



## Sustainable Development of Geographical Environment

Journal homepage: <https://egsdejournal.sbu.ac.ir>



### Explaining Co-Relationship between the Visual Complexity of Townscape and its Physical Identity (Case Study: The Historical Core of Kermanshah City)

Marzi<sup>1</sup> , R., Rezaei<sup>2\*</sup> , M., Haghani<sup>1</sup> , T.,

1. Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

#### ARTICLE INFO

##### Keywords:

- Complexity
- Continuity-Transformation
- Differentiation-Similarity.
- Townscape
- Unity-Multiplicity
- Physical identity

Original Article

##### Article history:

Received: 17/09/2023

Accepted: 02/10/2023

#### ABSTRACT

The townscape is a blend of traditional and modern elements, forged over different time periods and styles. Some components harken back to the texture of the past, while others challenge easy recognition. The central question is how the complexity of physical identity-imparting townscapes, inherently older than their modern counterparts, can be elucidated in comparison to other elements. This research aims to gauge the complexity of an urban street scene using a qualitative and quantitative approach, employing field sampling in the historical context of Kermanshah city. Utilizing 14 images across seven historical townscapes and elements added to these townscapes in various periods, the fractal dimension of the images has been computed at three scales: figure, face, and facade. The research findings of Kermanshah city reveal that historical urban townscapes predominantly exhibit greater physical complexity than newly constructed areas. Moreover, an assessment of urban townscape complexity across these three scales indicates that physical complexity remains more steadfast in historical urban townscapes compared to newer counterparts. In essence, townscapes evolve to become richer and more physically complex over time, contingent upon newer additions contributing to the continuity of their physical-visual content rather than eradicating and replacing them. In townscapes characterized by higher complexity, the similarity between new and old elements surpasses differentiation, unity prevails overabundance, and the degree of continuity surpasses transformation. Calculating complexity serves as a valuable tool for monitoring damage to the city's historical landmarks and devising solutions for sustaining identity, continuity, and the connection between the present and the future.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

##### Citation:

Marzi, R., Rezaei, M. and Haghani, T., (2024). Explaining Co-Relationship between the Visual Complexity of Townscape and its Physical Identity (Case Study: The Historical Core of Kermanshah City), *Sustainable Development of Geographical Environment*: Vol. 5, No. 9, (54-71).  
DOI: 10.48308/SDGE.2023.233111.1152

\* Corresponding author E-mail address: (drrezaei26@gmail.com)

## Extended abstract

### Background and purpose

The townscape combines traditional and modern elements shaped across different periods and styles. Some components evoke memories and a sense of belonging, while others hinder the recognition of the city's texture, failing to engage the senses. The theory of complexity seeks to reveal hidden orders within identifying elements, suggesting that spatial relationships follow specific mathematical formulas rather than random arrangements. Though complex, the resulting shape, form, and geometry contain a hidden order that imbues meaning, contributing to the identity and sense of belonging within a space. This research aims to connect physical complexity theory with townscape theories to interpret the complexity of physically identity-laden townscapes, particularly those with historical significance.

### Methodology

This study employs a simultaneous descriptive-analytical and quantitative-qualitative approach. It comprises two main sections as the first delves into theoretical foundations related to fractals and their application in townscapes, examining historical context. The second part involves selecting and photographing townscapes in the historical context of Kermanshah city to measure their physical complexity. To calculate the fractal dimension, each photo is categorized into three scales as far, middle, and close distances. Fractal dimensions are calculated using "ImageJ" software for 14 images from seven historical townscapes, including elements added to the townscapes in different periods.

### Findings and discussion

Calculating fractal dimensions for selected townscapes within the historical context of Kermanshah at varying distances revealed interesting patterns. It was observed that older townscapes featuring buildings and historical elements exhibit higher complexity compared to newer townscapes. When examining the fractal dimension at a middle distance, it became evident that historical townscapes, characterized

by a strong physical identity, showcase increased physical complexity, which is accompanied by either a constant or slight decrease in complexity. This trend is reiterated in the near distance, demonstrating an escalation in physical complexity as one approaches the townscape with a more pronounced physical identity. In addition to changes in the fractal dimension, it is noteworthy that images at a far distance encompass more elements and components compared to the other two distances. Consequently, one might expect a decrease in the fractal dimension as details diminish in the overall image. However, this outcome was observed only in newer townscapes.

### Conclusion

The results indicate that townscapes of Kermanshah with a stronger historical identity exhibit higher physical complexity than those lacking historical identity. Additionally, there is a direct correlation between fractal dimension (physical complexity) and subjective knowledge and meaning associated with the townscape. The evaluation of complexity from three different scales reveals that physical complexity is more consistent in historical urban townscapes compared to newer ones. Over time, townscapes become richer and more physically complex, provided newer elements contribute to the continuity of physical-visual content instead of disrupting it. In townscapes with a more complex urban identity, the similarity between old and new elements surpasses differentiation, emphasizing unity and continuity over abundance and transformation. Calculating these complexities is a valuable tool for monitoring damage to historical city sights and proposing solutions for preserving identity, continuity, and connection between the present and the future.

**Keywords:** Complexity, Continuity-Transformation, Differentiation- Similarity, Townscape, Unity- Multiplicity, Physical Identity.



## تبیین رابطه پیچیدگی بصری منظر شهری و هویت کالبدی آن (مورد پژوهی: هسته تاریخی شهر کرمانشاه)

طوفان حقانی<sup>۱</sup>، محمود رضایی<sup>۲\*</sup>، روژین مرزی<sup>۱</sup>

۱. گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
۲. گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

مناظر شهرها، تلفیقی از اجزا سنتی و مدرن هستند که طی دوره‌های زمانی و با سبک‌های متفاوت شکل گرفته‌اند. بعضی از این اجزا با گذشته بافت شهر رابطه دارند و برخی دیگر شناخت بافت را مشکل می‌کنند. پرسش اصلی این است که میزان پیچیدگی مناظر هویت‌بخش کالبدی که به‌طور طبیعی قدیمی‌تر از مناظر نوساز هستند، نسبت به سایر عناصر چگونه قابل تفسیر است؟ هدف این پژوهش سنجش میزان پیچیدگی منظر بخش مرکزی و تاریخی شهر کرمانشاه در رابطه با هویت کالبدی آن است. روش تحقیق، کیفی و کمی، با راهبرد برداشت میدانی در این بافت تاریخی است. با استفاده از چهارده تصویر از هفت منظر تاریخی و عناصر الحاق شده به مناظر در دوره‌های مختلف، بعد فراکتال تصاویر در سه مقیاس پیکر، سیما و چهره محاسبه شده است. نتایج پژوهش در شهر کرمانشاه نشان می‌دهد که مناظر تاریخی با هویت شهری، عمدتاً دارای پیچیدگی کالبدی بیشتری نسبت به بخش‌های نوساز هستند. همچنین ارزیابی این پیچیدگی با سه مقیاس مختلف، پایدارتر بودن پیچیدگی کالبدی را در بافت تاریخی نسبت به بافت‌های جدیدتر نشان می‌دهد. یعنی مناظر شهری در گذر زمان غنی‌تر و از لحاظ کالبدی پیچیده‌تر می‌شوند، به شرطی که اجزاء جدیدتر به جای تخریب و جایگزینی، به تداوم محتوای کالبدی - بصری آن بیفزایند. در مناظر با هویت این شهر که پیچیدگی بیشتری دارند، تشابه عناصر جدید و قدیم بیش از تمایز، وحدت بیش از کثرت، و درجه تداوم بیش از تحول آن است. محاسبه پیچیدگی ابزار مناسبی برای رصد میزان آسیب‌پذیری مناظر تاریخی شهر و ارائه راهکارهایی برای تداوم هویت، پیوستگی و پیوند بین حال و آینده است.

### واژه‌های کلیدی:

- پیچیدگی
- تداوم - تحول
- تشابه - تمایز
- منظر شهری
- وحدت - کثرت
- هویت کالبدی

### مقاله: پژوهشی

### تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### استناد:

مرزی، ر.، رضایی، م. و حقانی، ط.، (۱۴۰۲). تبیین رابطه پیچیدگی بصری منظر شهری و هویت کالبدی آن (مورد پژوهی: هسته تاریخی شهر کرمانشاه)، توسعه پایدار محیط جغرافیایی: سال ۵، شماره ۹، (۵۴-۷۱).  
DOI: 10.48308/SDGE.2023.233111.1152

## مقدمه

گرچه افزایش عواملی مثل پیاده پذیری و قدمت تاریخی فضا، باعث افزایش دل‌بستگی، حضورپذیری، تعامل‌پذیری، بازارپذیری و در نتیجه تقویت هویت مکان می‌شود (Marzbani et al, 2020; Rezaei et al, 2022). مناظر شهری مانند بسیاری از پدیده‌های جهان طبیعی نمی‌تواند تنها با استفاده از مفاهیم هندسه اقلیدسی توصیف شود. یکی از روش‌هایی که می‌تواند در ثبت مکان پیچیده کمک کند، به راحتی امکان مقایسه بین ویژگی‌های مکان را فراهم می‌کند و پتانسیل اندازه‌گیری ویژگی‌های یک مکان بی‌نظم در کمیت کلمات را دارد، محاسبه ابعاد فراکتال<sup>۱</sup> است (Cooper et al, 2013; Batty and Longley, 1994). اغلب نظام‌های پیچیده منظم در جهان از جمله شهرها، ساختارهای تکوین‌یافته ای هستند که قطعاً پیچیدگی عمیقی دارند. همچنین سرشت پیچیدگی تکوینی حاوی سیستمی است که از فرایند زنده ساخته شده باشد (الکساندر، ۱۳۹۹). بعد فراکتال شاخص خوبی از سطح متنوع ادراک ما از پیچیدگی کالبدی یک منظر شهری است، زیرا محاسبه بعد فراکتال به وسیله استخراج جزئیات منظر خیابان، چیدمان فیزیکی آن (ساختمان‌ها، پوشش گیاهی و غیره) می‌تواند شاخصی برای قضاوت درباره فضا و تنوع بصری آن باشد (Cooper and Oskrochi, 2008). تاکنون این بعد بیشتر به صورت کمی مورد توجه بوده ولی این مقاله افزون بر روش کمی، به ارائه شاخص‌های کیفی پرداخته است. باید در نظر داشت که تمام عناصر تشکیل‌دهنده جداره شهری اعم از عناصر کالبدی مصنوع (ابنیه، المان‌ها، کنج‌ها، مسیرها و مبلمان شهری) و عناصر طبیعی (کوه‌ها، رودها، دره و جنگل) و عناصر طبیعی طراحی شده (پارک، جداره سبز درختان، آب‌نماها و مسیل‌ها) به‌گونه‌ای کنار هم قرار گیرد که وقتی در فاصله دور، میانه و نزدیک دیده می‌شود، محتوایی معنادار و پیوسته ایجاد نماید. این ادعا در صورتی امکان‌پذیر است که جزئیات در مقیاس‌های مختلف با یکدیگر همانند یک کل یکپارچه هم‌افزایی کنند. از این رو تحلیل فراکتالی تصاویر در منظر شهری ابزار سنجش مناسبی برای پیچیدگی مناظر شهری است. استفاده از تجزیه و تحلیل فراکتال برای تصاویر منظر شهری روش نسبتاً جدیدی است و در پژوهش حاضر، برای تبیین آن بر ویژگی‌های بعد فراکتالی یک منظر شهری و شیوه سنجش آنها تاکید شده است. همچنین بررسی یک بافت تاریخی به دلیل وجود عناصر باستانی و جدیدتر سبب تبیین بهتر نتایج می‌شود. بافت تاریخی شهر کرمانشاه نیز همانند شهرهای دیگر ایران، دارای مناظر ارزشمند کهن بسیاری است که در طول زمان و افزودن عناصر جدید دچار تغییر و تحولات گسترده‌ای شده است. این مهم در مطالعات پیشین پژوهشگران و همراه با تسلط پژوهشگران بر محدوده مذکور به‌عنوان علل انتخاب آن مطرح شده است. زیرا هویت منظر بافت تاریخی شهر کرمانشاه با افزودن عناصر و اجزای جدید در معرض آسیب جدی قرار دارد. همچنین اگر از روش‌های مناسب در حفظ هویت و ارائه راهکارهای مناسب استفاده نشود، از بین رفتن هویت باقیمانده نیز محتمل خواهد بود. عواملی که مطرح شد اهمیت و ضرورت بررسی بافت تاریخی به‌ویژه در شهر کرمانشاه و استفاده از یک رویکرد نوین برای پایداری هویت منظر شهری را مشخص و مطرح می‌کنند. این پژوهش برای دقت بیشتر، بر هویت کالبدی تمرکز دارد که بخشی از حس مکان است و جنبه‌های فعالیتی را شامل نمی‌شود.

## مبانی نظری و پیشینه

### سیستم‌های پیچیده و هندسه فراکتال

در سال ۱۹۷۵، بنویت مندلبروت<sup>۲</sup> اصطلاح فرکتال را به منظور توصیف اشیا با ویژگی‌های طبیعی (کوه، دره، گل، درخت و ...) ابداع کرد که جهان طبیعی را به روشی بهتر از هندسه اقلیدسی توصیف می‌کرد (Mandelbrot, 1983). بوویل (۱۹۹۶) از بعد فراکتال برای تمایز بین معماری ساده با پیچیدگی‌های کالبدی کم و معماری با پیچیدگی‌ها و جزئیات بالا از به جهت مقایسه آثار معماران برجسته‌ای چون میس ون در روهه، رایت و لوکوربوزیه بهره برد. وی فقدان پیچیدگی ساختاری در معماری ساده‌گرای بدون جزئیات را دلیل شکست آن می‌داند (Lorenz and Kulcke, 2021). بوویل همچنین ادعا داشت، ساختمان‌های حاوی "وحدت همراه با تنوع" دارای کیفیت فراکتال هستند. بیشتر بناهای قدیمی به دلیل

داشتن تنوع در عناصر، اشکال و لایه‌های متعدد در کنار یکدیگر دارای تنوع در عین وحدت و نمایانگر یک کل منسجم هستند (Haghani, 2009). دو کاربرد متفاوت در خصوص مفهوم فراکتال ارائه شده است: اولی به دنبال یافتن راه‌حلی برای تولید ساختارهای کالبدی پیچیده است که از هندسه فراکتال به‌عنوان ابزار طراحی برای تولید فرم‌های غیرخطی - مشابه آنچه که در طبیعت وجود دارد - بهره می‌گیرد. مثلاً چارلز جنکس جریان فراکتال (در منبع از واژه پرشکن (پراز شکست یا اجزای شکننده پیچیده) معادل فراکتال استفاده شده است) را به کارگیری قوانین طبیعت در طراحی می‌داند (رضایی، ۱۳۹۲؛ رضایی، ۱۳۹۳). دسته دوم کارایی مفهوم فراکتال را نه در ایجاد اشکال پیچیده و نه به‌عنوان ابزار طراحی به سبک فراکتال بلکه وسیله‌ای برای درک بهتر محیط و تحلیل فضا دنبال می‌کنند (حقانی، ۱۳۸۵؛ Haghani, 2009). در رویکرد دوم که موردنظر این پژوهش هم است، از اندازه‌گیری میزان پیچیدگی فرم یک ساختار پیچیده شهری برای تحلیل و نقد میزان موفقیت فضای ساخته شده استفاده می‌شود (گودرزی و حقانی، ۱۳۹۴؛ Batty and Longley, 1996; Cooper and Oskrochi, 2008; Bovill, 1994). در ابتدا به جایگاه الگوهای فراکتال در نظریه پیچیدگی و چگونگی تأثیر آن بر پیچیدگی کالبدی پرداخته می‌شود؛ لذا تفهیم چارچوب‌هایی که برای درک پیچیدگی در سراسر جهان الزامی است. سیستم‌های پیچیده از طریق ارتباط متقابل اجزا و خصوصیات مستقل از اجزای تشکیل‌دهنده خود، وجودی را به نمایش می‌گذارند که رفتار آنها تحت تأثیر ساختارهای سازمانی و روابط متقابل درون این ساختارها است. دو شرط اولیه در یک سیستم پیچیده وجود دارد: تعادل و عدم تعادل. سیستم‌های متعادل بسیار یکپارچه، تعاملی، خودمدیریتی و خودماندگار هستند و به آرامی تغییر می‌کنند. آنها تمایل به خودسازمان‌دهی دارند یعنی به ساختارهای تعادلی تبدیل می‌شوند که دارای تداوم هستند و به آرامی با سیستم‌های زمینه‌ای و ارتباط متقابل اجزاء تکامل می‌یابند (Motloch and Woodfin, 1998). به‌طور خلاصه، یک سیستم پیچیده مجموعه‌ای است متشکل از چندین سیستم باز که هم با درون خود و هم با محیط پیرامون در حال تعاملات غیرخطی هستند (Batty, 2005; Ladyman and Wiesner, 2020). نظریه پیچیدگی از تجمیع دو نظریه کیاس<sup>۲</sup> و فراکتال در اواخر سده بیستم و توسط دو دسته از دانشمندان شکل گرفت که به‌طور موازی دسته اول رفتار پیچیده، آشوب، سیستم زنده و دسته دوم شکل فراکتال گونه (پیچیدگی کالبدی) آن سیستم را مطالعه می‌کنند (Haghani, 2009; Ladyman and Wiesner, 2020).

#### میزان پیچیدگی و بعد فراکتال در منظر شهری

در مقیاس طراحی منظر شهری، اندازه‌گیری پیچیدگی کالبدی و ابعاد آن را به چند دسته می‌توان تقسیم کرد: طبقه‌بندی زمانی، بصری، فضایی، مقیاس و اتصال‌پذیری (Boeing, 2018). مفهوم ابعاد فراکتال را می‌توان برای اندازه‌گیری پیچیدگی سطوح دوبعدی مانند سطح شهر، نمای ساختمان یا سه‌بعدی عناصر شهری: مانند کالبد بناها به کاربرد (Cooper et al., 2013; Mandelbrot, 1983). با این که طراحی شهری مدرنیستی به دنبال حذف پیچیدگی از طریق ساده‌سازی، ترکیب فرم‌های جدا از هم بوده است، در شهر سنتی و ارگانیک، فرم‌ها با جزئیات غنی در مقیاس‌های چندگانه از خرد تا کلان قابل رویت هستند (Marshall, 2008; Haghani, 2013). بعد فراکتال نیز به این شکستگی و خود تشابهی یک بخش با کل و جزئیاتی که در هر مقیاس مشخص قابل مشاهده و اندازه‌گیری است، اشاره دارد (Jiang and Yin, 2014; Turnbull et al., 2018).

#### بعد فراکتال؛ شاخص اندازه‌گیری پیچیدگی کالبدی منظر شهری

فراکتال‌ها دارای خاصیت ریاضی با یک عدد غیرصحیح هستند، (Reinhardt et al, 2020) بعد فراکتال نسبت تغییر جزئیات در تغییر مقیاس را مشخص می‌کند (حقانی و نصرتی، ۱۳۹۳؛ Di Leva, 2016). همچنین می‌تواند نشانه خوبی از سطح متنوع ادراک در منظر یک خیابان باشد که به‌وسیله استخراج جزئیات کالبدی (ساختمان‌ها، پوشش گیاهی و غیره) با دید ناظر قابل اندازه‌گیری است (Lorenz and Kulcke, 2021; Cooper and Oskrochi, 2008). اگر یک شیء یا منظر، ویژگی فراکتال داشته باشد، تعداد جزئیات قابل مشاهده آن با بزرگ‌نمایی افزایش می‌یابد و به همین دلیل بعد فراکتال آن نیز بیشتر می‌شود. بعد فراکتال به‌عنوان معیاری از پیچیدگی بصری (Theiler, 1990; Sun et al, 2006)،

تنوع (Cooper and Oskrochi, 2008) و گاهی اوقات طبیعی بودن (Perry et al, 2008) استفاده می‌شود (Ladyman and Wiesner, 2020). کلید درک بعد فراکتال رابطه میان اندازه‌گیری طول و مقیاس و روش‌های مختلفی برای مشخص کردن آن معرفی شده است. همه روش‌ها تلاش بر ایجاد یک رابطه بین اندازه‌گیری طول، سطح یا حجم با چگونگی افزایش جزئیات در مقیاس‌های کوچک‌تر دارند. یکی از این روش‌ها شمارش جعبه<sup>۴</sup> است که شامل قرارگیری جعبه‌ها روی سوژه در مقیاس‌های مختلف است. اندازه مربع‌ها به عنوان معادل مقیاس مورد استفاده برای اندازه‌گیری ثبت می‌شود و تعداد مربع‌های حاوی موضوع شمارش می‌شوند (Cooper and Oskrochi, 2008).

### پیچیدگی کالبدی منظر شهری

در یک منظر شهری ساده، ابران پیاده اطلاعات جدید بصری کمی به دست می‌آورند در حالی که محیط‌های شهری بسیار پیچیده افراد را در حین حرکت در فضا با اطلاعات جدید و گسترده‌تری مواجه می‌کنند. در این شرایط فضا مانند رسانه است و ناظر در حال خواندن تابلوهایی قابل رویت و با حرکت در فضا باز کردن پیام‌ها است (کالن، ۱۳۷۷؛ Boeing, 2018). پیچیدگی بصری مناسب در نقطه‌ای متعادل بین نظم و بی‌نظمی با وحدت در عین تنوع به حد مطلوب می‌رسد (Elsheshtawy, 1997; Gunawardena et al, 2015). محققان پیچیدگی بصری را به درک افراد هنگامی که در شهر حرکت و اطلاعات متفاوتی را تجربه می‌کنند، مرتبط می‌دانند (Grompton, 2002). انسان‌ها در تجربه فضا، تمایل به درک اطلاعاتی دارند که به آسانی دریافت می‌شوند و منجر به پرت شدن حواس نمی‌شوند و اطلاعات زائد نمی‌دهند (بنتلی و همکاران، ۱۳۹۴). پیچیدگی بصری خوب به تنوع در انواع ساختمان‌ها، جزئیات طراحی، مبلمان، نشانه‌ها، فعالیت‌های انسانی و بافت غنی همراه با عناصر طبیعی وابسته است. پیچیدگی تابع حرکت بین نظم و بی‌نظمی یا به اصطلاح شهری آن بین تنوع بصری و پیوستگی فضایی است (Boeing, 2018). گوناگونی ساختمان‌ها (مطابق با پارادایم دوم فیشرمن (Fishman, 2011) پیچیدگی بصری را افزایش داده؛ اما ساختمان‌های بلندمرتبه، عریض و بدون جزئیات، پیچیدگی را کاهش می‌دهند (Jacobs and Appleyard, 1987). محیط‌های شهری دارای تنوع و تعدد در جزئیاتی هستند که علاوه بر پیچیدگی بصری بیشتر، جالب‌تر، لذت‌بخش‌تر و با غنای ادراکی بالاتری برای انسان‌ها هستند (Marshall, 2012).

### جایگاه پیچیدگی و هویت کالبدی در بافت تاریخی

پیچیدگی موجود در بافت‌های تاریخی حاصل رشد ارگانیک با روند توسعه تدریجی است که در اثر تجمیع اقدامات کوچک در بازه زمانی طولانی ایجاد می‌شود. دو عامل در تعامل با هم این فرایند را به وجود می‌آورند که یکی عامل زمان یعنی توسعه در مراحل متوالی و دیگری میزان مداخلات در فضا است (Batty and Longley, 1994). فرم سنتی شهری با توجه به استفاده‌کنندگان از فضای شهری و بدون آگاهی سازندگان آن از این موضوع، در طول زمان با اضافه شدن تدریجی عناصر براساس الگوهای غیرخطی رشد کرده است. مطالعه شهرها با استفاده از تئوری شهر فراکتال سبب شناخت بهتر نحوه توسعه شهرهای سنتی و بافت‌های تاریخی است (Povilaitien et al, 2018). نظریه پردازان گوناگونی درباره مکان‌سازی مدل ارائه داده‌اند که در آن‌ها مدل کلی دارای سه مؤلفه اصلی، کالبدی، فعالیتی و معنایی است (Rezaei et al, 2022). منوچهر مزینی با پیشبرد پژوهش «سیمای شهر» کوین لینچ (مزینی کتاب لینچ را که به مفاهیم ذهنی تاکید دارد به این نام ترجمه کرده و در این نوشتار نیز مقصود همان تجسم شهر است.)، معتقد است روحیه شهر ذهنیتی و رای دو بعد و برآمده از عینیت‌های دوگانه ظرف یا کالبد (در سه مقیاس پیکر، سیما و چهره) و مظروف یا جان شهر (مردم و زندگی آنان) است. مقیاس پیکر، رویت شهر از فاصله دور و تجربه ورودی - خروجی، خط آسمان، نیم‌رخ و تندیس است. در مقیاس سیما آنچه تجربه می‌شود لبه، نشانه، گره و محله است. چهره مقیاسی است که راه، اثاثیه و نما بیشتر در آن دیده می‌شود. می‌توان مفاهیم ذهنی و پنداشتی شهر را «سیمای شهر» فرض کرد و به عوامل عینی مزینی افزود؛ بنابراین اگر بتوان کالبد (طبیعی یا مصنوع) را «منظر شهر» نامید (منظر شهر را منوچهر طبیبیان برای مفهومی معادل می‌داند که گردن کالن در جهان پیش برده و تاکید آن بر جنبه‌های کالبدی است.) و «جان شهر» را ویژگی‌های حرکتی، فعالیتی

و رفتاری دانست، در این صورت سیما، منظر و جان شهر، همراه و هم‌زمان «حس مکان» یا هویت آن را می‌سازند (رضایی، ۱۳۸۲؛ ۱۳۹۲؛ ۱۳۹۳؛ ۲۰۲۱). در عین حال، پیوند مفهوم هویت و منظر شهری که در اینجا هویت کالبدی خوانده می‌شود با مفهوم پیچیدگی از طریق مفاهیم «تشابه - تمایز»، «وحدت - کثرت» و «تداوم - تحول» صورت می‌گیرد. منظرهای عینی موفق شهری محتوی هویتی است که بر مبنای نظریه پیچیدگی در فرم‌های شهری قابل باز تعریف است. به عبارتی دیگر با ویژگی‌های تمایز - تشابه، تداوم - تحول، وحدت - کثرت بافت شهری می‌توان به مفهوم پیچیدگی کالبدی یک مکان دست‌یافت که بازگویی توأمان منظر و هویت آن مکان است (Marzi et al, 2021). بافت‌های تاریخی به عنوان هسته اصلی شکل‌گیری شهرها جایگاه ویژه‌ای در هویت شهر ایفا می‌کنند، اما ساختار کالبدی آن‌ها به مرور دچار تغییر و فرسودگی می‌شود (مهدی‌نژاد و شقاقی، ۱۳۹۹). رعایت اصول و حفظ ساختار شهرهای کهن و توجه به توسعه مناسب بافت و بناها می‌تواند برای مقابله با رشد ناموزون فضاهای شهری و تقویت هویت مکان‌های آن مفید و پاسخگوی نیازهای کاربران باشد. عناصر سازنده هویت کالبدی شهرهای ایرانی، بازار و راسته‌های تجاری، مسجد، میدان، خیابان، گذرهای پر پیچ‌وخم و ساختمان‌های مسکونی هستند (پاکزاد، ۱۳۹۲؛ رضایی، ۱۳۹۲؛ امینی‌حاجی‌باشی و همکاران، ۱۳۹۸). در حالی که تغییر و تحولات در عصر حاضر و آنچه به عنوان ساخت شهری در نظر گرفته می‌شود، نوعی بی‌هویتی کالبدی در محیط کالبدی شهر ایرانی است (صفایی‌پور و سعیدی، ۱۳۹۶). در این پژوهش تصاویر مناظری از خیابان‌های بافت تاریخی کرمانشاه با هدف بررسی رابطه پیچیدگی کالبدی با هویت کالبدی منظر شهری انتخاب شده‌اند. این تصاویر شامل مناظری از استخوان‌بندی و سازمان فضایی شهر با هویت کالبدی بالاتری نسبت به بافت جدید شهر هستند. استناد هویت کالبدی به تصاویر براساس قدمت، سابقه ثبت آثار میراثی و عناصر کهن موجود در بافت تاریخی در نظر گرفته شده است. در مقابل از تصاویر مناظری که قدمت کمتری داشته و یا در دوران معاصر به دلیل دخل و تصرف‌های بی‌رویه در بافت تاریخی، هویت آن کم‌رنگ یا از بین رفته‌اند، برای مقایسه میزان پیچیدگی کالبدی آنها استفاده شده است.

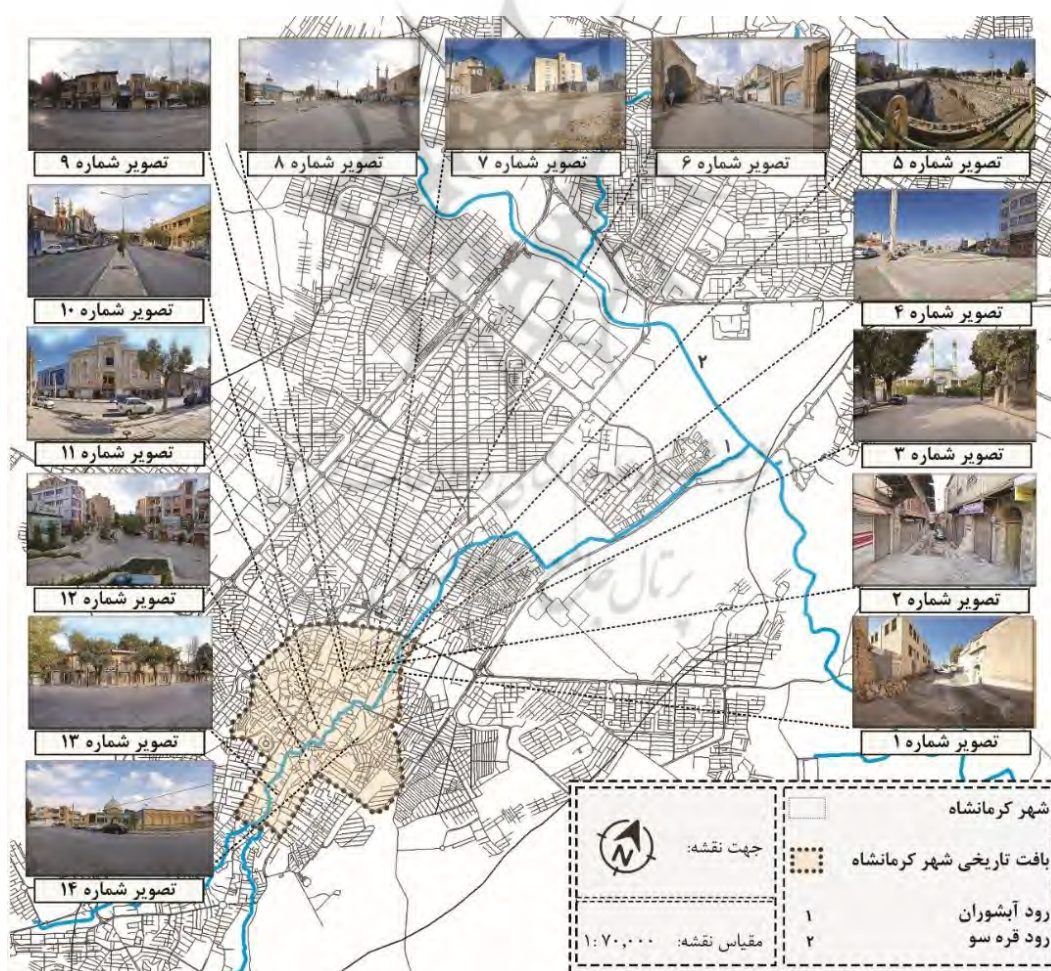
## روش‌شناسی

در پژوهش حاضر از روش توصیفی - تحلیلی و کمی - کیفی هم‌زمان استفاده شده و دارای دو قسمت کلی است: در قسمت اول، مبتنی بر مبانی نظری و پیشینه پژوهش، به بررسی منابع موجود در زمینه فراکتال و کاربرد آن در مناظر و بافت تاریخی شهر پرداخته شده است. در قسمت دوم بعد از بررسی میدانی مناظر شهری انتخاب و تصویربرداری، از نرم‌افزار ایمیج جی<sup>۵</sup> برای سنجش پیچیدگی کالبدی تصاویر استفاده شد. این نرم‌افزار بعد فراکتال<sup>۶</sup> را به کمک روش شمارش جعبه و به‌طور خودکار با افزودن یک پلاگین محاسبه می‌کند. به جهت اینکه تصاویر به صورت یکسان در نرم‌افزار وارد شوند، کلیه مناظر عکس‌برداری شده در این پژوهش به صورت پانوراما، با زاویه ۱۸۰ درجه در فاصله ۵۰ متری از نمونه موردنظر و در ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متری تهیه شده، دارای ابعاد ۱۸۳\*۲۹۷ و رزولوشن ۳۰۰ است. برای ارزیابی بعد فراکتال تصاویر منظر شهری هر عکس مطابق نظریه منوچهر مزینی در سه مقیاس پیکر (فاصله دور)، سیما (فاصله میانی) و چهره (فاصله نزدیک) تقسیم شده است به صورتی که در مقیاس پیکر یک تصویر، در مقیاس سیما، دو تصویر و در مقیاس چهره ۴ عکس ایجاد شد که با یکدیگر همپوشانی ندارند (A1 تا A7). محاسبه دقیق بعد فراکتال نیازمند ورود همه تصاویر با یک اندازه به نرم‌افزار است، لذا اندازه آنها به طول و عرض بزرگ‌ترین تصویر تغییر داده شد. همچنین قبل از ورود به نرم‌افزار برای محاسبه بعد فراکتال، تمامی تصاویر با استفاده فتوشاپ با فیلتر و حالت<sup>۷</sup> مشخص تنظیم شده‌اند. فیلتر و وضعیت ایجاد شده بر روی تصاویر، تغییرات بین نواحی اصلی را پیدا کرده و تصویر را برای نمایشی شبیه به خطوط نازک و روی پس‌زمینه سفید طوری ترسیم می‌کند که پارامترهای مورد ارزیابی سطح و لبه باشد. سپس با آماده‌سازی در مراحل قبل، تصاویر با سایز مشخص<sup>۸</sup> وارد نرم‌افزار شدند. فرایند پردازش در نرم‌افزار با یک فیلتر<sup>۹</sup> آغاز شده و حاوی دستوراتی است که تصاویر (سیاه و سفید) را ایجاد می‌کند. ارزیابی بعد فراکتال این پژوهش در ۷ منظر شهری، با ۱۴ عکس و ۳ مقیاس یا فاصله مشخص و جمعاً ۹۸ بار صورت پذیرفت. برای نمونه فرایند ارزیابی دو تصویر از

منظر شهری (شکل ۲ و ۳) در این مقاله به نمایش گذاشته شده است. همچنین با رفت و برگشت‌های مکرر و مقایسه تصاویر و بعدهای فرکتال مربوط به هر مقیاس یا فاصله شاخص‌های کیفی تنظیم شده است (در قسمت نخست این پژوهش (کیفی) از روش داده بنیاد و تحلیل محتوا استفاده شده که کدهای حاصله در قسمت دوم (کمی) آزمون شده است).

### محدوده مورد مطالعه

مناظر شهری منتخب و موقعیت قرارگیری آن‌ها در معابر اصلی بافت تاریخی شهر کرمانشاه در شکل ۱ آمده‌اند. هفت منظر از فضاها و ابنیه شامل: (مسجد جامع، تکیه بیگلربیگی، تکیه معاون الملک، راسته‌های پراکنده بازار، خیابان‌های اصلی، هتل و مسجد جلیلی) در تحلیل سنجش شده‌اند که در آنها عناصر جدید و تاریخی مناظر وجود دارد. در ۲ منظر از دو گذر تاریخی (گذر جلوخان و عباس‌آباد)، تغییرات فرم گذر و ساختمان‌های نوساز در کنار ساختمان‌های قدیمی مدنظر بوده است. ۳ منظر هم از عناصری که کاملاً جدید هستند (برای مقایسه مناظر قدیمی) شامل: هتل، ساختمان‌ها، معابر عریض و همچنین مرکز خرید جدید در خیابان اصلی و در نزدیکی بازار سنتی کرمانشاه قرار دارند. ۲ منظر نیز از مسیر طبیعی و دست‌کاری شده (رود آبشوران) انتخاب شده است. در مجموع ۱۴ عکس از منظر شهری بافت تاریخی شهر کرمانشاه ارزیابی و میزان پیچیدگی کالبدی تصاویر و عناصر موجود در آن بررسی شد.



شکل ۱: موقعیت مناظر منتخب از مناظر شهری در بافت تاریخی شهر کرمانشاه به جهت ارزیابی بعد فراکتال

(ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)



## یافته‌ها

ابتدا ابعاد فراکتال (میزان پیچیدگی) تصاویر مناظر شهری منتخب در بافت تاریخی شهر کرمانشاه (تاریخی و معاصر) محاسبه و تصاویر در سه مقیاس پیکر (دور، سیما (میانی) و چهره (نزدیک) سنجش شد. هر کدام از تصاویر نیز در سه طیف پیچیدگی بالا، متوسط و پایین براساس میزان پیچیدگی مناظر شهری حاصل از ابعاد فراکتال دسته‌بندی شدند.

## ابعاد فراکتال (میزان پیچیدگی) یک منظر شهری تاریخی با هویت کالبدی بالا

بعد فراکتال منظر شهری در بافت تاریخی شهر کرمانشاه که بازار سنتی در آن قرار دارد  $A1 = 1/75$  در فاصله دور یعنی مقیاس پیکر است (شکل ۲). در فاصله میانی یا مقیاس سیما ( $A2$  و  $A3$ ) که جزئیات بیشتری را به نمایش می‌گذارد و عناصر افزوده شده به منظر (مغازه‌ها) نیز بیشتر رویت می‌شود، بعد فراکتال مقدار کمی کاهش یافته است و به نظر می‌رسد که تأثیر زیادی بر تصویر منظر شهری نداشته و کماکان بازار سنتی به این منظر شهری چیره است. فاصله نزدیک یا مقیاس چهره ( $A4$  و  $A7$ ) کاهش بعد فراکتال را به علت کم‌رنگ شدن کالبد بازار و در قسمت میانی تصاویر ( $A5$  و  $A6$ ) که ورودی بازار و کالبد آن را در بر می‌گیرد، بعد فراکتال افزایشی وجود دارد.



شکل ۲: ارزیابی پیچیدگی کالبدی تصویر یک منظر شهری در بافت تاریخی شهر کرمانشاه با هویت کالبدی بالا (ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)

## ابعاد فراکتال (میزان پیچیدگی) یک منظر شهری جدید با هویت کالبدی پایین

پیچیدگی کالبدی اندازه‌گیری شده یک منظر شهری در بافت تاریخی شهر کرمانشاه که مرکز خرید جدید در آن قرار دارد  $A1 = 1/44$  در فاصله دور است (شکل ۳). همین عدد در مقایسه با تصویر بازار سنتی و بعد فراکتال آن دارای اختلاف

زیادی بوده و نمود پایین‌تر بودن پیچیدگی کالبدی در منظر شهری مدرن نسبت به همتهای آن در یک منظر شهری تاریخی با هویت کالبدی بالا است. در فاصله میانی و تصویر (A2) به دلیل قرارگیری درخت در تصویر که دارای بعد فراکتال بالایی است، پیچیدگی افزایش ولی در (A3) که تصویر ساختمان‌های جدید را در بر گرفته، بعد فراکتال کاهش یافته است. فاصله نزدیک (A4 تا A7). به جز تصویر (A4) که باز هم به علت وجود درخت در تصویر بعد فراکتال آن افزایش یافته در مابقی تصاویر شاهد کاهش بعد فراکتال و پیچیدگی کالبدی بوده و حتی وجود پوشش گیاهی، سبب افزایش بعد فراکتال آن در فاصله میانی و نزدیک نسبت به فاصله دور و بزرگ‌ترین تصویر نشده است.



شکل ۳: ارزیابی پیچیدگی کالبدی تصویر یک منظر شهری در بافت تاریخی شهر کرمانشاه با هویت کالبدی پایین (ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)

#### مناظر شهری دارای پیچیدگی بالا و نسبتاً بالا در بافت تاریخی شهر کرمانشاه

مناظر شهری شماره‌های ۶، ۹، ۱۰ و ۱۴ که به ترتیب دارای ابعاد فراکتال ۱/۶۶، ۱/۷۵، ۱/۶۹، ۱/۶۹ هستند و در فاصله میانی و نزدیک منظر شهری به جز مواردی که عناصر و ساختمان‌های جدید به منظر اضافه شده که فاقد جزئیات هستند، بعد فراکتال در آن افزایش یافته یا کاهش اندکی دارد. این مناظر مربوط ابنیه و عناصر ارزشمند تاریخی مانند راسته‌های بازار و تکیه هستند. مناظر شهری شماره‌های ۳، ۵، ۸، ۱۳ که به ترتیب دارای ابعاد فراکتال ۱/۵۸، ۱/۵۶، ۱/۵۶، ۱/۵۷ دارای بعد فراکتال نسبتاً بالا و متعلق به رود، مسجد جامع، مسجد تاریخی واقع در میدان و هتل تاریخی هستند. محل قرارگیری عناصر و ابنیه مناظر شهری یاد شده، خیابان‌های اصلی است و شامل استخوان‌بندی شهر می‌شود. به‌طور

خلاصه، مناظری که دارای بعد فراکتال بالایی هستند، شامل: محصوریت بالا، بناهای شاخص دارای مصالح و جزئیات زیاد، عناصر طبیعی (رود و درختان)، المان‌ها (گنبد و گلدسته) و خط بام متنوع هستند.



شکل ۴: ابعاد فراکتال یک منظر شهری در سه مقیاس پیکر، سیما و منظر با هویت کالبدی بالا و بسیار بالا (ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)

#### مناظر شهری دارای پیچیدگی متوسط در بافت تاریخی شهر کرمانشاه

مناظر شهری که دارای بعد فراکتال بین  $1/45$  تا  $1/55$  هستند، مانند شماره‌های ۱، ۲، ۱۲ به عنوان میانه در نظر گرفته شده‌اند. مناظر ۱ و ۲ متعلق به گذرهای تاریخی که به دلیل ساخت‌وساز جدید تغییرات مشهودی را متحمل شده‌اند؛ احتمالاً به دلیل داشتن ویژگی محصوریت و جزئیات بنا در ابنیه باقی‌مانده تاریخی به این عدد رسیده‌اند و با حذف کامل این خصیصه‌ها به شدت بعد فراکتال در آن‌ها کاهش خواهد یافت. منظر شماره ۱۲ نیز یک پیاده‌راه در بافت تاریخی، دارای هتل و ساختمان‌های نوساز و فاقد جزئیات است که در صورت حذف درختان و مبلمان شهری، بعد فراکتال آن به شدت کاهش می‌یابد.

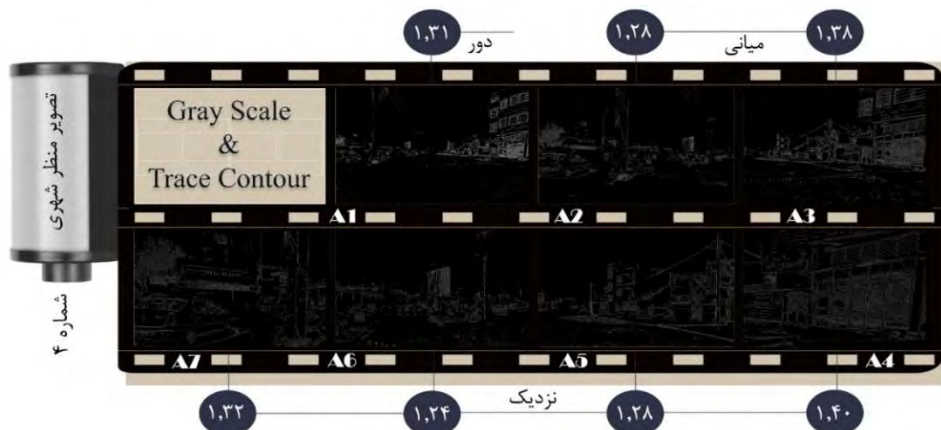


شکل ۵: ابعاد فراکتال یک منظر شهری در سه مقیاس پیکر، سیما و منظر با هویت کالبدی متوسط (ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)

#### مناظر شهری دارای پیچیدگی پایین و نسبتاً پایین در بافت تاریخی شهر کرمانشاه

مناظری هم که دارای بعد فراکتال پایین هستند، شامل: پایین‌ترین سطح از جزئیات ساختمان، فضاهای باز (خیابان عریض و فاقد مبلمان شهری) و عناصر طبیعی اندک هستند. مانند تصویر شماره ۴، ۷، ۱۱ که به ترتیب دارای بعد فراکتال  $1/31$ ،  $1/40$  و  $1/44$  در فاصله دور (A1) هستند و در فاصله‌های میانی و نزدیک بعد فراکتال آنها به جز در تصاویر دارای پوشش گیاهی و یا نزدیک شدن به برخی ساختمان‌های دارای جزئیات در باقی موارد کاهش می‌یابد. در

تحلیل و ارزیابی این ابعاد باید در نظر داشت که هر یک از مناظر در فاصله میانی به دو عکس و در فاصله نزدیک به ۴ عکس تقسیم و در نهایت به اندازه سایز عکس اصلی، بزرگ شده است. به این ترتیب میزان فضای باز کمتر و جزئیات تصویر در سایزهای کوچک بیشتر می‌شود؛ ولی با این تفاسیر، میزان پیچیدگی در نیمی از تصاویر کاهش یافته است.



شکل ۶: ابعاد فراکتال یک منظر شهری در سه مقیاس پیکر، سیما و منظر با هویت کالبدی پایین و نسبتا پایین (ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)

ارتباط میان قدمت (تاریخی و معاصر) و ابعاد فراکتال (سه مقیاس) مناظر شهری بافت تاریخی شهر کرمانشاه در محاسبه میزان پیچیدگی کالبدی کلیه مناظر شهری منتخب (جدول ۱) هر یک از تصاویر به صورت جدا بررسی شده، زیرا هر تصویر دارای ویژگی‌های خاصی است. با این حال مقایسه و مشاهده دو به دومی تصاویر به عنوان مثال، بازار سنتی و مرکز خرید جدید (شکل‌های ۲ و ۳) دستیابی به این مهم را حاصل می‌کند که عناصر جدید الحاق شده و تغییر و تحولات صورت گرفته در منظر شهری بر عناصر تاریخی دارای هویت کالبدی تأثیر گذاشته و به جای افزایش پیچیدگی کالبدی، منجر به کاهش آن شده است. محاسبه پیچیدگی در درجه اول تابعی از میزان عناصر طبیعی، ساختمان و فضای باز است و در درجه دوم جزئیات ساختمان مانند بافت مصالح، المان، برجستگی، بازشوها و خط آسمان متنوع، به نظر می‌رسد که پیچیدگی را افزایش می‌دهد. محاسبه ابعاد فراکتال مناظر منتخب در فاصله دور نشان می‌دهد که مناظر شهری قدیمی که دارای ابنیه و عناصر تاریخی هستند، پیچیدگی بالاتری نسبت به مناظر جدیدتر دارند. برای بررسی دقیق، تصاویر در زوایای مختلف ولی با مقیاس دید ناظر تهیه شد (جدول ۱). جدول نشان می‌دهد مناظر شهری با قدمت بیشتر، غنای بصری و بعد فراکتال (پیچیدگی کالبدی) بالاتری دارند. مشاهده بعد فراکتال در فاصله میانی مانند منظر شهری تصویر ۸ (A2) نشان می‌دهد که در مناظر شهری تاریخی با هویت کالبدی بالاتر (مسجد جامع در تصویر ۸) هستند، پیچیدگی کالبدی افزایش یافته یا با ثابت ماندن آن و یا کاهش جزئی مشخص شده است. در فاصله نزدیک نیز این امر تکرار شده مثل منظر شهری تصویر ۱۴ (A4) و نمود بارز افزایش پیچیدگی کالبدی، با نزدیک شدن به مناظر شهری با هویت کالبدی بیشتر (تکیه معاون الملک)، خواهد بود. علاوه بر تغییرات بعد فراکتال باید توجه داشت که تصاویر در فاصله دور دارای تعدد عناصر و اجزای بیشتری نسبت به دو فاصله دیگر هستند؛ لذا توقع این است که با کمتر شدن جزئیات در کل تصویر، بعد فراکتال به شدت کاهش پیدا کند و این نتیجه در مناظر شهری جدیدتر مثل مناظر شهری تصویرهای ۷ و ۱۲ وجود دارد. علاوه بر بعد فراکتال تصاویر مناظر شهری، قدمت حدودی هر یک (جدول ۱) محاسبه شده است که موجب ایجاد ارتباط میان قدمت عناصر تاریخی منظر شهری و افزایش پیچیدگی کالبدی خواهد شد. قدمت هر منظر بر مبنای ابنیه و عناصر در چهار دوره تاریخی (زندیه و ماقبل بیش از ۲۵۰ سال، قاجاریه بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ سال، پهلوی بین ۵۰ تا ۱۰۰ سال و معاصر بین ۰ تا ۵۰ سال) به صورت حدودی در نظر گرفته شده است. تصاویر اصلی براساس قدمت بیشترین بنا محاسبه و با توجه به کاهش قدمت هر عنصر در فواصل میانی و نزدیک از قدمت تصویر

در فاصله دور کم و عدد نهایی آن مشخص شده است. برای مثال در تصویری از یک منظر شهری شامل مسجدی که مربوط به دوره زندیه است؛ با تغییرات صورت گرفته در بافت شهری و خیابان‌کشی دوره پهلوی اکنون در یک میدان قرار داشته و در دهه ۵۰ ه.ش. بازسازی شده است. قدمت این تصویر از منظر شهری بیش از ۲۵۰ سال محاسبه شده است؛ ولی با توجه به تغییرات صورت گرفته در دوره معاصر (A7) قدمت ۰ تا ۵۰ و بقایای به جا مانده از دوره‌های قبل در تصاویر دیگر و فواصل میانی و نزدیک، میانگین قدمت ۵۰ تا ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: رابطه میان قدمت و بعد فراکتال مناظر شهری بافت تاریخی شهر کرمانشاه (سه فاصله: دور، میانی، نزدیک)

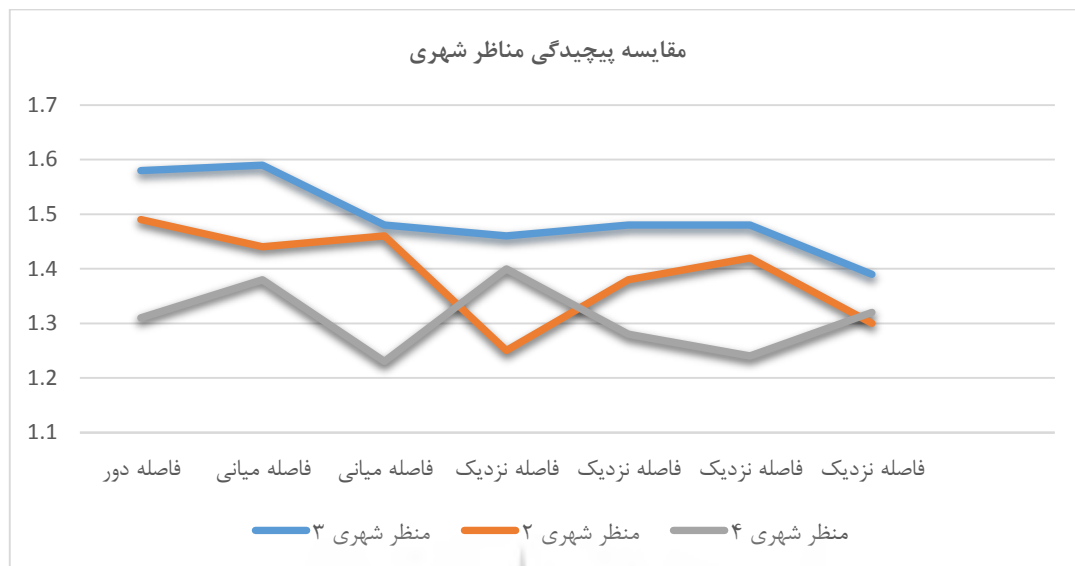
شماره تصاویر (در نقشه ۱ موجود است)	عناصر موجود در منظر شهری	ارتباط میان بعد فراکتال و قدمت عناصر							ابعاد فراکتال
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
تصویر ۱	گذر تاریخی	۱/۴۸	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۵۴	۱/۲۷	۱/۳۳	۱/۱۹	ابعاد فراکتال
		۲۵۰-۱۰۰	۱۱۵	۵۰-۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
تصویر ۲	گذر تاریخی	۱/۴۹	۱/۴۶	۱/۴۴	۱/۲۵	۱/۳۸	۱/۴۲	۱/۳۰	ابعاد فراکتال
		۲۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	۵۰-۰	-۵۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
تصویر ۳	میدان و مسجد	۱/۵۸	۱/۵۹	۱/۴۸	۱/۴۶	۱/۴۸	۱/۴۸	۱/۳۹	ابعاد فراکتال
		۲۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	-۵۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
تصویر ۴	رود پوشیده شده	۱/۳۱	۱/۳۸	۱/۲۱	۱/۴۰	۱/۲۸	۱/۲۴	۱/۳۲	ابعاد فراکتال
		۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
تصویر ۵	رود باز	۱/۵۶	۱/۵۴	۱/۴۶	۱/۳۴	۱/۴۵	۱/۳۹	۱/۲۹	ابعاد فراکتال
		بیش از ۲۵۰	۲۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
تصویر ۶	بازار سنتی	۱/۶۶	۱/۴۴	۱/۴۷	۱/۲۵	۱/۳۴	۱/۳۶	۱/۴۰	ابعاد فراکتال
		بیش از ۲۵۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	-۵۰	قدمت (سال)
تصویر ۷	ساختمان مسکونی جدید	۱/۴۰	۱/۲۸	۱/۴۷	۱/۱۰	۱/۲۱	۱/۳۵	۱/۳۵	ابعاد فراکتال
		۵۰-۰	۵۰-۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
تصویر ۸	مسجد جامع و تکیه بیگلربیگی	۱/۵۶	۱/۵۹	۱/۵۴	۱/۴۳	۱/۴۲	۱/۳۶	۱/۳۹	ابعاد فراکتال
		۲۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	۵۰-۰	-۵۰	قدمت (سال)
تصویر ۹	بازار سنتی	۱/۷۵	۱/۶۹	۱/۶۱	۱/۵۹	۱/۶۵	۱/۶۳	۱/۵۷	ابعاد فراکتال
		بیش از ۲۵۰	۲۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۰۰	-۱۰۰	-۵۰	قدمت (سال)
تصویر ۱۰	خیابان اصلی و بازار سنتی	۱/۶۹	۱/۵۵	۱/۵۷	۱/۴۵	۱/۴۳	۱/۴۰	۱/۴۱	ابعاد فراکتال

شماره تصاویر (در نقشه ۱ موجود است)	عناصر موجود در منظر شهری	ارتباط میان بعد فراکتال و قدمت عناصر							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
تصویر ۱۱	مرکز خرید جدید	بیش از ۲۵۰	۲۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	-۵۰	-۵۰	قدمت (سال)
		۱/۴۴	۱/۵۱	۱/۳۳	۱/۳۸	۱/۳۲	۱/۲۱	۱/۳۲	ابعاد فراکتال
تصویر ۱۲	هتل و ساختمان‌های جدید	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
		۱/۵۲	۱/۴۹	۱/۴۷	۱/۳۷	۱/۴۴	۱/۴۲	۱/۳۵	ابعاد فراکتال
تصویر ۱۳	هتل تاریخی بیستون	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	۵۰-۰	-۵۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
		۱/۵۷	۱/۵۹	۱/۵۷	۱/۴۱	۱/۴۳	۱/۴۴	۱/۴۲	ابعاد فراکتال
تصویر ۱۴	تکیه معاون الملک	۲۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	۱۰۰-۵۰	-۵۰	۵۰-۰	قدمت (سال)
		۱/۶۹	۱/۵۵	۱/۵۰	۱/۶۰	۱/۴۵	۱/۴۲	۱/۳۴	ابعاد فراکتال

(ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)

به‌طور کلی بعد فراکتال تصاویر منظر شهری با قدمت ۰ تا ۵۰ سال که هویت کالبدی پایین‌تری دارند، بین ۱/۱۹ تا ۱/۴۴ است به جز دو مورد که با قدمت‌های ۵۰ تا ۱۰۰ و یک مورد با ۱۰۰ تا ۲۵۰ که به دلیل وجود ساختمان‌های نوساز که بر ابنیه تاریخی غلبه کرده و میزان پیچیدگی کاهش یافته است. مناظر شهری دارای قدمت ۵۰ تا ۱۰۰ سال، پیچیدگی ۱/۴۵ تا ۱/۵۵ و مناظر شهری با قدمت ۱۰۰ تا ۲۵۰ سال نیز، پیچیدگی ۱/۵۵ تا ۱/۶۵ را به خود اختصاص می‌دهد و نهایتاً در مناظر شهری با قدمت بالای ۲۵۰ سال، پیچیدگی ۱/۶۵ به بالا قابل مشاهده و به مثابه مهر تأییدی بر وجود رابطه مستقیم میان افزایش پیچیدگی با هویت کالبدی منظر شهری است. در این ارزیابی نیز یک استثنا وجود دارد و آن بعد فراکتال ۱/۵۶ در تصویر رود آبشوران است. از عدد محاسبه شده می‌توان نتیجه گرفت که تنها وجود عوامل طبیعی سبب افزایش بعد نشده و عوامل متعددی در آن نهفته است. به جز موارد خاصی که ممکن است در بیان بازه‌های ذکر شده اختلالی وجود داشته باشد، مابقی ارزیابی براساس قدمت و رابطه آن با پیچیدگی کالبدی ارتباط مستقیم دارد. وجود تفاوت‌هایی در بازه‌های تعیین شده به میزان فضای باز منظر شهری، محصوریت، پوشش گیاهی، تنوع عناصر، جزئیات بناها (بازشوها، مصالح، المان‌ها)، مبلغان شهری وابسته است و همین عوامل در برخی تصاویر چه در منظر شهری جدید و چه در منظر شهری سنتی منجر به بالا یا پایین رفتن ابعاد فراکتال خواهد شد. اما باید به این نکته توجه داشت که یک کالبد پیچیده فقط به یک یا دو عامل بستگی نداشته و نیازمند چند شاخص برای بالارفتن پیچیدگی بصری و کالبدی است. شکل ۷، امکان مقایسه پیچیدگی مناظر شهری در تصاویر مناظر شهری ۳، ۲ و ۴ را فراهم می‌کند. منظر شهری ۳ که دارای قدمت بیشتر، مداخله کمتر و هویت کالبدی بالاتری نسبت به دو منظر شهری دیگر است، پیچیدگی بالاتری نسبت به تصاویر دیگر دارد. تصویر منظر شهری ۲ (گذر تاریخی) به دلیل مداخله‌های صورت گرفته و ساخت‌وساز جدید در برخی نقاط افزایش پیچیدگی و در نقاطی کاهش بسیار زیادی دارد. در تصویر منظر شهری ۳، مداخلات بسیار زیادی مشاهده می‌شود؛ قدمت آن کم و هویت کالبدی پایین است و به همین دلیل پیچیدگی کمتری هم دارد. همچنین ارزیابی نمودار منظر شهری دارای هویت بیشتر، نمایانگر یک خط با کمترین تغییرات است و پیچیدگی منظر شهری در

فواصل مختلف دارای اختلاف اندکی با یکدیگر هستند. درحالی که در مناظر شهری با مداخلات بیشتر، تغییرات چشمگیری قابل مشاهده است.



شکل ۷: مقایسه پیچیدگی سه منظر شهری در بافت تاریخی شهر کرمانشاه (ماخذ: نتایج پژوهش، ۱۴۰۲)

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش شاخص‌های سنجش هویت کالبدی منظر شهری (کیفی) و شاخص‌های پیچیدگی کالبدی (کمی) و با استفاده از بعد فراکتال مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج ابعاد فراکتال اندازه‌گیری شده در مناظر دارای بافت تاریخی و غیرتاریخی نشان می‌دهد مناظر شهری دارای هویت تاریخی بیشتر، پیچیدگی کالبدی بیشتری نیز نسبت به مناظر بدون هویت تاریخی دارند. همچنین پژوهش نشان می‌دهد بین بعد فراکتال (میزان پیچیدگی کالبدی) و شناخت ذهنی و معنای مترتب بر آن منظر شهری رابطه مستقیم وجود دارد. عناصر منظر شهری تاریخی برای افراد، بیشتر از مناظر شهری مدرن قابل‌شناسایی و خاطره‌انگیز است و حس تعلق را نیز به آن منظر به وجود می‌آورد. این موضوع با قدمت هر جزء تشکیل‌دهنده در منظر شهری هم مرتبط است و می‌تواند بین کل و جزء پیوند پیوسته‌ای برقرار نماید. در این پژوهش میزان پیچیدگی کالبدی یک منظر شهری در بافت تاریخی در سه فاصله دور، میانی و نزدیک بررسی و تحلیل شد. بررسی نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد، بعد فراکتال (به‌عنوان شاخص میزان پیچیدگی) با نزدیک شدن به سوژه در یک منظر تاریخی افزایش و یا حداقل ثابت می‌ماند. این در حالی است که در نمونه‌های غیرتاریخی یا نمونه‌های تاریخی دست‌کاری شده، میزان پیچیدگی کالبدی اندازه‌گیری شده، کاهش واضحی را نمایان می‌سازد. به عبارتی می‌توان گفت، رابطه معناداری میان پیچیدگی کالبدی منظر شهری و هویت کالبدی منظر شهری وجود دارد و یک منظر شهری دارای هویت کالبدی نه تنها در فاصله دور، پیچیدگی کالبدی بیشتری دارد، بلکه با نزدیک شدن به آن، پیچیدگی دریافت شده از سوی چشم ناظر، کاهش نمی‌یابد. رویکرد پیشنهاد شده به علت در نظر گرفتن شاخص‌های کمی (بعد فراکتال) در کنار شاخص‌های کیفی (هویت کالبدی منظر شهری) می‌تواند به عنوان نقطه عطفی برای تحلیل تأثیرات کمی - کیفی پروژه‌های منظر شهری مورد استفاده قرار گیرد و از این طریق امکان سنجش پروژه‌های مداخله شهری را فراهم آورد. به‌طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که تغییر و تقلیل پیچیدگی‌های بصری در یک جزء می‌تواند در معنابخشی و هویت بخشی تصویر کلی دریافت شده از آن منظر شهری نیز تأثیر بسزایی داشته باشد؛ بنابراین تعیین میزان تغییرات در پیچیدگی‌های کالبدی در یک منظر شهری یک روش کمی مناسب برای بررسی و تحلیل تأثیرات کیفی مداخلات شهری

در هویت‌زایی یا هویت‌زدایی از بافت تاریخی است. نوآوری این پژوهش بررسی یکپارچه سه مفهوم هویت، منظر شهری و نظریه پیچیدگی است که سبب تبیین پیوند مفاهیم شده است. در مناظر با هویت شهری که پیچیدگی بیشتری دارند، تشابه عناصر جدید و قدیم بیش از تمایز، وحدت بیش از کثرت، همچنین درجه تداوم بیش از تحول آن است. پس نتیجه این پژوهش مؤید این نظریه است که هویت کالبدی منظر شهری از نظر کمی با پیچیدگی نسبت دارد و از نظر کیفی با طیف تشابه - تمایز، وحدت - کثرت و تداوم - تحول در پیوند است.

## سپاسگزاری

بدین وسیله، از کلیه استادان و خبرگان حوزه شهرسازی صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

## پی‌نوشت

- 1- Fractal
- 2- Mandelbrot
- 3- Chaos
- 4- Box-counting
- 5- ImageJ
- 6- (D) = Fractal Dimension
- 7- Trace Contour & Grayscale
- 8- 2180 x 3508 pixels: 8-bit
- 9- Binary

## حامی مالی

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

## سهام نویسندگان در پژوهش

همه نویسندگان، در بخش‌های نگارش و تنظیم مقاله حاضر نقش و سهم برابر دارند.

## تضاد منافع

نویسنده (نویسندگان) اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

## منابع

- الکساندر، ک.، ۱۳۹۲. سرشت نظم رساله‌ای در باب هنر ساختن و سرشت جهان، جلد دوم، در ت. ا. و. عبدزاده (ویراستار)، فرایند آفرینش حیات‌بخش دوم: فرایندهای زنده، انتشارات پرهام نقش، تهران، ۲۹۰ ص.
- امینی حاجی‌باشی، م.، رضایی، م. و بندر آباد، ع.، ۱۳۹۸. بررسی تطبیقی الگوی رایج ریخت‌شناسی شهرهای ایران و اروپا در دوره مقارن با اسلام (مطالعه موردی: شهرری در ایران و سیه نا در ایتالیا)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی: ۵۱(۴)، ۸۵۳-۸۷۰.
- <https://www.sid.ir/paper/379957/fa>
- بنتلی، ا.ی.، الکک، آ.، مورین، پ.، مک گلین، س. و اسمیت، گ.، ۱۳۹۴. محیط‌های پاسخده: کتاب راهنمای طراحان، ترجمه مصطفی بهزادفر، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۴۱۸ ص.
- پاکزاد، ج.، ۱۳۹۲. تاریخ شهر و شهرنشینی در اروپا از آغاز تا انقلاب صنعتی، انتشارات آرمانشهر، چاپ دوم، تهران، ۴۵۴ ص.
- حقانی، ط.، ۱۳۸۵. کنترل توسعه آینده شهر به وسیله اندازه‌گیری ابعاد فراکتالی، شهر نگار (برنامه‌ریزی شهری و GIS)، تهران. <https://www.sid.ir/FileServer/JF/4025813931401>
- حقانی، ط. و نصرتی، م.، ۱۳۹۳. تحلیل فراکتال ابزاری جدید برای آسیب‌شناسی کالبدی در بافت‌های شهری، نمونه موردی: منطقه ۱ تهران، اولین کنگره بین‌المللی افق‌های جدید در معماری و شهرسازی.
- رضایی، م.، ۱۳۸۲. درس آخر: راه (یادی از زنده‌یاد منوچهر مزینی)، ماهنامه شهرداری‌ها: ۵(۵۰)، ۱۲۴-۱۲۷.



- رضایی، م.، ۱۳۹۲ الف. بازنگری فرایند طراحی؛ (رمزگشایی «قیاس» به‌عنوان روش اصلی آفرینش فضا و فرم)، هویت شهر: ۸(۱۸)، ۷۱-۸۰. <https://www.sid.ir/paper/154646/fa>
- رضایی، م.، ۱۳۹۲ ب. ارزش‌های جاوید و جهان‌گستر شهرسازی اسلامی (بازنمودی از نگرش‌های فرا کالبدی و فرازمانی شهر اسلامی)، پژوهش‌های جغرافیای انسان: ۳(۴۳)، ۱۶۹-۱۹۰. <https://www.sid.ir/paper/139109/fa>
- رضایی، م.، ۱۳۹۲ پ. سنجه‌های پیاده‌پذیری (نقش پیاده‌پذیری در بهبود حس مکان)، هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، ۱۵-۲۴. <https://www.sid.ir/paper/154390/fa>
- رضایی، م.، ۱۳۹۳. آنالوژیکای طراحی: بازنگری انگاره‌ها و پنداره‌ها در فرایند طراحی فرم و فضای معاصر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ۳۷۰ ص.
- صفایی‌پور، م. و سعیدی، ج.، ۱۳۹۶. تحلیلی تاریخی بر عناصر و ساختار کالبدی فضایی شهرهای ایرانی - اسلامی. مطالعات اجتماعی: ۵(۳)، ۹۵-۱۲۵. [http://jiss.isca.ac.ir/article\\_65554.html](http://jiss.isca.ac.ir/article_65554.html)
- کالن، گ.، ۱۳۷۷. گزیده منظر شهری، ترجمه منوچهر طبیبیان، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۲۰۶ ص.
- مهدی‌نژاد، س. و شقاقی، ش.، ۱۳۹۹. احیاء هویت بافت تاریخی شهر با تأکید بر ساماندهی نظام کالبدی و بصری مطالعه موردی: میدان تاریخی ویجویه تبریز، شهر ایرانی اسلامی: ۱۱(۴۱)، ۶۹-۸۱. <https://www.sid.ir/paper/410935/fa>
- گودرزی، ن. و حقانی، ط.، ۱۳۹۴. بررسی میزان پراکندگی بافت شهری به کمک مدل هندسه فراکتال و تئوری پیچیدگی جهت یافتن الگوهای توسعه شهری (نمونه موردی: منطقه ۲۰ تهران)، مدل‌سازی در مهندسی: ۱۴(۴۷)، <https://www.sid.ir/paper/518680/fa>
- Batty, M., 2005. *Cities and Complexity*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 565 p.
- Batty, M. and Longley, P., 1994. *A Geometry of Form and Function*, Academic Press, London, 394 p.
- Boeing, G., 2018. Measuring the Complexity of Urban Form & Design, *Urban Design International*: 23, 181-292. <https://doi.org/10.1057/s41289-018-0072-1>
- Bovill, C., 1996. *Fractal Geometry in Architecture and Design*, Birkhäuser, Boston, FL, USA, 207 p.
- Cooper, J. and Oskrochi, R., 2008. Fractal Analysis of Street Vistas: A Potential Tool For Assessing Levels of Visual Variety in Everyday Street Scenes, *Environment and Planning B: Planning and Design*: 35(2), 349-363. <https://doi.org/10.1068/b33081>
- Cooper, J., Su, M. and Oskrochi, R., 2013. The influence of fractal dimension and vegetation on the perceptions of streetscape quality in Taipei, *Environment and Planning B*: 40(1), 43-62, <https://doi.org/10.1068/b38010>
- Di Leva, A., 2016. *The Fractal Geometry of the Brain*, Springer Series in Computational Neuroscience, New York, 607 p.
- Elsheshtawy, Y., 1997. Urban Complexity, *Journal of Architectural and Planning Research*: 14(4), 301-316, <https://doi.org/10.2307/43030433>
- Fishman, R., 2011. The Open and the Enclosed. In T. Banerjee and A. Loukaitou-Sideris (Eds.), *Companion to Urban Design* Routledge, London, England. <https://doi.org/10.1080/01944363.2011.536101>
- Grompton, A., 2002. Fractals and Picturesque Composition, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*: 29(3), <https://journals.sagepub.com/home/EPB> (Available at: 2023)
- Gunawardena, G.M.W.L., Kubota, Y. and Fukahori, K., 2015. Visual Complexity Analysis Using Taxonomic Diagrams of Figures and Backgrounds in Japanese Residential Streetscapes. *Urban Studies Research*: 173862, 1-12, <https://doi.org/10.1155/2015/173862>
- Haghani, T., 2009. *Fractal Geometry, Complexity, and the Nature of Urban Morphological Evolution: Developing a fractal analysis tool to assess urban morphological change at neighbourhood level*, Birmingham City University: Birmingham Institute of Art and Design.
- Haghani, T., 2013. Morphological Complexity: a response, *Journal of the International Seminar on Urban Form*: 17, 64-67, <https://doi.org/10.51347/jum.v17i1.4559>
- Jacobs, A. and Appleyard, D., 1987. Toward an Urban Design Manifesto, *Journal of the American Planning Association*: 53(1), 112-120, <https://doi.org/10.1080/01944368708976642>
- Jiang, B., 2016. A Complex-Network Perspective on Alexander's Wholeness. *Physica A*: 463, 475-484, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.07.038>
- Jiang, B. and Yin, J., 2014. Ht-Index for Quantifying the Fractal or Scaling Structure of Geographic Features, *Annals of the Association of American Geographers*: 104(3), 530-540, <https://doi.org/10.1080/00045608.2013.83423>
- Ladyman, J. and Wiesner, K., 2020. *What is a complex system?*, Yale University Press.

- Lorenz, W.E. and Kulcke, M., 2021. Multilayered Complexity Analysis in Architectural Design: Two Measurement Methods Evaluating Self-Similarity and Complexity and Matthias, *Fractal Fract*: 244(5), <https://doi.org/10.3390/fractalfract5040244>.
- Mandelbrot, B.B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature*, Macmillan, New York, 468 p.
- Marshall, S., 2008. *Cities: Design and Evolution*, Spon, New York, 360 p.
- Marshall, S., 2012. Planning, Design and the Complexity of Cities, In J. Portugali, H. Meyer, E. Stolk and E. Tan (Eds.), *Complexity Theories of Cities Have Come of Age* Springer-Verlag, Berlin, Germany, Heidelberg [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24544-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24544-2_11)
- Marzbani, M., Awad, J. and Rezaei, M., 2020. The Sense of Place: Components and Walkability. Old and New Developments in Dubai, *The Journal of Public Space*: 5(1), 21-36. <https://doi.org/10.32891/jps.v5i1.1249>
- Marzi, R., Haghani, T. and Rezaei, M., 2021. Explaining the Concept of Physical Complexity in Urban Landscape and Identity, *Journal of Urban Management and Energy Sustainability (JUMES)*: 3(2), 171-184, <https://doi.org/10.22034/JUMES.2021.561686.1086>
- Motloch, J.L. and Woodfin, T., 1998. General systems theory, cultural change, and a human science foundation for planning and design. *International Federation for Systems Research*: 10(2), 3-25. <https://doi.org/10.1002/sres.3850100201>
- Perry, S.G., Reeves, R.W. and Sim, J.C., 2008. Landscape design and the language of nature, *Landscape Review*: 12(2), 3-18. <https://doi.org/10.34900/lr.v12i2.257>.
- Povilaitien, S., Virbasiene, J. and Zaleckis, K., 2018. Evaluation of Formants of Cityscape Identity Using Fractal Analysis (Kaunas Case), *Architecture and urban planning*, <https://doi.org/10.2478/aup-2018>.
- Reinhardt, H., Kroll, M., Karstens, S.L., Nanoscaled, S.S., A, H. N., and Tallarek, U., 2020. Fractal Superstructures via Laser Patterning—A Versatile Route to Metallic Hierarchical Porous Materials, *Advanced Materials Interfaces*: 8(4), 2000253. <https://doi.org/10.1002/admi.202000253>
- Rezaei, M., 2021a. Efficient Tools and Sources in Design Process, 1. In M. Rezaei and M. Rezaei (Eds.), *Reviewing Design Process Theories: Discourses in Architecture, Urban Design and Planning Theories*. Springer, 2, Cham, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61916-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61916-9_7)
- Rezaei, M., 2021b. Paradigms in Form and Space Creation, 1. In M. Rezaei and M. Rezaei (Eds.), *Reviewing Design Process Theories*. Springer, Cham, 2, Cham, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61916-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61916-9_6)
- Rezaei, M., 2023. A Review of urban design projects and theories: types and criteria, *Journal of Historical Archaeology and Anthropological Sciences*: 8(1), 34-39, <https://doi.org/10.15406/jhaas.2023.08.00271>
- Rezaei, M., Marzi, R. and Shojaei, E., 2022. Embedded heritage: the role of information and communication technology (ICT) in urban placemaking (case study: Tehran's citadel), *Journal of Historical Archaeology and Anthropological Sciences*: 7(3), 152-158, <https://doi.org/10.15406/jhaas.2022.07.00265>
- Sun, W., Xu, G., Gong, P. and Liang, S., 2006. Fractal analysis of remotely sensed images: a review of methods and applications. *Inter J Remote Sens*: 27(22), 4963-4990. <https://doi.org/10.1080/01431160600676695>
- Theiler, J., 1990. Estimating fractal dimension, *J Optical Soc Am A*: 7(6), 1055-1073. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.7.001055>
- Turnbull, L., Hutt, M.T., Ioannides, A.A., Kininmonth, S., Poepl, R., Tockner, K. and Parsons, A.J., 2018. Connectivity and complex systems: learning from a multidisciplinary perspective, *Applied Network Science*: 3(1), <https://doi.org/10.1007/s41109-41018-40067-41102>.