الگوی رشد درونی کاهش و رشد لبه‌ای افزایش یافته، در حالی که رشد بیرونی نسبتاً یکسان باقی مانده است. این نتایج مشابه با تحقیق صورت پذیرفته توسط (Nong et al., 2018) در ویتنام است و می‌تواند نشان دهنده یک تغییر حالت از ادغام به انتشار در الگوی گسترش شهر باشد.

از منظر نحوه آماده‌سازی داده‌ها و انجام تجزیه و تحلیل‌های نیز همان‌طور که بیان شد، در پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک پن شارپنینگ، وضوح تصاویر لندست ۴ برابر افزایش یافته است، در صورتی که در هیچ‌کدام از مقالات فوق‌الذکر عملیات افزایش وضوح تصاویر ماهواره‌ای انجام نشده است. علاوه بر این در مطالعه حاضر تمامی شاخص‌ها و فنون تحلیل فضایی هم به صورت کلی برای کل شهر شیراز و هم در هشت جهت جغرافیایی و فواصل مختلف از مرکز شهر بررسی و تجزیه و تحلیل شده است در صورتی که در مطالعه بدیعی و همکاران (۱۴۰۱) شاخص‌های منظر تنها برای کل شهر شیراز محاسبه و بررسی شده‌اند و اژدری و همکاران (۲۰۱۸) نیز روند رشد شهر شیراز را فقط در چهار جهت جغرافیایی بررسی کردند.

بدیعی و همکاران (۱۴۰۱) به این نتیجه رسیدند که طی بازه ۱۳۷۵-۱۳۹۵ شکل کلی رشد شهر شیراز به سمت تفرق و پیچیدگی بیشتر حرکت کرده است. این نتیجه هم راستا با پژوهش حاضر بوده اما پژوهش حاضر علاوه بر شکل کلی شهر این مهم را در جهات هشت گانه بررسی کرده و مشخص شده کدام جهات میزان توسعه و شدت پراکندگی بیشتری را تجربه کرده‌اند. اژدری و همکاران (۲۰۱۸) نیز نتیجه گرفتند که رشد شهر شیراز در بازه ۱۹۸۶-۲۰۱۴ پراکنده بوده و محدوده شمال غربی جذابیت بیشتری به منظور توسعه نسبت به سایر جهات دارد. اما در پژوهش حاضر جهت شمال غربی شیراز به عنوان مهم‌ترین محدوده از نظر شدت پراکندگی شناسایی گردید و شدت توسعه و گسترش در محدوده جنوب شیراز دارای بیشترین میزان نسبت به سایر جهات بوده است.

با این حال، مطالعه حاضر عوامل مؤثر بر گسترش و پراکندگی شهر شیراز را ارزیابی نکرده است. رشد شهری اغلب توسط ترکیبی از عوامل محرک توسعه مختلف هدایت می‌شود؛ بنابراین، در حالی که چنین عواملی ممکن است به خوبی مسئول تغییرات مشاهده شده در شیراز باشند، آنها فراتر از مطالعه فعلی بودند و شناسایی آن‌ها راهی پربار برای تحقیقات آینده فراهم می‌کند.

جدول ۹. مطالعات پیشین مربوط به شهر شیراز

مقاله	بازه تحت پوشش	فنون فضایی مورد استفاده	وضوح تصاویر ماهواره‌ای	مقیاس مورد بررسی
بدیعی و همکاران ۱۴۰۱	۱۳۷۵ - ۱۳۹۵	ساختار شکل رشد شهری با استفاده از سنج‌های فضایی	بیان نشده	محدوده کلان شهری
ازدیری و همکاران ۲۰۱۸	۱۳۶۵ - ۱۳۹۳	الگوهای رشد شهری با استفاده از سنج‌های فضایی	۳۰*۳۰ متر	مناطق شهرداری
کریمی و همکاران ۱۳۹۹	۱۳۶۵ - ۱۳۹۵	پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و رشد فضایی شهر با استفاده از مدل LTM	۳۰*۳۰ متر	مناطق شهرداری

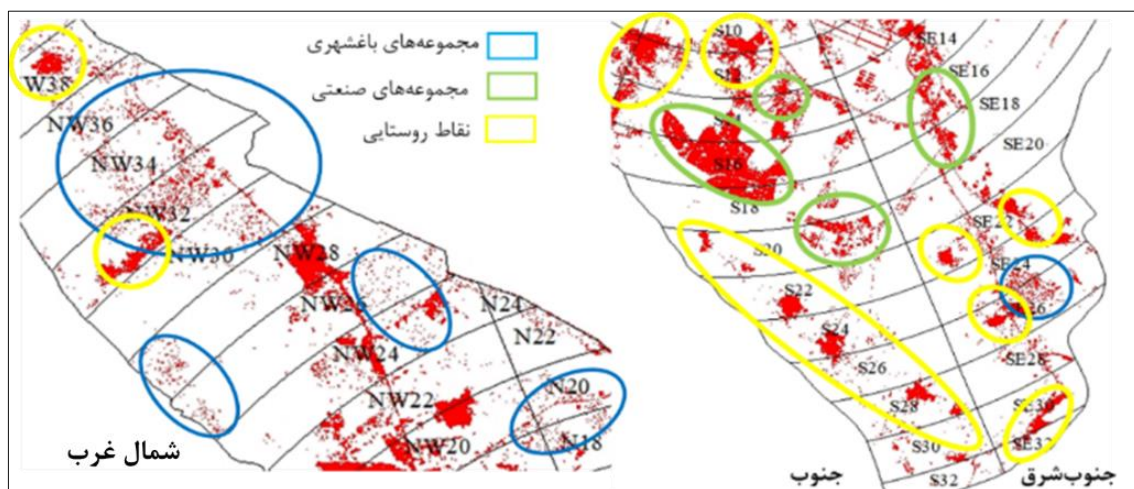
### نتیجه‌گیری

پویایی رشد شهری و اشکال شهرنشینی که در این مقاله شناسایی شد، اطلاعات ضروری را برای مقامات مدیریت کاربری و برنامه‌ریزی زمین فراهم می‌کند. نتایج نشان داد الگوی رشد شهر شیراز و مناطق اطراف آن پراکنده بوده و میزان پراکندگی آن با گذشت زمان در حال افزایش است. شاخص شدت گسترش نشان داد بیشترین شدت رشد در بازه زمانی مورد بررسی در فواصل ۶ تا ۱۲ کیلومتری جنوب غرب، ۶ تا ۱۸ کیلومتری جنوب و ۳۰ تا ۳۲ کیلومتر شمال غربی بوده است. همچنین محدوده جنوب شرق باینکه در بازه ۱۳۸۰-۱۳۹۲ شدت گسترش بسیار کمی را تجربه کرده اما در بازه ۱۳۹۲-۱۴۰۲ شدت گسترش آن بسیار افزایش یافته و پس از محدوده جنوب در رتبه دوم از نظر میزان افزایش سرعت گسترش قرار گرفته است. آنتروپی شانون نشان داد محدوده‌های شمال غرب، جنوب و جنوب شرق به ترتیب بیشترین پراکندگی را تجربه کرده‌اند. شاخص‌های منظر در مجموع الگوی رشد پراکنده ناحیه شمال غرب و جنوب شرق را شناسایی کردند. در نهایت شاخص گسترش منظر (LEI) نشان داد الگوی غالب توسعه در هر دو بازه زمانی، رشد لبه‌ای بوده است. بیشترین درصد از توسعه‌های بیرونی در هر دو بازه زمانی مورد بررسی در نواحی جنوب و شمال غربی بوده است.

در مجموع، برآیند و ترکیب تمامی تکنیک‌های فضایی استفاده شده در این پژوهش، نشان می‌دهد که مناطق شمال غربی و جنوبی شیراز بیشترین سهم را در پراکندگی در دو بازه زمانی مورد بررسی داشتند و در ارائه راهبردها جهت هدایت الگوی رشد شهر شیراز به سمت رشدی پایدار در آینده باید در اولویت قرار گیرند. همان‌طور که از شکل (۱۳) نیز پیداست، محدوده شمال غربی بیشترین مقدار پراکندگی را داشته و روند پراکندگی در این محدوده همچنان در حال افزایش است. ایجاد باغشهرها و توسعه روستاهای این منطقه به دلیل بازه اقتصادی مناسب و شرایط آب‌وهوایی مطلوب مهم‌ترین عامل توسعه پراکنده این محدوده است. مجموعه‌های باغشهری شکل ایرانی پراکنده‌رویی را نشان می‌دهند و باید نظارت بیشتری در جهت ساماندهی آن‌ها و تشدید پراکنده‌رویی صورت پذیرد.

محدوده جنوبی نیز دارای رشد پراکنده در سالیان قبل بوده با این تفاوت که از روند پراکندگی این محدوده در سالیان اخیر کاسته شده و در حال حاضر حرکت خود را به سمت فشرده‌تر شدن آغاز کرده است. از مهم‌ترین دلایل توسعه پراکنده در جنوب شیراز می‌توان به وجود شهرک صنعتی و منطقه ویژه اقتصادی شیراز اشاره کرد. بخش صنعتی در حاشیه شهر شیراز و نزدیک به روستاهای پیرامونی آن احداث شده و این محدوده را در معرض مهاجرت سریع و وسیع شغلی قرار داده است. این امر علاوه بر گسترش فضایی مناطق صنعتی، موجب گسترش فضایی مناطق روستایی اطراف می‌شود. دلیل دیگر آن برنامه‌ریزی پروژه‌های دولتی همچون مسکن ملی میانرود، کمیل‌آباد، کرونی و مسکن مهر سلطان‌آباد می‌شود. این پروژه‌های دولتی علاوه بر تأثیر مستقیم خود بر توسعه فضایی، باعث هجوم سرمایه‌گذاری‌های خصوصی، بیشتر باهدف ساخت‌وساز شخصی در جهت بازه اقتصادی می‌شوند. در نهایت نتایج نشان داد، محدوده جنوب شرقی که میزان گسترش و پراکندگی کمتری نسبت به دو محدوده قبلی دارد، در ده سال اخیر روندی صعودی داشته و پیش‌بینی می‌شود بدون برنامه‌ریزی مناسب، در آینده این محدوده نیز به درجه بحرانی شمال غرب و یا بدتر از آن برسد.





شکل ۱۳. عوامل تشدید کننده پراکندگی در نواحی شمال غربی، جنوبی و جنوب شرقی شیراز

## منابع

- بدیعی، نگار؛ المدرسی، سید علی؛ سرایی، محمدحسین (۱۴۰۱). ارزیابی ساختار شکل رشد شهری (مورد مطالعه: کلان شهر شیراز). *فصلنامه علمی کارافن*، ۱۹ (۴)، ۱۷۷-۱۹۳. doi: 10.48301/kssa.2022.331648.2028
- کریمی، ببرز؛ پیوسته‌گر، یعقوب؛ تقوایی، مسعود (۱۳۹۹). تحلیل و ارزیابی روند توسعه فضایی کلانشهر شیراز در افق ۱۴۱۰ با استفاده از مدل تحول زمین و تکنیک هلدرن. *فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه ریزی شهری*، ۱۱ (۴۰)، ۱۲۳-۱۳۶. doi: 20.1001.1.22285229.1399.11.40.9.6
- مغانی رحیمی، فریبا؛ مزیدی، احمد (۱۴۰۳). مطالعه و پایش تغییرات تالاب هورالعظیم با استفاده تصاویر لندست ۸. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۴ (۱)، ۱۳-۳۳. doi: 10.22126/GES.2023.9738.2698
- مغانی رحیمی، فریبا؛ مزیدی، احمد؛ غفاریان مالگیری، حمیدرضا (۱۴۰۰). بررسی توسعه شهری و تغییرات پوشش اراضی محدوده شهر ابرکوه با استفاده از تلفیق باندهای تصاویر ماهواره ای لندست ۷ و ۸. *اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۳۱ (۱۲۱)، ۱۴۱-۱۲۷. doi: 10.22131/sepehr.2022.252773
- مهمی، امیرمهمی؛ فدایی قطبی، مریم؛ اسماعیلی، علی؛ غضنفرپور، حسین (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های فضایی - کالبدی در تبیین الگوی پراکنده‌رویی شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور. نمونه موردی: شهر کرمان. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۰ (۳۸)، ۱۲۶-۱۰۷. doi: 10.30488/gps.2021.164892.2974
- ناصری، سعیده؛ نوحه‌گر، احمد؛ فرهادی، رضا (۱۴۰۲). سنجش فضایی زمانی الگوهای رشد شهری به منظور ارائه راهبردهای برنامه‌ریزی پایدار اراضی (نمونه موردی: شهر بندرعباس). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۳ (۴)، ۶۹-۸۳. doi: 10.22126/ges.2023.9381. 2675

## References

- Abidin, S. Z. Z., Zamani, N. A. M., & Aliman, S. (2019). A computerized tool based on cellular automata and modified game of life for urban growth region analysis. *Communications in Computer and Information Science*, 937, 374-386. doi: 10.1007/978-981-13-3441-2\_29/COVER
- Alam, I., Nahar, K., & Morshed, M. M. (2023). Measuring urban expansion pattern using spatial matrices in Khulna City, Bangladesh. *Heliyon*, 9(2). doi: 10.1016/J.HELIYON.2023.E13193
- Angel, S., Parent, J., & Civco, D. (2007). *Urban sprawl metrics: An analysis of global urban expansion using GIS* (pp. 22-33). <https://nyuscholars.nyu.edu/en/publications/urban-sprawl-metrics-an-analysis-of-global-urban-expansion-using->
- Arifeen, H. M., Phoungthong, K., Mostafaeipour, A., Yuangyai, N., Yuangyai, C., Techato, K., & Jutidamrongphan, W. (2021). Determine the Land-Use Land-Cover Changes, Urban Expansion and Their Driving Factors for Sustainable Development in Gazipur Bangladesh. *Atmosphere 2021, Vol. 12, Page 1353, 12(10)*, 1353. doi: 10.3390/ATMOS12101353
- Azhdari, A., Taghvaei, A., & Kheyroddin, R. (2018). Spatiotemporal analysis of Shiraz

- metropolitan area expansion during 1986-2014: Using remote sensing imagery and landscape metrics. *Iran University of Science & Technology*. doi: 10.22068/IJAUP.28.2.163
- Badie, N., Almodaresi, S.A., & Saraei, M.H. (2022). The Assessment of Urban Growth Spatial Structure, the Case of Shiraz Metropolis. *Journal of Technical and Vocational University*, 19(4), 177-193. doi: 10.48301/kssa.2022.331648.2028. (In Persian)
- Bagheri, B., & Soltani, A. (2023). The spatio-temporal dynamics of urban growth and population in metropolitan regions of Iran. *Habitat International*, 136, 102797. doi: 10.1016/J.HABITATINT.2023.102797
- Basu, T., Das, A., Das, K., & Pereira, P. (2023). Urban expansion induced loss of natural vegetation cover and ecosystem service values: A scenario-based study in the siliguri municipal corporation (Gateway of North-East India). *Land Use Policy*, 132, 106838. doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2023.106838
- Cao, H., Chen, J., Chen, C., & Li, P. (2022). Identification of multi-temporal urban growth patterns with a modified urban growth index: Case study of three fast growing cities in the Greater Mekong Subregion (GMS). *Ecological Indicators*, 142, 109206. doi: 10.1016/J.ECOLIND.2022.109206
- Cengiz, S., Görmüş, S., & Oğuz, D. (2022). Analysis of the urban growth pattern through spatial metrics; Ankara City. *Land Use Policy*, 112, 105812. doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2021.105812
- Chakraborty, S., Dadashpoor, H., Novotný, J., Maity, I., Follmann, A., Patel, P. P., Roy, U., & Pramanik, S. (2022). In pursuit of sustainability – Spatio-temporal pathways of urban growth patterns in the world's largest megacities. *Cities*, 131, 103919. doi: 10.1016/J.CITIES.2022.103919
- Chakraborty, S., Maity, I., Dadashpoor, H., Novotný, J., & Banerji, S. (2022). Building in or out? Examining urban expansion patterns and land use efficiency across the global sample of 466 cities with million+ inhabitants. *Habitat International*, 120, 102503. doi: 10.1016/J.HABITATINT.2021.102503
- Cheng, L. L., Tian, C., & Yin, T. T. (2022). Identifying driving factors of urban land expansion using Google Earth Engine and machine-learning approaches in Mentougou District, China. *Scientific Reports* 2022 12:1, 12(1), 1–13. doi: 10.1038/s41598-022-20478-z
- Chetry, V. (2022). Peri-urban area delineation and urban sprawl quantification in Thiruvananthapuram Urban Agglomeration, India, from 2001 to 2021 using geoinformatics. *Applied Geomatics*, 14(4), 639. doi: 10.1007/S12518-022-00460-0
- Dahal, K., & Lindquist, E. (2018). Spatial, Temporal and Hierarchical Variability of the Factors Driving Urban Growth: A Case Study of the Treasure Valley of Idaho, USA. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 11(3), 481–510. doi: 10.1007/S12061-017-9227-5/METRICS
- Das, S., & Angadi, D. P. (2021). Assessment of urban sprawl using landscape metrics and Shannon's entropy model approach in town level of Barrackpore sub-divisional region, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2), 1071–1095. doi: 10.1007/S40808-020-00990-9/METRICS
- Getu, K., & Bhat, H. G. (2021). Analysis of spatio-temporal dynamics of urban sprawl and growth pattern using geospatial technologies and landscape metrics in Bahir Dar, Northwest Ethiopia. *Land Use Policy*, 109, 105676. doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2021.105676
- He, Q., Zeng, C., Xie, P., Tan, S., & Wu, J. (2019). Comparison of urban growth patterns and changes between three urban agglomerations in China and three metropolises in the USA from 1995 to 2015. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101649. doi: 10.1016/J.SCS.2019.101649
- Hosseini, S. H., & Hajilou, M. (2019). Drivers of urban sprawl in urban areas of Iran. *Papers in Regional Science*, 98(2), 1137–1158. doi: 10.1111/PIRS.12381
- Jat, M. K., Garg, P. K., & Khare, D. (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(1), 26–43. doi: 10.1016/J.JAG.2007.04.002
- K, D., & Angadi, D. P. (2021). Urban expansion quantification from remote sensing data for

- sustainable land-use planning in Mangaluru, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100602. doi: 10.1016/J.RSASE.2021.100602
- Karimi, B., Peyvastehegar, Y., & Taghvaei, M. (2018). *Research and urban planning*, 11(40), 123 - 136. doi: 20.1001.1.22285229.1399.11.40.9.6. (In Persian)
- Li, C., Zhao, J., & Xu, Y. (2017). Examining spatiotemporally varying effects of urban expansion and the underlying driving factors. *Sustainable Cities and Society*, 28, 307–320. doi: 10.1016/J.SCS.2016.10.005
- Liang, J., Xie, Y., Sha, Z., & Zhou, A. (2020). Modeling urban growth sustainability in the cloud by augmenting Google Earth Engine (GEE). *Computers, Environment and Urban Systems*, 84, 101542. doi: 10.1016/J.COMPENVURBSYS.2020.101542
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S., & Ai, B. (2010). A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25(5), 671–682. doi: 10.1007/S10980-010-9454-5/METRICS
- Lu, H., Wang, R., Ye, R., & Fan, J. (2023). Monitoring Long-Term Spatiotemporal Dynamics of Urban Expansion Using Multisource Remote Sensing Images and Historical Maps: A Case Study of Hangzhou, China. *Land 2023, Vol. 12, Page 144*, 12(1), 144. doi: 10.3390/LAND12010144
- Manesha, E. P. P., Jayasinghe, A., & Kalpana, H. N. (2021). Measuring urban sprawl of small and medium towns using GIS and remote sensing techniques: A case study of Sri Lanka. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 1051–1060. doi: 10.1016/J.EJRS.2021.11.001
- Moghani Rahimi, F., Mazidi, A. (2024). Studying and Monitoring Changes in Horul Azim Wetland Using Landsat 8 Images. *Geography and Environmental Sustainability*, 14 (1), 13-33. doi: 10.22126/GES.2023.9738.2698. (In Persian)
- Moghani Rahimi, F., Mazidi, A., Ghafarian Malamiri, H. (2022). An investigation of urban development and land cover changes in abarkoh city combining bands from landsat 7 and 8 satellite images. *Geographical Data (SEPEHR)*, 31 (121), 127-141. doi: 10.22131/sepehr.2022.252773. (In Persian)
- Mohimi, A., Fadaei Qotbi, M., Esmaeily, A., Ghazanfarpour, H. (2021). Evaluating the Physical-Spatial Indices in Determination of Urban Sprawl Patterns Using Remote Sensing (Case Study: City of Kerman). *Geographical Planning of Space*, 10 (38), 107-126. doi: 10.30488/gps.2021.164892.2974. (In Persian)
- Nasehi, S., Nohegar, A., Fahadi, R. (2024). Spatiotemporal Analysis of Urban Growth Patterns to Provide Strategies for Sustainable Land Planning (Case Study: Bandar Abbas City). *Geography and Environmental Sustainability*, 13 (4), 69-83. doi: 10.22126/GES.2023.9381.2675. (In Persian)
- Nong, D. H., Lepczyk, C. A., Miura, T., & Fox, J. M. (2018). Quantifying urban growth patterns in Hanoi using landscape expansion modes and time series spatial metrics. *PLOS ONE*, 13(5), e0196940. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0196940
- Ozturk, D. (2017). Assessment of urban sprawl using Shannon’s entropy and fractal analysis: a case study of Atakum, Ilkadim and Canik (Samsun, Turkey). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(3), 264–276. doi: 10.3846/16486897.2016.1233881
- Parvinnezhad, D., Delavar, M. R., Claramunt, C., & Pijanowski, B. C. (2021). A modified spatial entropy for urban sprawl assessment. *Geocarto International*, 36(16), 1804–1819. doi: 10.1080/10106049.2019.1678676
- Pinheiro, G., & Minz, S. (2023). *Image Quality Evaluation of Various Pan-Sharpning Techniques Using Landsat-8 Imagery*. 391–403. doi: 10.1007/978-981-99-1620-7\_31
- Pradhan, B., Abdullahi, S., & Al-sharif, A. A. A. (2017). Introduction to urban growth and expansion. *Spatial Modeling and Assessment of Urban Form: Analysis of Urban Growth: From Sprawl to Compact Using Geospatial Data*, 3–15. doi: 10.1007/978-3-319-54217-1\_1/COVER
- Rath, S. S., Mohanty, S., & Panda, J. (2022). Analyzing the Fragmentation of Urban Footprints in

- Eastern and Southern Indian Cities and Driving Factors. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(8), 1499–1517. doi: 10.1007/S12524-022-01546-3/METRICS
- Rimal, B., Sloan, S., Keshtkar, H., Sharma, R., Rijal, S., & Shrestha, U. B. (2020). Patterns of Historical and Future Urban Expansion in Nepal. *Remote Sensing 2020*, Vol. 12, Page 628, 12(4), 628. doi: 10.3390/RS12040628
- Sahana, M., Ravetz, J., Patel, P. P., Dadashpoor, H., & Follmann, A. (2023). Where Is the Peri-Urban? A Systematic Review of Peri-Urban Research and Approaches for Its Identification and Demarcation Worldwide. *Remote Sensing 2023*, Vol. 15, Page 1316, 15(5), 1316. doi: 10.3390/RS15051316
- Salem, M., Bose, A., Bashir, B., Basak, D., Roy, S., Chowdhury, I. R., Alsalman, A., & Tsurusaki, N. (2021). Urban Expansion Simulation Based on Various Driving Factors Using a Logistic Regression Model: Delhi as a Case Study. *Sustainability 2021*, Vol. 13, Page 10805, 13(19), 10805. doi: 10.3390/SU131910805
- Seevarethnam, M., Rusli, N., Ling, G. H. T., & Said, I. (2021). A Geo-Spatial Analysis for Characterising Urban Sprawl Patterns in the Batticaloa Municipal Council, Sri Lanka. *Land 2021*, Vol. 10, Page 636, 10(6), 636. doi: 10.3390/LAND10060636
- Shaw, R., & Das, A. (2018). Identifying peri-urban growth in small and medium towns using GIS and remote sensing technique: A case study of English Bazar Urban Agglomeration, West Bengal, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(2), 159–172. doi: 10.1016/J.EJRS.2017.01.002
- Shi, Y., Sun, X., Zhu, X., Li, Y., & Mei, L. (2012). Characterizing growth types and analyzing growth density distribution in response to urban growth patterns in peri-urban areas of Lianyungang City. *Landscape and Urban Planning*, 105(4), 425–433. doi: 10.1016/J.LANDURBPLAN.2012.01.017
- Wu, C., Li, C., Ouyang, L., Xiao, H., Wu, J., Zhuang, M., Bi, X., Li, J., Wang, C., Song, C., Qiu, T., Haase, D., Hahs, A., & Finka, M. (2022). Spatiotemporal evolution of urbanization and its implications to urban planning of the megacity, Shanghai, China. *Landscape Ecology 2022* 38:4, 38(4), 1105–1124. doi: 10.1007/S10980-022-01578-7
- Wu, J., Wu, C., Zhang, Q., Zhuang, M., Xiao, H., Wu, H., Ouyang, L., Liu, Y., Meng, C., Song, C., Haase, D., & Li, J. (2023). Spatiotemporal Evolution of Urban Agglomeration and Its Impact on Landscape Patterns in the Pearl River Delta, China. *Remote Sensing 2023*, Vol. 15, Page 2520, 15(10), 2520. doi: 10.3390/RS15102520
- Xu, C., Liu, M., Zhang, C., An, S., Yu, W., & Chen, J. M. (2007). The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. *Landscape Ecology*, 22(6), 925–937. doi: 10.1007/S10980-007-9079-5/METRICS
- Zachary, D., & Dobson, S. (2021). Urban Development and Complexity: Shannon Entropy as a Measure of Diversity. *Planning Practice & Research*, 36(2), 157–173. doi: 10.1080/02697459.2020.1852664
- Zhao, J., Zhu, C., & Zhao, S. (2015). Comparing the Spatiotemporal Dynamics of Urbanization in Moderately Developed Chinese Cities over the Past Three Decades: Case of Nanjing and Xi'an. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(4). doi: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000251

