

## Urban sprawl analysis of the city of Kerman via remote sensing

Mohimi, A<sup>a</sup>., Fadaei Qotbi, M<sup>b,1</sup>., Esmaily, A<sup>c</sup>., Ghazanfarpour, H<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Ph.D. Candidate, Department of Urbanism, Faculty of Art, Architecture and Urbanism, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

<sup>b</sup> Assistant Professor, Department of Urbanism, Faculty of Art, Architecture and Urbanism, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.

<sup>c</sup> Assistant Professor of Surveying Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

<sup>d</sup> Associate Professor of Geography and Urban Planning, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

### ABSTRACT

**Objective:** Over the past few decades, the increase of world's urban population has resulted in uncontrolled urban expansions. Accordingly, determining urban development and sprawl should be taken into consideration.

**Methods:** This article aims at measuring the level of urban sprawl of the city of Kerman using remote sensing data from period of 1352 to 1397. For this purpose, 10 remotely sensed images were selected with an acquisition date interval of 5 years and the pre-processing, processing and classification methods were applied to the RS images using ENVI software. Afterwards, for different periods, built-up areas were extracted and assessed by these three indices: "Degree-of-freedom", "Degree-of-sprawl" and "Degree-of-goodness". For better interpretation, the city was divided into 8 triangles with same area in line with 8 geographic directions.

**Results:** The findings show that during 1392-1397, Kerman had the most growth of built-up areas while during 1372-1377 this growth had the minimum extent. Moreover, during these 45 years, the most growth of built-up areas were accrued at the western zone of the city while northern zone had the minimum growth. Nevertheless, as the matter of fact, during 1387-1392, the city had the most sprawl expansion, while during 1352-1355, it had the minimum extent. Furthermore, during these 45 years, the most sprawl expansion were accrued at the eastern zone of the city while northeastern zone had the minimum sprawl expansion.

**Conclusion:** Broadly speaking, intensity of urban sprawl in the city of Kerman is explicit and indices of this study demonstrate it accurately.

**Keywords:** Urban Sprawl, Urban Growth, Remote Sensing, Kerman City.

**Received:** December 10, 2018    **Reviewed:** February 8, 2019    **Accepted:** February 26, 2019    **Published Online:** September 22, 2019

**Citation:** Mohimi, A., Fadaei Qotbi, M., Esmaily, A., Ghazanfarpour, H (2019). Urban Sprawl Analysis of the City of Kerman via Remote Sensing. *Journal of Urban Social Geography*, 6(1), 139-157. **(In Persian)**

DOI: [10.22103/JUSG.2019.1983](https://doi.org/10.22103/JUSG.2019.1983)

<sup>1</sup> Corresponding author at: Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran, P.C: 7635131167, Kerman, Iran. E-mail address: [m.f.qotbi@iauk.ac.ir](mailto:m.f.qotbi@iauk.ac.ir) (Fadaei Qotbi, M).

## تحلیل پراکنده‌رویی شهر کرمان با استفاده از داده‌های سنجش از دور

امیرمهمی<sup>a</sup>، مریم فدایی قطبی<sup>b</sup>، علی اسماعیلی<sup>c</sup>، حسین غضنفرپور<sup>d</sup>

<sup>a</sup> دانشجوی دکتری گروه شهرسازی، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.

<sup>b</sup> استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.

<sup>c</sup> استادیار رشته مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

<sup>d</sup> دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

### چکیده

**تبین موضوع:** با افزایش روزافزون جمعیت شهرنشین در جهان، شهرها، تبدیل به مکان‌هایی با تمرکز بالای جمعیتی گشته‌اند که به تبع آن، رشد کالبدی شهری نیز دستخوش این تغییر می‌باشد. به همین دلیل، اندازه‌گیری میزان این رشد، به منظور تحلیل اثرات آن بر زندگی شهری، امری ضروری است.

**روش:** این مقاله، با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور، طی ۹ دوره بین سال‌های ۱۳۵۲-۱۳۹۷، به ارزیابی میزان پراکنده‌رویی شهر کرمان می‌پردازد. برای این منظور، ۱۰ تصویر از ماهواره‌های لندست ۸، ۷، ۵، ۲ و ۱، به فاصله‌ی زمانی ۵ سال از یکدیگر انتخاب شد، و پس از انجام آماده‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار «آیوی»، نسبت به استخراج مساحت ساخته‌شده، در سال‌های مختلف اقدام شد؛ و با استفاده از شاخص‌های درجه آزادی و درجه پراکندگی، درجه نیکویی رشد شهری، محاسبه گردید. همچنین، بر روی تصاویر، به منظور تجزیه و تحلیل جهات توسعه، ۸ مثلث هم‌مساحت، در ۸ جهت جغرافیایی تعیین گردید.

**یافته‌ها:** یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین ساخت‌وساز، طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۷، و کمترین ساخت‌وساز بین سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۷۷ رخ داده است. در حالی که در کل دوره ۴۵ ساله، بیشترین ساخت‌وساز در بخش غربی شهر و کمترین آن در بخش شمالی شهر می‌باشد. با این وجود، بیشترین پراکنده‌رویی طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۲، و کمترین آن، در بین سال‌های ۱۳۵۲-۱۳۵۵ رخ داده است. همچنین، در کل دوره ۴۵ ساله، پراکنده‌رویی در جهت شرقی شهر بیشترین و جهت شمال شرقی کمترین میزان را داراست.

**نتایج:** پراکنده‌رویی در شهر کرمان محرز است و شاخص‌های سنجش آن نیز، آشکارا، شدت این پراکندگی را نمایش می‌دهند.

**کلیدواژه‌ها:** پراکنده‌رویی شهری، رشد شهری، سنجش از دور، شهر کرمان.

انتشار آنلاین: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷

بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۱۹

دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۹

**استناد:** مهمی، امیرمهمی؛ فدایی قطبی، مریم؛ اسماعیلی، علی؛ غضنفرپور، حسین (۱۳۹۸). تحلیل پراکنده‌رویی شهر کرمان با استفاده از داده‌های سنجش از دور. دوفصلنامه جغرافیای اجتماعی شهری، ۶(۱)، ۱۵۷-۱۳۹.

DOI: [10.22103/JUSG.2019.1983](https://doi.org/10.22103/JUSG.2019.1983)

## مقدمه

در اوایل قرن بیستم، روند سکونت انسان‌ها در روستاها و شهرها شروع به تغییر یافتن نمود تا جایی که امروزه هر هفته حدود یک میلیون نفر به جمعیت شهری جهان افزوده می‌گردد (نظریان و دیگران، ۱۳۸۸). علیرغم اعتقاد بسیاری از محققان مبنی بر اینکه افزایش جمعیت شهرنشین با رشد و توسعه اقتصادی همراه است اما این افزایش، مسائل مختلفی را دامن‌گیر شهرها کرده است، از جمله تمرکز بیش از حد جمعیت و فعالیت در کلانشهرها و نخست‌شهرها، کاهش سهم جمعیت شهرهای کوچک و میانی، افزایش تفاوت‌ها و نابرابری‌های منطقه‌ای و توسعه ناموزون و رشد بی‌قواره شهری (زبردست، ۱۳۸۳: ۳).

اثرات سوء این بی‌قوارگی شهری نابودی اراضی حاصلخیز کشاورزی، تبدیل زمین‌های کشاورزی به زمین شهری، تهدید و کاهش انسجام اجتماعی و جدایی‌گزینی فضایی است (سوجا، ۲۰۰۸: ۱۸). از این رو، بسیاری از پژوهشگران علوم مختلف سعی در تبیین این بی‌قوارگی شهری داشته و آن را نوعی از بی‌نظمی قلمداد کرده‌اند. راجر کیوس (۲۰۰۵) پراکنده‌روی را گسترش بی‌مورد سکونت‌گاه‌ها در یک شهر تعریف می‌کند (کیوس، ۲۰۰۵: ۴۲۶-۴۲۷). رابرت کوان (۱۳۸۹) پراکنده‌روی را در وهله اول ساخت‌وسازهای کم تراکم و عمدتاً مسکونی که به عنوان توسعه بیرونی یک منطقه شهری ایجاد می‌شوند، می‌شناسد، و در وهله دوم توسعه‌ای که در فاصله‌ای دورتر از فاصله امکان‌پذیر برای پیاده‌روی ایجاد می‌شود، دانسته است (کوان، ۱۳۸۹: ۶۳۱-۶۳۳). پراکنده‌روی شهری، توسعه متفرق با گرایش به سمت بیرون از مرکز شهر در طول بزرگراه‌ها است که دارای ویژگی‌هایی از جمله مصرف بی‌رویه زمین، تراکم پایین‌تر در مقایسه با مراکز قدیمی، وابستگی شدید به اتومبیل، افتراق فضاهای باز، فاصله زیاد بین خطوط ساخته شده، جدایی‌گزینی کاربری‌ها در مناطق مختلف، ساختمان‌های تجاری یک طبقه و فقدان فضاهای مدنی و عمومی است (انجمن پراکنده‌روی در ورمانت، ۱۹۹۹: ۲۸). پراکنده‌روی به عنوان فرآیند ساخت یک فرم شهری در نظر گرفته می‌شود که ساختار فشرده‌ی تک مرکزی پیشین را به ساختار سکونت-گاهی پراکنده، چند مرکزی و غیر پیوسته تغییر می‌دهد (گلستر و همکاران، ۲۰۰۱). گرگوری (۲۰۰۲) در تعریف رشد پراکنده شهری می‌نویسد: «الگویی از رشد شهرها و کلان‌شهرها که منعکس‌کننده تراکم کم، وابستگی به اتومبیل و صورت گرفتن توسعه‌های جدید شهر در حاشیه نواحی مسکونی اطراف شهر است» (گرگوری، ۲۰۰۲: ۴۹).

اینطور به نظر می‌رسد که عوامل متعددی بر معضل بی‌قوارگی شهری تأثیرگذارند (زنگنه شهرکی، مجیدی هروی و کاویانی، ۱۳۹۱؛ بهاتا، ۲۰۱۰؛ مورولون، ماراکوین و ریورو، ۲۰۱۵؛ گومز آنتونیو، هارتاس ریکو و لی، ۲۰۱۶؛ حبیبی و اسدی، ۲۰۱۱؛ شکوئی، ۱۳۸۰؛ ۲۱۵؛ گوردون و ریچاردسون، ۱۹۹۷؛ شیخی، ۱۳۸۵؛ ۳۲۸؛ سرایی، ۱۳۸۶؛ ۲۵؛ دیلمان و وگنر، ۲۰۰۴؛ عباس‌زاده، ۱۳۸۴؛ سوت‌وُرت، ۲۰۰۱) و بخش مهمی از این مطالعات و فعالیت‌ها در ارتباط با سنجش میزان بی‌قوارگی یا پراکنده‌روی شهری و اندازه‌گیری آن می‌باشد (بوچل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ۴۵-۶۰؛ ایوینگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ ۳۱-۳۱؛ گلستر، ۲۰۰۱؛ ۱۵-۲۸؛ انجل، پرنٹ و سیوکو، ۲۰۰۷؛ ۲؛ کان، ۲۰۰۱؛ ۷-۲۵؛ داونز، ۱۹۹۹؛ ۹۵۵-۹۷۴؛ کوج و کارچا، ۲۰۰۶؛ ۲-۱۵؛ فالتون و همکاران، ۲۰۰۱؛ ۱-۵؛ گلیسر و همکاران، ۲۰۰۱؛ ۱۰-۲۲؛ پندال، ۱۹۹۹؛ ۱۰-۲۹؛ بروکنر و کیم، ۲۰۰۳؛ ۳۸-۵۰).

سارزینسکی، گلستر و استک (۲۰۱۴) به سنجش الگوی کاربری زمین ۳۱۱ ناحیه شهری در ایالات متحده پرداخته و برای این امر ۴ سنجه معرفی می‌کنند: شدت، فشرده‌گی، اختلاط، و میزان غلبه‌ی هسته شهری. آن‌ها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به ۴ گروه مجزای الگوی کاربری زمین دست پیدا می‌کنند: (۱) بیشترین شدت، کمترین فشرده‌گی، کمترین اختلاط، توسعه تک هسته‌ای بیشتر؛ (۲) شدت کمتر، بیشترین فشرده‌گی، اختلاط کمتر، توسعه تک هسته‌ای کمتر؛ (۳) کمترین شدت، فشرده‌گی کمتر، بیشترین اختلاط، بیشترین توسعه تک هسته‌ای؛ (۴) شدت بیشتر، فشرده‌گی بیشتر، اختلاط بیشتر، توسعه چند هسته‌ای. این ۴ گروه به ترتیب شامل نواحی مستولی، منزوی، بازتوسعه، و جهان‌شمول می‌باشد. سلیمانی و همکاران

(۱۳۹۶) با استفاده از ۲۰ شاخص در ۷ گروه (تراکم، قطعات ساختمانی، دسترسی، مرکزیت، اختلاط کاربری‌ها، بی‌قاعدگی نواحی ساخته شده، و فضای فعالیت)، میزان پراکنده‌رویی را در ۱۱۱ محله شهر شیراز بر اساس روش تحلیل عاملی، بررسی نمودند. عزیزی و یارمحمدی (۱۳۹۳) تأثیر تقسیمات کشوری بر پراکنده‌رویی شهری در شهر بجنورد را مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی، ۱۵ متغیر را در ۲۷ ناحیه شهری سال ۱۳۸۳ و ۳۱ ناحیه شهری سال ۱۳۹۰ در چهار عامل تراکم، دسترسی، مرکزیت، و اختلاط کاربری دسته‌بندی می‌کنند. مقایسه‌ی نتایج دو دوره، افزایش پراکنده‌رویی در شهر بجنورد را نشان می‌دهد که علل آن رشد مهاجرت‌ها، گسترده شدن ساختار دولت، لزوم تأمین خدمات متناسب با نقش و عملکرد منطقه‌ای شهر، و افزایش سرسام‌آور قیمت زمین و مسکن می‌باشد. احمدی، عزیزی و زبردست (۱۳۸۹) با اندازه‌گیری و تعریف مشخصه‌های پراکنده‌رویی شهری به بررسی تطبیقی سه شهر اردبیل، سنندج و کاشان، بر اساس چارچوب نظری مرجع در شرایط ایران، می‌پردازند. نتایج حاکی از آن است که در الگوهای پراکنده‌رویی شهری در شهرهای میانی، بر خلاف کشورهای توسعه یافته غربی که در آن‌ها توسعه کم تراکم، مشخصه اصلی است، فقدان مرکزیت وضعف اختلاط کاربری عمده‌ترین مشخصه‌های تعریف این پراکنده‌رویی هستند.

نور و روسنی (۲۰۱۳) به بررسی پراکنده‌رویی شهر کوانتان<sup>۱</sup> در مالزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تلفیق آن با جی.آی.اس پرداخته‌اند. شاخص‌های پژوهش شامل نوارهای بزرگراه‌ها، توسعه جهشی، و افتراق کاربری اراضی است. الشریف و پرادان (۲۰۱۴) با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور به ارزیابی پراکنده‌رویی شهری در شهر طرابلس لیبی پرداخته و با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، الگوی گسترش شهر را مدل‌سازی می‌کنند. به این منظور ۱۱ فاکتور مؤثر بر پراکنده‌رویی شهری تعریف شدند که عبارتند از: فاصله از مرکز اقتصادی اصلی؛ فاصله از مرکز تجاری شهر؛ فاصله از نزدیک‌ترین ناحیه شهری؛ فاصله از ناحیه آموزشی؛ فاصله از جاده‌ها؛ فاصله از نواحی شهری؛ مختصات؛ شیب؛ مناطق ممنوعه؛ و تراکم جمعیت. برای انجام مراحل کالیبراسیون، از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۲ استفاده گردید، و برای راستی‌آزمایی مدل از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ بهره گرفته شد. سرانجام، نقشه‌ی احتمال پراکنده‌رویی به منظور پیش‌بینی الگوی گسترش شهری در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۵ استخراج گردید.

الشلابی و همکاران (۲۰۱۳) با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور به مدل‌سازی پراکنده‌رویی شهری در شهر صنعا در یمن پرداخته و الگوی پراکنده‌رویی را طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰، با استفاده از مدل اسلوت<sup>۲</sup> پیش‌بینی می‌نمایند. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل شیب؛ کاربری اراضی؛ مناطق غیر قابل گسترش؛ محدوده شهری؛ شبکه حمل و نقل؛ و اطلاعات توپوگرافی می‌باشد. این پژوهش همچنین، عملکرد مدل اسلوت را در مناطق با برنامه‌ریزی ضعیف توسعه، و همچنین مناطق کنترل‌شده و برنامه‌ریزی شده را مورد مقایسه قرار می‌دهد.

جیهانگ و همکاران (۲۰۱۶) به بسط مدل انتروپی پرداخته و فاکتور «فاصله از مرکز» را به این مدل اضافه می‌کنند. مشکل مدل انتروپی شانون و همکاران (۱۹۴۹)، این است که نخست، فضا را متحدالشکل در نظر می‌گیرد (یعنی اندازه قطعات یکسان در نظر گرفته می‌شود) و دوم، قطعات را به هم چسبیده و بدون فاصله در نظر می‌گیرد. بتی (۱۹۷۴) نیز با اضافه کردن مقیاس فاصله‌ای، مدل شانون را تصحیح کرده، اما مشکل آن منفی شدن مقادیر انتروپی است، و همچنین، این مدل نیز فاصله از مرکز را مد نظر قرار نمی‌دهد. یه و لی (۲۰۰۱) با افزودن تراکم احتمالی به مدل انتروپی سعی در حل مشکل منفی شدن مقادیر انتروپی نمودند، اما همچنان، این مدل نیز فاصله از مرکز را مد نظر قرار نمی‌دهد. از این رو جیهانگ و همکاران (۲۰۱۶) مدل جاذبه-انتروپی را معرفی کرده و به مقایسه‌ی مقادیر به دست آمده از مدل‌های «شانون»، «بتی»، و «یه و لی» پرداختند. یافته‌ها حاکی از آن است که در ۲ حالت متفاوت از شهر، ۳ مدل مذکور جواب یکسانی ارائه

<sup>1</sup> Kuantan

<sup>2</sup> SLEUTH

کردند، اما مدل جیهانگ و همکاران ۲ نتیجه متفاوت نمایش داد. همچنین، آن‌ها با استفاده از مدل بسط یافته خود، میزان پراکنده‌رویی در شهر شانگهای چین را مورد ارزیابی قرار دادند.

جت، گارگ و کهاره (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های سنجش از دور به مطالعه پراکنده‌رویی شهر آجمر<sup>۳</sup> در هند، طی یک دوره ۲۵ ساله بین سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۲ می‌پردازند. شاخص‌های پژوهش شامل تکه‌تکه بودن، مناطق غیر قابل نفوذ، تراکم و انتروپی می‌باشد. یافته‌ها نشان می‌دهند که گسترش کالبدی شهر آجمر بیشتر از ۳ برابر رشد جمعیت آن بوده است. بهاتا، سارازواتی و بندی‌آپادیای (۲۰۱۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ میزان نیکویی رشد شهر کلکته در هندوستان را مورد بررسی قرار می‌دهند. این پژوهش رشد شهری در ۸ جهت جغرافیایی در سال‌های مذکور را مورد ارزیابی قرار داده است که به همین منظور، از روش کای-اسکور پیرسون، برای اندازه‌گیری درجه آزادی رشد شهر، و از روش انتروپی شانون، برای سنجش درجه پراکنده‌رویی شهری بهره برده شده است. از ترکیب این دو سنجه، درجه نیکویی رشد شهری حاصل می‌شود. یافته‌ها حاکی از آن است که شهر کلکته، درجه آزادی و درجه پراکنده‌رویی زیادی از خود نشان می‌دهد که میزان نیکویی رشد این شهر را تبدیل به مقادیر منفی و یا «بد» نموده است.

## داده‌ها و روش شناسی

### اکتساب داده‌ها

این پژوهش از داده‌های ماهواره‌های لندست ۸، ۷، ۵، ۲ و ۱ بهره می‌برد که فایل‌آبرده‌های ژئوتیف هر یک از تصاویر برای محدوده شهر کرمان، از سایت «[earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)»، در قسمت «Dataset 1» دریافت گردیده است و در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱- داده‌های پژوهش

ردیف	تاریخ اخذ تصویر	نوع ماهواره
۱	۱۳۹۷/۰۵/۱۰	لندست ۸
۲	۱۳۹۲/۰۵/۲۸	لندست ۸
۳	۱۳۸۷/۰۴/۳۰	لندست ۵
۴	۱۳۸۲/۰۲/۰۶	لندست ۷
۵	۱۳۷۷/۰۵/۱۹	لندست ۵
۶	۱۳۷۲/۰۶/۰۶	لندست ۵
۷	۱۳۶۷/۰۶/۰۸	لندست ۵
۸	۱۳۶۳/۰۲/۲۵	لندست ۵
۹	۱۳۵۵/۰۵/۱۰	لندست ۲
۱۰	۱۳۵۲/۰۲/۲۰	لندست ۱

(مأخذ: نگارندگان)

بر روی هر یک از تصاویر دریافت شده، با استفاده از نرم‌افزار ENVI نسخه ۵.3، پیش‌پردازش انجام گردید که عبارتند از نخست، تصحیح رادیومتریکی، به منظور از بین بردن اثر سنجنده بر روی تصاویر، و دستیابی به رادیانس<sup>۴</sup> تصویر؛ و دوم، تصحیح اتمسفری، به منظور از بین بردن اثر اتمسفر بر روی تصاویر، و دستیابی به رفلکتانس<sup>۵</sup> تصویر. لازم به ذکر

<sup>3</sup> Ajmer

<sup>4</sup> Radiance

<sup>5</sup> Reflectance

است که تصاویر ماهواره‌اندست که از سایت مذکور دریافت می‌گردند نیاز به تصحیح هندسی ندارند و پیشاپیش این تصحیحات بر روی آن‌ها اعمال گشته است. سپس، با استفاده از روش PCA<sup>۶</sup> در قسمت تبدیلات نرم‌افزار، اقدام به آشکارسازی تصاویر گردید و برای هر تصویر ۴ مقدار ویژه غیرهمبسته ایجاد شد. همچنین با استفاده از روش NDBI آشکارسازی مناطق شهری با دقت و وضوح بیشتری صورت پذیرفت. پس از آن به منظور استخراج داده‌های مورد نیاز، طبقه‌بندی تصاویر به دو صورت نظارت نشده و نظارت شده انجام شد. در طبقه‌بندی نظارت نشده از روش K-Means استفاده گردید، و ۴ کلاس کاربری شامل پوشش گیاهی، جاده‌ها، خاک، و نواحی ساخته‌شده شهری استخراج شد. روش طبقه‌بندی نظارت نشده دقت لازم را برای محاسبات فراتر ندارد و تنها یک راهنمایی برای مرحله بعد، یعنی طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد. در طبقه‌بندی نظارت شده، به تعریف کلاس‌های مورد نظر (۴ کلاس کاربری شامل پوشش گیاهی، جاده‌ها، خاک، و نواحی ساخته‌شده شهری) پرداخته و سپس با استفاده از روش SVM<sup>۷</sup> برای همه تصاویر طبقه‌بندی انجام گرفت. برای بررسی دقت طبقه‌بندی و اینکه آیا می‌توان به داده‌های به دست آمده اعتماد کرد یا خیر، از پساتطبقه‌بندی<sup>۸</sup> با روش «ماتریس درهم‌ریختگی از طریق داده‌های منتخب زمین مرجع<sup>۹</sup>» استفاده شد. دقت طبقه‌بندی برای هر یک از تصاویر مورد استفاده در پژوهش در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

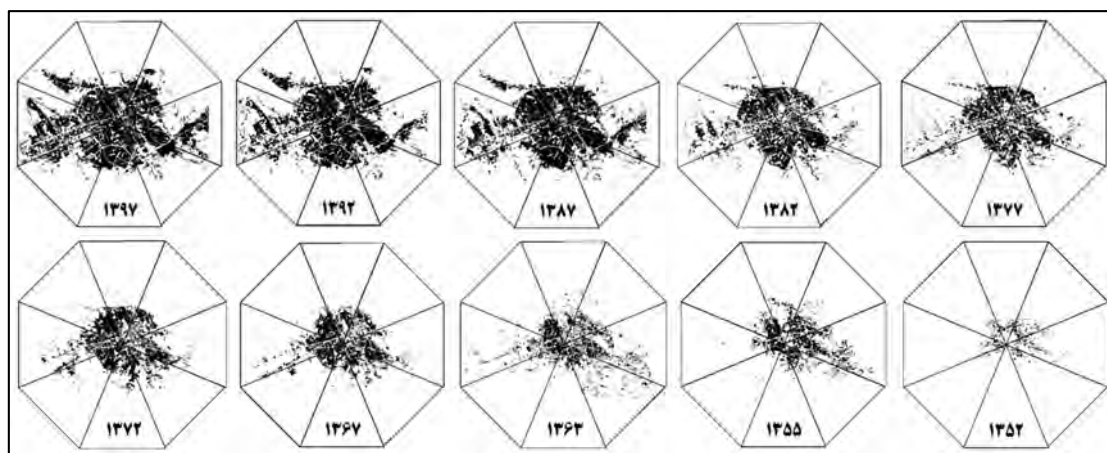
جدول ۲- دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

ردیف	سال	دقت کلی طبقه‌بندی (%)	ضریب کاپا
۱	۱۳۹۷	۹۶.۶۸	۰.۹۶
۲	۱۳۹۲	۸۸.۰۶	۰.۸۴
۳	۱۳۸۷	۸۶.۴۵	۰.۸۱
۴	۱۳۸۲	۹۲.۷۴	۰.۹۰
۵	۱۳۷۷	۹۴.۶۵	۰.۸۳
۶	۱۳۷۲	۹۷.۴۰	۰.۹۰
۷	۱۳۶۷	۹۵.۳۵	۰.۸۱
۸	۱۳۶۳	۹۵.۵۹	۰.۷۷
۹	۱۳۵۵	۸۴.۲۹	۰.۷۰
۱۰	۱۳۵۲	۸۵.۶۰	۰.۷۱

(مأخذ: نگارندگان)

پس از مشخص شدن میزان دقت طبقه‌بندی و قابل قبول بودن آن‌ها (ضریب کاپا بزرگتر از ۰.۷ قابل قبول است)، مرحله استخراج داده‌های مورد نیاز فرا می‌رسد. به همین منظور، با استفاده از ۸ مثلث هم‌مساحت در راستای ۸ جهت جغرافیایی بر طبق شکل ۱، مساحت ساخته شده در هر مثلث، با استفاده از شمارش پیکسل‌های موجود، و ضرب آن در ابعاد پیکسل (۳۰ متر در ۳۰ متر) به دست می‌آید. پس از انجام محاسبات در نرم‌افزار ENVI خروجی به صورت جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

<sup>۶</sup> Principal Component Analysis<sup>۷</sup> Support Vector Machine<sup>۸</sup> Post Classification<sup>۹</sup> Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs



شکل ۱- تغییرات کالبدی محدوده مورد مطالعه طی ۴۵ سال (ترسیم: نگارندگان)

جدول ۳- مساحت ساخته شده در طی سال‌ها و جهات مختلف (بر حسب هکتار)

جهت سال	شرق	جنوب شرقی	جنوب	جنوب غربی	غرب	شمال غربی	شمال	شمال شرقی
۱۳۹۷	۱۳۲۰.۱۲	۹۰۵.۵۸	۶۹۱.۵۶	۹۹۰.۸۱	۱۸۴۵.۴۵	۱۰۹۴.۲۲	۵۷۶.۲۷	۸۸۴.۰۷
۱۳۹۲	۹۵۷.۸۷	۷۶۰.۹۵	۶۶۶.۷۲	۷۵۵.۰۱	۱۳۸۱.۱۴	۹۷۷.۵۸	۵۱۶.۶۹	۷۵۵.۸۲
۱۳۸۷	۱۰۷۲.۰۸	۷۴۸.۵۳	۶۲۰.۰۱	۵۹۴.۴۵	۱۲۱۸.۸۷	۸۱۰	۴۷۳.۴	۶۳۸.۱۹
۱۳۸۲	۸۰۱.۱۸	۶۵۹.۷۹	۵۰۹.۳۱	۳۹۸.۵۲	۱۰۲۵.۶۴	۶۷۰.۵۹	۴۳۰.۴۷	۴۱۸.۵۹
۱۳۷۷	۶۸۷.۹۶	۴۷۸.۴۴	۳۸۲.۷۷	۳۴۶.۴۱	۶۵۱.۹۶	۵۲۶.۷۷	۳۹۴.۴۷	۳۸۰.۷۹
۱۳۷۲	۶۲۶.۱۳	۴۳۸.۰۳	۳۰۵.۴۶	۳۶۴.۹۵	۶۶۷.۱۷	۴۵۵.۴	۳۹۳.۵۷	۳۶۲.۶۱
۱۳۶۷	۵۷۰.۹۶	۳۹۳.۵۷	۱۹۱.۷	۳۳۶.۹۷	۵۷۰.۷۸	۴۰۰.۲۳	۳۱۴.۵۵	۳۳۲.۱۹
۱۳۶۳	۶۴۴.۴۹	۴۱۸.۹۵	۱۲۲.۸۵	۱۶۶.۲۳	۳۶۹.۸۱	۳۰۴.۱۱	۲۲۴.۹۱	۳۰۱.۶۸
۱۳۵۵	۲۵۶.۰۵	۱۶۵.۰۶	۵۶.۹۷	۱۱۸.۴۴	۱۹۳.۷۷	۱۳۱.۰۴	۹۵.۳۱	۱۴۵.۷۱
۱۳۵۲	۱۵۴.۳۵	۱۰۰.۵۳	۳۳.۳	۵۵.۳۵	۱۱۰.۶۱	۵۸.۵	۴۸.۸۷	۷۵.۵۱

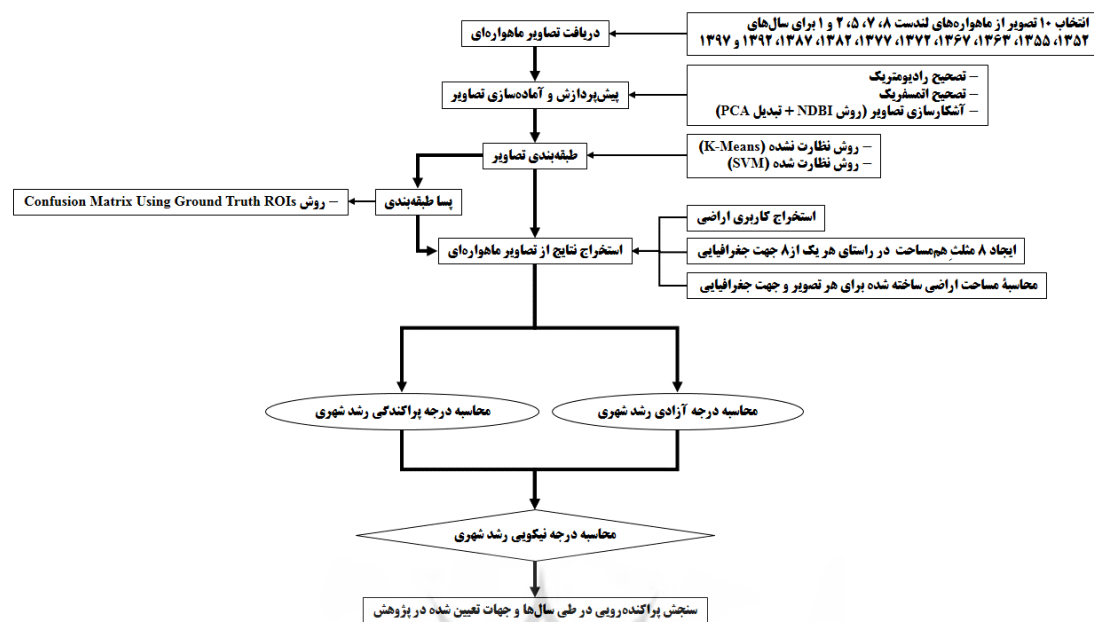
(مأخذ: نگارندگان)

### روش شناسی

روش شناسی تحقیق در این پژوهش در فلوچارت شکل ۲ نمایش داده شده است. همان گونه که در این شکل مشخص است، با انجام ۴ مرحله اول، داده‌های جدول ۳ به دست آمد، در مرحله بعد «درجه آزادی» رشد شهری محاسبه گردید که برای این منظور، ابتدا باید گسترش مشاهده شده در هر جهت جغرافیایی را در ۹ بازه زمانی محاسبه کرد که به راحتی از تفریق مقادیر سال‌های متوالی، در هر جهت جغرافیایی به دست می‌آید و ماتریس مشاهده تشکیل می‌گردد، و سپس می‌توان ماتریس امید (یا مورد انتظار) را بر اساس رابطه ۱ محاسبه نمود.

$$M_{ij}^E = \frac{M_i^S \times M_j^S}{M_g}$$

رابطه (۱)



شکل ۲- فلوجارت تحقیق (ترسیم: نگارندگان)

که در این رابطه،  $M_i^S$  مجموع مقادیر سطرهای ماتریس مشاهده،  $M_j^S$  مجموع مقادیر ستون‌های ماتریس مشاهده،  $M_g$  مجموع مقادیر تمامی عناصر ماتریس مشاهده، و  $M_{ij}^E$  ماتریس امید می‌باشد. سپس، با داشتن دو ماتریس مشاهده و امید، و همچنین، با استفاده از رابطه ۲ که روش کای اسکور پیرسن می‌باشد، درجه آزادی رشد شهری در بازه‌های زمانی مختلف، و ۸ جهت جغرافیایی مورد محاسبه قرار گرفت.

$$\chi_i^2 = \sum_{j=1}^m \frac{(M_j - M_j^E)^2}{M_j^E} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه،  $\chi_i^2$  درجه آزادی رشد شهری برای دوره زمانی  $M_j$ ،  $M_j^E$  عناصر ماتریس مشاهده، و  $M_j^E$  عناصر ماتریس امید می‌باشد. درجه آزادی رشد شهری برای کل شهر نیز از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(M_{ij} - M_{ij}^E)^2}{M_{ij}^E} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه،  $\chi^2$  درجه آزادی رشد شهری برای کل شهر،  $M_{ij}$  عناصر ماتریس مشاهده در تمام دوره‌ها، و  $M_{ij}^E$  عناصر ماتریس امید در تمام دوره‌ها می‌باشد. در مرحله بعد، «درجه پراکندگی» رشد شهری با استفاده از انترپوی شانون، مورد محاسبه قرار گرفت که فرمول آن در رابطه ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

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



که در این رابطه،  $P_i$  مساحت ناحیه ساخته شده  $\Delta m$  در ماتریس مشاهده تقسیم بر مجموع مساحت همه نواحی ساخته شده می‌باشد، و  $H_i$  مقدار انتروپی شانون برای دوره زمانی مشخص است. میزان انتروپی بین مقادیر ۰ تا  $\ln(n)$  متغیر است از این رو، اگر مقدار به دست آمده از انتروپی شانون بیشتر از  $\frac{1}{2}\ln(n)$  باشد، شهر در دوره زمانی مشخص، از پراکنده‌رویی بالایی برخوردار است. درجه پراکنندگی رشد شهری برای کل شهر نیز از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$H = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{ij}) \cdot (\ln P_{ij}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه،  $P_{ij}$  مساحت ناحیه ساخته شده  $\Delta m$  در ماتریس مشاهده تقسیم بر مجموع مساحت همه نواحی ساخته شده در همه دوره‌های زمانی می‌باشد، و  $H$  مقدار انتروپی شانون برای کل دوره‌های زمانی و برای کل شهر است. میزان انتروپی بین مقادیر ۰ تا  $\ln(n \times m)$  متغیر است از این رو، اگر مقدار به دست آمده از انتروپی شانون بیشتر از  $\frac{1}{2}\ln(n \times m)$  باشد، شهر، در همه دوره‌های زمانی از پراکنده‌رویی بالایی برخوردار است. در مرحله آخر، به دلیل متفاوت بودن مقیاس درجه آزادی و درجه پراکنندگی، «درجه نیکویی» رشد شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد که از رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$G_i = \ln\left[\frac{1}{\left(\chi^2_{\frac{H_i}{\ln(n)}}\right)}\right] \quad \text{رابطه (۶)}$$

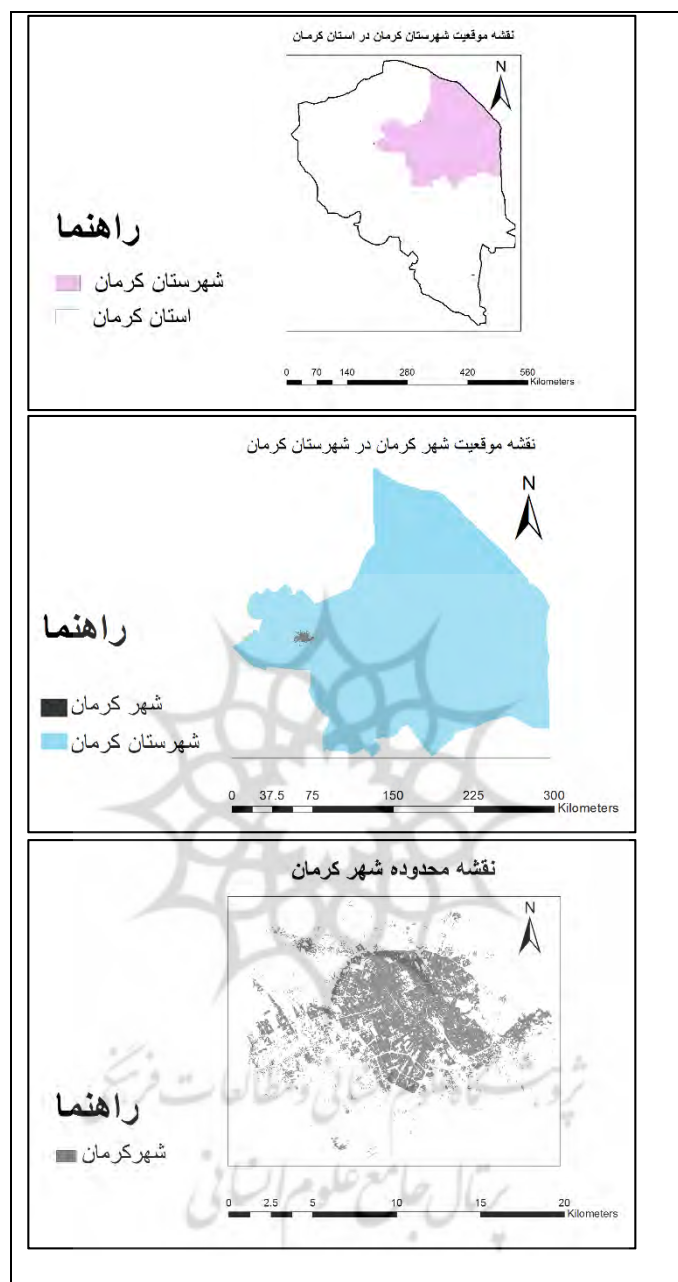
که در این رابطه،  $G_i$  درجه نیکویی رشد شهری در دوره زمانی  $\Delta m$  است،  $\chi^2_i$  درجه آزادی رشد شهری در دوره زمانی  $\Delta m$  می‌باشد، و  $H_i$  درجه پراکنندگی رشد شهری در دوره زمانی  $\Delta m$  محسوب می‌گردد. درجه نیکویی رشد شهری برای کل شهر نیز از رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$G = \ln\left[\frac{1}{\left(\chi^2_{\frac{H}{\ln(n \times m)}}\right)}\right] \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در این رابطه،  $G$  درجه نیکویی رشد شهری برای کل شهر و همه دوره‌های زمانی است،  $\chi^2$  درجه آزادی رشد شهری برای کل شهر و همه دوره‌های زمانی می‌باشد، و  $H$  درجه پراکنندگی رشد شهری برای کل شهر و همه دوره‌های زمانی محسوب می‌گردد.

### قلمرو پژوهش

قلمرو پژوهش به لحاظ مکانی، محدوده شهر کرمان می‌باشد که موقعیت و محدوده شهرستان و شهر کرمان از آخرین شیپ‌فایل در دسترس در سال ۱۳۸۵ مستخرج گشته است (شکل ۳).

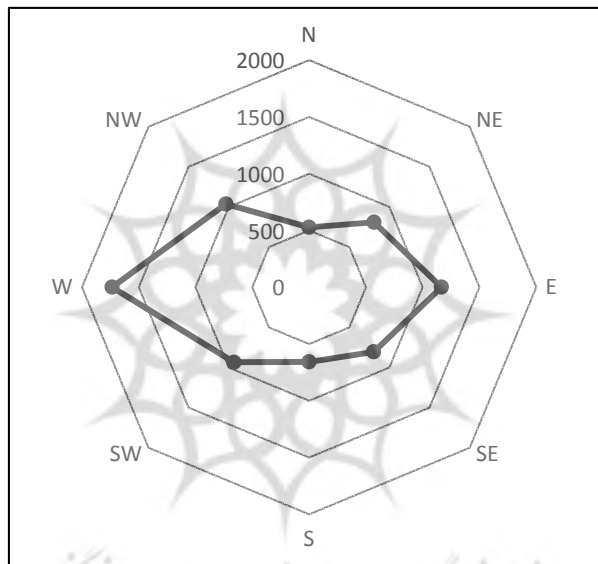


شکل ۳- موقعیت و محدوده شهرستان و شهر کرمان (ترسیم: نگارندگان)

همچنین، قلمرو پژوهش به لحاظ زمانی، طی سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۷ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است؛ این مدت به ۹ دوره تقسیم شده است که عبارتند از: دوره ۱۳۹۲-۱۳۹۷، دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۲، دوره ۱۳۸۲-۱۳۸۷، دوره ۱۳۷۷-۱۳۸۲، دوره ۱۳۷۲-۱۳۷۷، دوره ۱۳۶۷-۱۳۷۲، دوره ۱۳۶۳-۱۳۶۷، دوره ۱۳۵۵-۱۳۶۳، دوره ۱۳۵۲-۱۳۵۵. محدوده مورد مطالعه در درون یک هشت‌ضلعی منتظم به مرکز «پارک نشاط» قرار گرفته است و به لحاظ محاسباتی به ۸ مثلث هم‌مساحت، در ۸ جهت جغرافیایی تقسیم گردیده است که واحدهای محاسباتی این پژوهش را همین ۸ مثلث هم‌مساحت تشکیل می‌دهند؛ انتخاب پارک نشاط به عنوان مرکز این هشت‌ضلعی به این دلیل است که این پارک تقریباً در مرکز فیزیکی شهر طی دوران‌های مختلف مد نظر این پژوهش واقع شده است، از این رو، در سال‌های اولیه مورد مطالعه، مشکل محاسباتی و گرافیکی بروز نمی‌کند. مساحت ساخته شده در هر سال و در هر جهت در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

### یافته‌ها

با استفاده از داده‌های جدول ۳، می‌توان نمودار راداری میزان ساخت و ساز در ۸ جهت جغرافیایی را طی دوره ۴۵ ساله (۱۳۵۲-۱۳۹۷) ترسیم نمود که در شکل ۴ قابل مشاهده می‌باشد. در این نمودار بیشترین ساخت و ساز، معادل ۱۷۳۴.۸۴ هکتار، در جهت غرب شهر کرمان، طی ۴۵ سال صورت گرفته است، و پس از آن با اختلاف نسبتاً زیادی جهت شرق، معادل ۱۱۶۵.۷۷ هکتار، رتبه دوم را به خود اختصاص داده است؛ کمترین میزان ساخت و ساز طی این دوره نیز متعلق به جهت شمال، با ۵۲۷.۴۰ هکتار می‌باشد. همچنین، میزان ساخت و ساز طی ۹ دوره زمانی در کل جهات جغرافیایی در شکل ۵ به نمایش درآمده است. در دوره ۵ ساله ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ بیشترین ساخت و ساز، معادل ۱۵۳۶.۳۰ هکتار، در شهر کرمان انجام شده است، در حالی که با اختلاف بسیار کمی، دوره ۸ ساله ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۳، معادل ۱۳۹۰.۶۸ هکتار، رتبه دوم را در میزان ساخت و ساز از آن خود کرده است. کمترین این میزان نیز در دوره ۵ ساله ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۷ اتفاق افتاد است.



شکل ۴- نمودار راداری میزان ساخت و ساز در ۸ جهت جغرافیایی طی دوره ۴۵ ساله (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۵- نمودار میزان ساخت و ساز طی ۹ دوره زمانی، در همه جهات جغرافیایی (ترسیم: نگارندگان)

در مرحله بعد، با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ درجه آزادی رشد شهری کرمان، در نرم‌افزار «اکسل» مورد محاسبه قرار گرفته است که در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۴- ماتریس درجه آزادی رشد شهری

مجموع	شمال شرقی	شمال	شمال غربی	غرب	جنوب غربی	جنوب	جنوب شرقی	شرق	جهت
									دوره زمانی
۲۷۸.۲۳	۷.۰۱	۲۰.۰۷	۳۹.۷۴	۳۹.۳۱	۱۲.۵۲	۸۶.۸۳	۱.۷۱	۷۱.۰۳	۱۳۹۲-۱۳۹۷
۷۵۷.۳۶	۴۷.۷۵	۰.۱۳	۹۴.۱۹	۵.۵۸	۱۰۶.۱۴	۰.۳۹	۴۰.۲۰	۴۶۲.۹۹	۱۳۸۷-۱۳۹۲
۱۷۲.۵۷	۵۶.۴۶	۲۲.۱۲	۵۶۱	۲۹.۷۰	۱۱.۵۲	۰.۰۶	۱۴.۳۹	۳۲.۷۲	۱۳۸۲-۱۳۸۷
۲۵۹.۶۸	۴۹.۳۴	۱۸.۹۰	۰.۰۰	۷۳.۴۰	۴۶.۵۱	۱۳.۵۶	۴۳.۴۰	۱۴.۵۷	۱۳۷۷-۱۳۸۲
۴۲۰.۱۸	۱.۸۱	۱۴.۴۹	۴۸.۸۵	۸۸.۱۸	۷۷.۸۲	۱۶۰.۴۷	۹.۸۴	۱۸.۷۲	۱۳۷۲-۱۳۷۷
۱۹۹.۴۸	۱۰.۳۰	۵۴.۴۴	۲.۸۴	۳.۲۸	۹.۶۱	۱۱۰.۷۹	۱.۶۱	۶.۶۱	۱۳۶۷-۱۳۷۲
۶۹۵.۹۸	۱۲.۸۵	۷۱.۷۰	۶.۶۳	۴۷.۹۲	۱۳۲.۰۳	۱۰.۱۴	۱۱۹.۴۶	۲۹۵.۲۶	۱۳۶۳-۱۳۶۷
۴۱۴.۴۶	۰.۶۰	۱۲.۰۸	۱.۱۵	۶۰.۹۶	۸۷.۴۸	۲۳.۹۴	۷۹.۸۴	۱۴۸.۴۰	۱۳۵۵-۱۳۶۳
۳۵.۴۳	۳.۹۷	۲.۹۵	۰.۰۴	۱۰.۶۹	۰.۰۱	۱۰.۱۷	۱.۶۰	۵.۹۹	۱۳۵۲-۱۳۵۵
۳۲۳۳.۳۷	۱۹۰.۰۹	۲۱۶.۸۸	۱۹۹.۰۳	۳۵۹.۰۲	۴۸۳.۶۵	۴۱۶.۳۵	۳۱۲.۰۵	۱۰۵۶.۳۰	مجموع

(مأخذ: نگارندگان)

در این جدول مجموع مقادیر هر سطر که در سمت چپ جدول به صورت متمایز نمایش داده شده است، حاکی از درجه آزادی رشد شهری در هر دوره زمانی می‌باشد که این شاخص طی دوره ۵ ساله ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است و برابر با ۷۵۷.۳۶ می‌باشد. کمترین میزان این شاخص نیز متعلق به دوره ۳ ساله ۱۳۵۲ تا ۱۳۵۵، معادل ۳۵.۴۳ است. همچنین، در این جدول، مجموع مقادیر هر ستون که در قسمت پایین جدول به صورت متمایز نمایش داده شده است، حاکی از درجه آزادی رشد شهری در هر یک از جهات جغرافیایی می‌باشد. بیشترین میزان این شاخص متعلق به جهت شرق می‌باشد، معادل ۱۰۵۶.۳۰ که میزان بسیار زیادی محسوب می‌شود، به طوری که اختلاف بسیار فاحشی با رتبه دوم همین شاخص از خود نشان می‌دهد. رتبه دوم، مقداری برابر با ۴۸۳.۶۵ دارد و مربوط به جهت جنوب غربی می‌باشد. همچنین کمترین میزان درجه آزادی در جهت شمال شرقی، برابر با ۱۹۰.۰۹ اتفاق افتاده است. آخرین سلول در انتهای سمت چپ و پایین جدول که به صورت متمایز نمایش داده شده است، درجه آزادی رشد کل شهر در کل دوره‌های زمانی را نمایش می‌دهد که مقدار آن برابر با ۳۲۳۳.۳۷ می‌باشد. این درجه آزادی به شدت عدد بالایی را نشان می‌دهد که حاکی از فقدان برنامه‌ریزی توسعه متناسب با گذشت زمان است. در واقع، این عدد، ناهمگنی و عدم تناسب میان گسترش شهری در زمان‌های مختلف و در جهات مختلف را نشان می‌دهد.

در مرحله بعد، با استفاده از روابط ۴ و ۵ درجه پراکندگی رشد شهری کرمان، مورد محاسبه قرار گرفته است. برای این منظور، در نرم‌افزار «متلب» کدنویسی روابط ۴ و ۵ و همچنین تعریف  $P_i$ ها انجام گردید و پس از آن ماتریس مشاهدات با حذف مقادیر منفی<sup>۱۰</sup> به عنوان ورودی در نرم‌افزار داده شد. نتایج محاسبات، در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۵- درجه پراکندگی رشد شهری در ۹ دوره زمانی

مقدار انتروبی نسبی ( $H_i'$ )	نصف میزان بیشینه پراکندگی ( $\frac{1}{2} \ln(n)$ )	میزان بیشینه پراکندگی ( $\ln(n)$ )	مقدار انتروبی شانون	شاخص پراکندگی
----------------------------------	---	---------------------------------------	------------------------	---------------

<sup>۱۰</sup> در مدل اولیه انتروبی شانون، در فرمول‌ها، مقادیر منفی قابل محاسبه نبوده و این مدل، در این خصوص، کارایی لازم را ندارد.

				دوره زمانی
				( $H_i$ )
۰.۸۶۹۵	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۸۰۸۲	۱۳۹۲-۱۳۹۷
۰.۸۹۰۰	۰.۹۷۳۹	۱.۹۴۵۹	۱.۷۳۲۰	۱۳۸۷-۱۳۹۲
۰.۹۴۷۳	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۹۷۰۰	۱۳۸۲-۱۳۸۷
۰.۸۷۱۲	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۸۱۱۷	۱۳۷۷-۱۳۸۲
۰.۸۵۵۱	۰.۸۹۵۹	۱.۷۹۱۸	۱.۵۳۲۳	۱۳۷۲-۱۳۷۷
۰.۹۵۶۶	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۹۸۹۳	۱۳۶۷-۱۳۷۲
۰.۹۲۰۲	۰.۸۹۵۹	۱.۷۹۱۸	۱.۶۴۸۹	۱۳۶۲-۱۳۶۷
۰.۹۲۰۶	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۹۱۴۵	۱۳۵۷-۱۳۶۲
۰.۹۷۰۶	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۲.۰۱۸۳	۱۳۵۲-۱۳۵۷

(مأخذ: نگارندگان)

همچنین، با توجه به اینکه برخی مقادیر منفی، از محاسبات کنار گذاشته شده‌اند، میزان بیشینه پراکندگی در دوره‌ها و جهات مختلف ممکن است متفاوت به دست آیند و کار مقایسه را دشوار نمایند که این مشکل با تقسیم کردن مقدار انترویی شانون بر میزان بیشینه پراکندگی (انترویی نسبی) قابل حل است.

در جدول ۵، همه دوره‌های زمانی مقادیری بیش از نصف میزان بیشینه پراکندگی را اتخاذ کرده‌اند، از این رو شهر کرمان در همه دوره‌ها دچار پراکنده‌روی بوده است. اما بیشترین درجه پراکندگی در دوره ۳ ساله ۱۳۵۲ تا ۱۳۵۵، با انترویی ۲.۰۱۸۳ رخ داده است و پس از آن در رتبه دوم، دوره ۵ ساله ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۲، با انترویی ۱.۹۸۹۳ قرار دارد. کمترین میزان درجه پراکندگی نیز متعلق به دوره ۵ ساله ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۷، با انترویی ۱.۵۳۲۳ می‌باشد. لازم به ذکر است، حتی کمترین میزان درجه پراکندگی در این جدول نیز مقداری بسیار بالاتر از نصف میزان بیشینه پراکندگی را به خود اختصاص داده است.

جدول ۶- درجه پراکندگی رشد شهری در ۸ جهت جغرافیایی

مقدار انترویی نسبی ( $H_j'$ )	نصف میزان بیشینه پراکندگی ( $\frac{1}{2} \ln(m)$ )	میزان بیشینه پراکندگی ( $\ln(m)$ )	مقدار انترویی شانون ( $H_j$ )	شاخص پراکندگی جهت جغرافیایی
۰.۸۷۶۹	۰.۹۷۳۹	۱.۹۴۵۹	۱.۷۰۶۵	شرق
۰.۸۶۷۱	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۸۰۳۱	جنوب شرقی
۰.۹۴۱۷	۱.۰۹۸۶	۲.۱۹۷۲	۲.۰۶۹۲	جنوب
۰.۹۰۷۶	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۸۸۷۳	جنوب غربی
۰.۹۲۷۹	۱.۰۳۹۷	۲.۰۷۹۴	۱.۹۲۹۵	غرب
۰.۹۶۹۹	۱.۰۹۸۶	۲.۱۹۷۲	۲.۱۳۱۱	شمال غربی
۰.۹۰۷۶	۱.۰۹۸۶	۲.۱۹۷۲	۱.۹۹۴۳	شمال
۰.۸۷۹۱	۱.۰۹۸۶	۲.۱۹۷۲	۱.۹۳۱۷	شمال شرقی

(مأخذ: نگارندگان)

در این جدول، همه جهات جغرافیایی مقادیری بیش از نصف میزان بیشینه پراکندگی را اتخاذ کرده‌اند، از این رو، شهر کرمان در همه جهات جغرافیایی نیز دچار پراکنده‌روی است. بیشترین درجه پراکندگی در جهت شمال غربی، با انترویی ۲.۱۳۱۱ رخ داده و در رتبه دوم، جهت جنوب، با انترویی ۲.۰۶۹۲ قرار دارد. کمترین میزان درجه پراکندگی نیز متعلق به

جهت جنوب شرقی، با انترویی ۱.۸۰۳۱ می‌باشد. کمترین میزان پراکندگی در این جدول نیز مقداری بسیار بالاتر از نصف میزان بیشینه پراکندگی را به خود اختصاص داده است.

جدول ۷- درجه پراکندگی رشد کل شهر در کل دوره‌های زمانی

مقدار انترویی نسبی (H')	نصف میزان بیشینه پراکندگی ( $\frac{1}{2} \ln(n \times m)$ )	میزان بیشینه پراکندگی ( $\ln(n \times m)$ )	مقدار انترویی شانون (H)	شاخص پراکندگی کل شهر
۰.۹۴۳۶	۲.۴۴۸۹	۴.۸۹۷۸	۴.۶۲۲۰	کل شهر و کل دوره‌ها

(مأخذ: نگارندگان)

در این جدول درجه پراکندگی رشد شهری برای کل شهر و کل دوره‌های زمانی نمایش داده شده است و میزان آن برابر با ۴.۶۲۲۰ می‌باشد. این مقدار از پراکندگی، اختلاف بسیاری با نصف میزان بیشینه پراکندگی دارد و عملاً با میزان بیشینه پراکندگی، معادل ۴.۸۹۷۸ برابری می‌کند. از این رو، می‌توان شهر کرمان را شهری دچار پراکنده‌روی نامید. در مرحله پایانی، با استفاده از روابط ۶ و ۷ درجه نیکویی رشد شهری کرمان، در نرم‌افزار «اکسل» مورد محاسبه قرار گرفته است که در جدول ۸ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۸- ماتریس درجه نیکویی رشد شهری

درجه نیکویی	شمال شرقی	شمال	شمال غربی	غرب	جنوب غربی	جنوب	جنوب شرقی	شرق	جهت دوره زمانی
-۵.۴۳۳۵۸									۱۳۹۲-۱۳۹۷
-۶.۳۹۱۹۲									۱۳۸۷-۱۳۹۲
-۵.۰۴۱۶۳									۱۳۸۲-۱۳۸۷
-۵.۳۶۶۵۴									۱۳۷۷-۱۳۸۲
-۵.۶۸۰۲۷									۱۳۷۲-۱۳۷۷
-۵.۱۹۶۳۲									۱۳۶۷-۱۳۷۲
-۶.۲۵۸۲۳									۱۳۶۲-۱۳۶۷
-۵.۸۸۹۲۳									۱۳۵۷-۱۳۶۲
-۳.۴۸۲۵۰									۱۳۵۲-۱۳۵۷
-۸.۸۸۰۰۱	-۵.۱۷۳۸	-۵.۳۳۷۵	-۵.۳۱۸۰	-۵.۸۰۸۶	-۶.۰۸۴۴	-۶.۰۲۶۶	-۵.۶۰۰۶	-۶.۷۶۴۹	درجه نیکویی

(مأخذ: نگارندگان)

ستون انتهایی سمت چپ این جدول که به صورت متمایز نمایش داده شده است، نشان‌دهنده درجه نیکویی رشد شهری در دوره‌های مختلف است. مقادیر منفی حاکی از فقدان نیکویی در رشد شهری است که همه مقادیر جدول نیز این را به خوبی نمایش می‌دهند. کمترین میزان نیکویی متعلق به دوره ۵ ساله ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲، برابر با ۶.۳۹۱۹۲- است، و بیشترین میزان آن شامل دوره ۳ ساله ۱۳۵۲ تا ۱۳۵۵، معادل ۳.۴۸۲۵۰- می‌شود. در واقع، از میان تمام دوره‌ها، بهترین و برنامه‌ریزی شده‌ترین رشد متعلق به همین دوره ۳ ساله ۱۳۵۲ تا ۱۳۵۵ است که خود از درجه نیکویی رشد بسیار پایینی برخوردار است. سطر پایینی این جدول نیز که به صورت متمایز نمایش داده شده است، نشان‌دهنده درجه نیکویی رشد شهری در جهات مختلف جغرافیایی است. کمترین میزان نیکویی متعلق به جهت شرق با مقدار ۶.۷۶۴۹- می‌باشد و بیشترین این میزان

شامل جهت شمال شرقی با مقدار ۵.۱۷۳۸- است. در واقع از میان تمام جهت‌های جغرافیایی، بهترین و برنامه‌ریزی شده‌ترین رشد متعلق به همین جهت شمال شرقی است که خود از درجه نیکویی رشد بسیار پایینی برخوردار است. آخرین سلول در انتهای سمت چپ و پایین جدول که به صورت متمایز نمایش داده شده است، درجه نیکویی رشد کل شهر در کل دوره‌های زمانی را نمایش می‌دهد که مقدار آن برابر با ۸.۸۸۰۰۱- می‌باشد. این درجه نیکویی به شدت عدد پایینی را نشان می‌دهد که حاکی از فقدان برنامه‌ریزی توسعه متناسب با گذشت زمان و پراکنده‌رویی بیش از اندازه می‌باشد. در واقع، این عدد، ناهمگنی و عدم تناسب میان گسترش شهری در زمان‌های مختلف و در جهات مختلف را به نمایش می‌گذارد.

## نتایج

در این پژوهش، از داده‌های سنجش از دور و همچنین، سه شاخص درجه آزادی، درجه پراکندگی و درجه نیکویی به منظور ارزیابی رشد و پراکنده‌رویی شهر کرمان استفاده گردید. آنچه از یافته‌های پژوهش می‌توان استنباط کرد این است که در طی حدوداً نیم قرن، شهر کرمان رشدی به شدت پراکنده و برنامه‌ریزی نشده را تجربه کرده است. هر چند در دوره‌هایی این رشد سرعتی متفاوت را اتخاذ کرده است، ولیکن، کمترین سرعت نیز دارای مقادیر بسیار بالایی می‌باشد. به نظر می‌رسد، این رشد به اصطلاح بی‌قواره، بی‌رویه، کنترل نشده و خزش شهری، ناشی از چند عامل است:

- مدیریت و برنامه‌ریزی نامناسب: جانمایی کاربری اراضی، بعضاً با مشکلاتی از قبیل قوانین مالکیت، عدم هماهنگی میان طرح‌های توسعه و عدم آگاهی مسئولین از شیوه جانمایی مناسب کاربری‌ها روبرو بوده است.
- عدم تناسب در توسعه منطقه‌ای: شهر کرمان به عنوان نخست شهر منطقه، بخش اعظم امکانات و فرصت‌ها را در سیطره خود دارد، از این رو به عنوان یک جاذبه اقتصادی و اجتماعی، پذیرای حجم زیادی از مهاجران در طی سال‌های متمادی بوده است که به دلیل نابرابری‌های منطقه‌ای به این شهر تحمیل شده است. از این رو، سرعت توسعه، همگام با سرعت رشد جمعیت نبوده و همین عامل سبب رشد بی‌رویه، کنترل نشده و بعضاً «خودرو» در شهر شده است.
- بلایای طبیعی و بشرساز: استان کرمان همواره شاهد وقوع بلایایی نظیر، زلزله، سیل، خشکسالی بوده که بار ناشی از این بلایا در کل استان نیز بر دوش شهر نخست منطقه یعنی شهر کرمان بوده است. روستاییان بلادریبه به دلیل خشکسالی‌های متمادی قادر به ادامه زندگی اقتصادی خود نبوده و به شهری با امکانات و فرصت‌های شغلی بهتر مهاجرت می‌کنند. زلزله‌زدگان و سیل‌زدگان که ساز و کار اقتصادی و اجتماعی شهر و یا روستایشان از بین رفته است و معیشت را غیرممکن ساخته، برای ادامه زندگی به نخست شهر منطقه کوچ می‌کنند. حتی، بلایای خارج منطقه‌ای نظیر جنگ تحمیلی، نیز در مقاطع زمانی خاص، مهاجران بسیاری را وارد کرمان کرده است. مهاجرت افغانه نیز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر این بار تحمیلی به شهر کرمان می‌باشد.
- قوانین مسکن و زمین: الحاق محدوده‌هایی به شهر در طرح‌ها، توزیع و واگذاری زمین توسط دولت میان مردم، پروژه مسکن مهر، یارانه دادن به ساخت بزرگراه‌ها.
- توسعه حمل و نقل: توسعه در محور جاده‌ها، فرودگاه و راه‌آهن نیز از دیگر عوامل رشد در جهت خاص می‌باشد. این شیوه‌های حمل و نقل تماماً در سمت غرب شهر واقع گشته است، به همین دلیل بیشترین رشد در طی این نیم قرن اخیر متعلق به بخش غربی شهر بوده است. ولیکن، با تمهیدات اندیشیده شده برای این قسمت از، کنترل و برنامه‌ریزی بیشتری صورت گرفته است و نسبت به دیگر جهات جغرافیایی تعادل بیشتری در درجه پراکندگی و درجه آزادی دارد. با این حال، این شاخص‌ها هنوز هم مقادیر ضعیفی را برای جهت غربی به نمایش می‌گذارند.
- وجود موانع توسعه: این موانع باعث می‌گردد که انتخاب جهات توسعه با محدودیت روبرو گردد؛ وجود کوه‌های صاحب‌الزمان در شمال شرق شهر یکی از این موانع محسوب می‌گردد که در قسمت مباحث و یافته‌های این پژوهش، به خوبی نشان

داده شده است. در واقع درجه آزادی که نشان دهنده میزان انطباق رشد واقعی با رشد امید است، در جهت شمال شرقی مقدار کمینه‌ای را به خود اختصاص داده است که ناشی از مانع مذکور می‌باشد. در مقابل، عکس همین اتفاق برای بخش شرقی شهر صدق می‌کند، چرا که درجه آزادی به شدت بالاست و این ناشی از الحاق روستای سرآسیاب به عنوان بخشی از شهر کرمان می‌باشد. این رخداد کاملاً بر خلاف انتظارات از گسترش شهری می‌باشد، از این رو، درجه آزادی به شدت افزایش یافته است.

### پیشنهادها

در پایان، باید اذعان داشت که مدل‌های کمی به کار گرفته شده در این پژوهش برای نشان دادن کمی واقعیت‌هایی به کار گرفته شد که هر چند مدیران و محققان تا حدودی به صورت کیفی، به آن واقف هستند، اما تفسیر ابعاد آن به صورت کمی، طی دوره‌های مختلف، می‌تواند راهگشای برنامه‌ریزی‌های آتی باشد. آنچه مشهود است، بار تحمیلی هزینه‌های گزاف به شهر کرمان می‌باشد که منابع، زیرساخت‌ها و اقتصاد شهر کرمان را با چالش مواجه کرده است. از این رو، توسعه در آینده باید با برنامه‌ریزی و کنترل همه‌جانبه و دقیق‌تری صورت گیرد که در ادامه پیشنهاداتی در خصوص مدیریت و کنترل گسترش‌های آتی ارائه می‌گردد:

- کاربست راهکارهای رشد هوشمند شهری به منظور کنترل مؤثر گسترش بی‌رویه شهر و استفاده حداکثر از زمین‌های بایر داخل شهر در راستای توسعه درون‌زا؛
- بهره‌گیری از الگوی رشد فشرده شهری در برنامه‌ریزی‌های آتی برای توسعه شهر و همچنین پیاده‌سازی سیاست‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی؛
- حفاظت از اراضی کشاورزی و باغات اطراف محدوده شهر در برابر ساخت و سازهای بی‌رویه؛
- توزیع متناسب و کارآمد کاربری‌ها و ایجاد کاربری‌های مختلط؛
- توزیع متناسب جمعیت در بخش‌های مختلف شهر به منظور دستیابی به تراکم جمعیتی متعادل.

### قردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «تبیین نقش بلایای طبیعی و بشرساز در پراکنده‌روی نخست‌شهرها (نمونه موردی: شهر کرمان) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان است. بدینوسیله از حمایت‌های این دانشگاه قردانی به عمل می‌آید.

### منابع

احمدی، قادر؛ عزیزی، محمدمهدی؛ زبردست، اسفندیار (۱۳۸۹). *بررسی تطبیقی پراکنده‌رویی در سه شهر میانی ایران، نمونه موردی: شهرهای اردبیل، سنندج، کاشان*. نامه معماری و شهرسازی، دوفصلنامه دانشگاه هنر، دوره ۳، شماره ۵، صص ۲۵-۴۳.

زبردست، اسفندیار (۱۳۸۳). *اندازه شهر*. تهران: وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری.

زنگنه شهرکی، سعید؛ مجیدی هروی، آیتا؛ کاویانی، آزاده (۱۳۹۱). *تبیینی جامع بر علل و عوامل مؤثر بر پراکنش افقی شهرها، مطالعه موردی: شهر یزد*. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۲، شماره ۲۵، صص ۱۹۳-۱۷۳.



سرای، محمدحسین (۱۳۸۶). *الگوهای چندگانه توسعه فیزیکی شهر یزد*. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۲، شماره ۱، پیاپی ۸۴، صص ۷۵-۹۸.

سلیمانی، محمد؛ موحد، علی؛ زنگانه، احمد؛ صحرايیان، زهرا (۱۳۹۶). *شناخت و ارزیابی میزان پراکنده‌رویی شهری بر اساس مدل تحلیل عاملی (مطالعه موردی: محلات شهر شیراز)*. نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۸، شماره ۳۰، صص ۱-۱۸.

شکوئی، حسن (۱۳۸۰). *دیدگاه‌های نو در جغرافیای شهری ایران*. انتشارات سمت.

شیخی، محمد (۱۳۸۵). *مدیریت شهری و سکونت‌گاه‌های خودرو در منطقه کلانشهری تهران*. فصلنامه مدیریت شهری، شماره ۱۸، صص ۷۴-۸۷.

عباس‌زاده، غلامرضا (۱۳۸۴). *الگوسازی رشد کالبدی بافت‌های شهری در راستای توسعه پایدار (نمونه موردی: شهر مشهد)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد راهنما: دکتر محمدرحیم راهنما.

عزیزی، محمدمهدی؛ یارمحمدی، سیما (۱۳۹۳). *تأثیر تقسیمات کشوری جدید بر پراکنده‌رویی شهری (مطالعه موردی: شهر بجنورد)*. نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۹، شماره ۲، صص ۱۱۶-۱۰۳.

کوان، رابرت (۱۳۸۹). *فرهنگ شهرسازی*. ترجمه یلدا بلارک، تهران: پرهام نقش.

نظریان، اصغر؛ معصومی، محمدتقی؛ ملکی‌نظام‌آباد، رسول (۱۳۸۸). *شهر پایدار با تأکید بر استراتژی‌های مدیریت حمل و نقل شهری و کاهش ترافیک با نگاهی به کلانشهر تهران*. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۶، شماره ۳ (پیاپی ۲۳)، صص ۱۳-۳۰.

Al-shalabi, M., Pradhan, B., Billa, L., Mansor, S., Althuwaynee, O.F (2013). *Manifestation of Remote Sensing Data in Modeling Urban Sprawl Using the SLEUTH Model and Brute Force Calibration: A Case Study of Sana'a City, Yemen*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Indian Society of Remote Sensing, 41(2), 405-416. DOI: 10.1007/s12524-012-0215-6.

Alsharif, A.A.A., Pradhan, B (2014). *Urban Sprawl Analysis of Tripoli Metropolitan City (Libya) Using Remote Sensing Data and Multivariate Logistic Regression Model*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Indian Society of Remote Sensing, 42(1), 149-163. DOI: 10.1007/s12524-013-0299-7.

Angle, S., Parent, J., Civco, D (2007). *Urban Sprawl Metrics: An Analysis of Global Urban Expansion using GIS*. ASPRS Annual conference, Tampa, Florida, May 7-11. <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2011/01/0003.pdf>.

Batty, M (1974). *Spatial Entropy*. Geogr Anal, 6(1), 1-31.

Bhatta, B (2010). *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*. Advances in Geographic Information Science, DOI 10.1007/978-3-642-05299-6\_2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Bhatta, B., Saraswati, S., Bandyopadhyay, D (2010). *Quantifying the Degree-of-freedom, Degree-of-sprawl, and Degree-of-goodness of Urban Growth from Remote Sensing Data*. Applied Geography, 30(1), 96-111.
- Brueckner, J.K., and Kim, H (2003). *Urban Sprawl and Property Tax*. International Tax and Public Finance, 10(1), 38-50.
- Burchell, R.W., Shad, N.A., Listokin, D., Phillips, H., Downs, A., Seskin, S., Gall, M (1998). *The Costs of Sprawl-Revisited*. Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 39. National Academy of Sciences, Washington, DC. Caves, R. W. (2005). Encyclopedia of the City. New York: Routledge.
- Couch, C., Karecha, J (2006). *Controlling urban sprawl: Some experiences from Liverpool*. Cities, 23(5), 353-363. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2006.05.003>.
- Dieleman, F., Wegner, M (2004). *Compact City and Urban Sprawl*. Built Environment, 30(4), 59-67.
- Downs, A (1999). *Some Realities about Sprawl and Urban Decline*. Housing Policy Debate, 4(4), 955-974.
- Ewing, R., Pendall, R., Chen, D (2001). *Measuring Sprawl and Its Transportation Impacts*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1831), Pp 175-183. <https://doi.org/10.3141/1831-20>.
- Fulton, W., Pendall, R., Nguyen, M., Harrison, A (2001). *Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ across the U.S.* Washington, DC: Brookings Institution, Center on Urban and Metropolitan Policy. <http://www.public.asu.edu/~icprv/courses/hst598%20urban/new%20urban%20web/urban%20density%20study.pdf>.
- Galster, J., Hanson, R., Ratcliffe, M., Wolman, H., Coleman, S., Freihage, J (2001). *Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept*. Housing Policy Debate, 12(4), 15-28.
- Glaeser, E., Kahn, M., Chu, C (2001). *Job Sprawl: Employment Location in U.S. Metropolitan Areas*. Washington, DC: Brookings Institution, Center on Urban and Metropolitan Policy. <http://www.distributedworkplace.com/DW/Research/Job%20Sprawl%20-%20Employment%20Location%20in%20US%20Metropolitan%20Areas.pdf>.
- Gomez-Antonio, M., Hortas-Rico, M., Li, L (2016). *The Causes of Urban Sprawl in Spanish Urban Areas: A Spatial Approach*. Spatial Economic Analysis, Regional Studies Association, 11(2), 219-247.
- Gordon, P., Richardson, H.W (1997). *Are Compact Cities a Desirable Planning Goal?*. Journal of the American Planning Association, 63(1), 95-106.
- Gregory, D (2002). *Urban Sprawl Causes, Consequences and Policy Responses*. Washington D.C., Urban Institute Press.
- Habibi, S., Asadi, N (2011). *Causes, Results and Methods of Controlling Urban Sprawl*. International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, Procedia Engineering, 21, 133-141.
- Jat, K.M., 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, 26-43.
- JiHong, L., RongXu, Q., Le, X., JiaDong, X (2016). *A Gravity-Spatial Entropy Model for the Measurement of Urban Sprawl*. Earth Sciences, 59(1), 207-213. DOI: 10.1007/s11430-015-5192-5

- Kahn, M (2001). *Does Sprawl Reduce the Black/White Housing Consumption Gap?* Housing Policy Debate, 12(1), 7-25.
- Morollon, F.R., Marroquin, V.M.G., Rivero, J.L.P (2015). *Urban Sprawl in Spain: Differences among Cities and Causes*. European Planning Studies, Routledge, Taylor & Francis Group.
- Noor, N.M., Rosni, N.A (2013). *Determination of Spatial Factors in Measuring Urban Sprawl Using Remote Sensing and GIS*. ASEAN Conference on Environment-Behaviour Studies, Hanoi Architectural University, Hanoi, Vietnam, 19-22 March 2013. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 85, 502-512.
- Pendall, R (1999). *Do Land Use Control Cause Sprawl?*. The Environment and Planning, 26, 10-29.
- Sarzynski, A., Galster, G., Stack, L (2014). *Typologies of Sprawl: Investigating United States Metropolitan Land Use Patterns*. Urban Geography, 35(1), 48-70.
- Shannon, C.E., Weaver, W., Blahut, R.W., Hajek, B (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 117.
- Soja, E.W (2008). *The City and Spatial Justice*. Paper Presented at the Conference Spatial Justice, Nanterre, Paris, March 12-14.
- Southworth, F (2001). *On the Potential Impacts of Land Use Change Policies on Automobile Vehicle Miles of Travel*. Energy Policy, 29, 1271-1283.
- Vermont Forum on Sprawl (1999). *The Causes and Costs of Sprawl in Vermont Communities*. Burlington, VT, Vermont Forum on Sprawl.
- Yeh, A.G.O., Li, X (2001). *Measurement and Monitoring of Urban Sprawl in a Rapidly Growing Region Using Entropy*. Photogramm Eng Remote Sens, 67, 83-90.