

Investigation of Urban Sprawl Using Spatial Planning Models in Mashhad

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Rabbani Abolfazli Gh. * MA
Shafaghi S. ¹ PhD
Rahnama M.R. ² PhD

How to cite this article

Rabbani Abolfazli G, Shafaghi S, Rahnama M. R. Investigation of urban sprawl using spatial planning models in Mashhad. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(2): 90-107.

*Department of Geography and Urban Planning, Research Institute of Shakhes Pajouh, Isfahan, Iran.

¹Department of Geography and Urban Planning, Research Institute of Shakhes Pajouh, Isfahan, Iran.

²Department of Geography, Faculty of Letters and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Correspondence

Address: Department of Geography and Urban Planning, Research Institute of Shakhes Pajouh, Isfahan, Iran.
Phone: -
Fax: -
ghazaleh.rabbani@gmail.com

Article History

Received: December 27, 2017

Accepted: August 13, 2018

ePublished: September 17, 2018

ABSTRACT

Introduction and Background Urban sprawl is a key subject of interest among urban planners and policy-makers, which needs to measure and monitor in order to overcome its impacts. In fact, urban expansion, and sprawl modeling is an interdisciplinary field as it involves numerous scientific areas such as geographical information system (GIS), complexity theory, urban geography, and remote sensing.

Aims The present study aims to generate an urban sprawl model using spatial planning approaches in Mashhad city. This type of measurement of physical growth in urban districts of Mashhad city is essential to urban planners and decision-makers who immediately need updated database for planning and management purposes.

Methodology For this purpose, modified relative Shannon's entropy together with hierarchical clustering analysis was considered. Five geo-statistical variables were considered as independent input variables to measure sprawl model. Thus, to reveal probability relations between sprawl indices and aforementioned independent variables the correlation coefficients were used.

Conclusion The results revealed an analogous output for both relative entropy measurement and hierarchical clustering analysis through the sprawl model. On this basis, three municipality districts were categorized as prone zones of the study area in regard of sprawl expansion pattern. A direct and significant correlation between sprawl indices and informal settlements was estimated equal to 0.44 through municipality districts. Also, direct correlations ($R=0.32$ to 0.30) were observed between sprawl index and frequency of crimes and building parcel size. Contrarily, the result revealed a reverse correlation ($R=-0.50$) between sprawl index and land price index was explored based on each districts. It seems that the sprawl expansion in these districts influenced the growth of informal settlements and increase of crimes. This phenomenon could trigger negative environmental and socio-economical impacts in the study area. Hence, the urban management in Mashhad city should control the sprawl expansion in the prone districts by environmental prevention of land use change and land degradation.

Keywords Urban Sprawl Model; Shannon's Entropy; Hierarchical Clustering Analysis; Geo-Statistical Indices

CITATION LINKS

[Alsharif & Pradhan; 2014] Urban sprawl analysis of Tripoli ...; [Barnes, et al; 2001] Sprawl development: Its patterns ...; [Bhatta; 2009] Analysis of urban growth ...; [Burton; 2000] The compact city: Just or just ...; [Chatterjee, et al; 2016] Spatial modeling of urban ...; [Effat & El Shobaky; 2015] Modeling and mapping of urban ...; [Epstein, et al; 2002] Techniques for mapping suburban ...; [Ewing; 1994] Characteristics, causes, and effects ...; [Ewing; 1997] Is Los Angeles-style sprawl ...; [Fang, et al; 2007] Measuring urban sprawl in ...; [Farnahad Consultant Engineers; 2009] Building and development ...; [Galster, et al; 2001] Wrestling sprawl to the ground ...; [Gillham; 2002] The limitless city: A primer ...; [Helbich & Leitner; 2010] Postsuburban spatial evolution ...; [Jat, et al; 2006] Assessment of urban growth ...; [Ji, et al; 2006] Characterizing urban sprawl ...; [Joshi, et al; 2006] Simulating the effect of ...; [Malik & Abdalla; 2017] Agent-based modelling for urban ...; [Mansouri Daneshvar; 2015] Climatic impacts on hydrogeochemical ...; [Meteorological Center of Khorasan Razavi; 2017] Database of Mashhad Synoptic ...; [Mohammady & Delavar; 2016] Urban sprawl assessment and ...; [Pham, et al; 2011] A case study on the relation between ...; [Poelmans & Van Rompaey; 2009] Detecting and modelling spatial patterns ...; [Polidoro, et al; 2011] Environmental impacts of urban ...; [Rabbani, et al; 2018] Urban sprawl modeling using statistical ...; [Rafiee, et al; 2009] Simulating urban growth in Mashad ...; [Rahnama & Abbaszadeh; 2008] A comparative study measuring ...; [Rahnama & Javan; 2011] Studies on urban landuse planning ...; [Rui; 2013] Urban growth modeling based on ...; [Schneider & Woodcock; 2008] Compact, dispersed, fragmented ...; [Shahraki, et al; 2014] Spatiotemporal analysis of the physical ...; [Singh; 2014] Urban growth using shannon entropy ...; [Statistical Centre of Iran; 2011] Macro results of statistical ...; [Tewolde & Cabral; 2011] Urban sprawl analysis and modeling in ...; [Thomas; 1981] Information statistics in ...; [Yu & Ng; 2007] Spatial and temporal dynamics of urban ...; [Yuan; 2005] Land cover classification and change analysis ...

ارزیابی پراکنده‌رویی شهری با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی فضایی در مشهد

پذیرش نهایی: ۹۷/۵/۲۲

دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۶

DOI: 10.29252/geores.33.2.90

چکیده

مقدمه: پراکنده‌رویی شهری یک موضوع کلیدی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری شهری است که برای غلبه بر اثرات مخرب آن نیاز به اندازه‌گیری و نظارت مداوم دارد. در واقع، مدل‌سازی برای توسعه شهرها یک فعالیت بین‌رشته‌ای است؛ چراکه زمینه‌های متعدد علمی مانند GIS، جغرافیای شهری و مطالعات سنجش‌ازدور در آن دخالت می‌کنند.

اهداف: هدف این پژوهش، تولید یک مدل پراکنده‌رویی شهری با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی فضایی در شهر مشهد است. این نوع اندازه‌گیری توسعه فیزیکی مناطق شهری مشهد برای برنامه‌ریزان شهر و تصمیم‌گیران ضروری است که همواره نیازمند پایگاه داده‌های به‌هنگام شده برای برنامه‌ریزی و مقاصد مدیریت هستند.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، مدل اصلاح‌شده آنتروپی نسبی شانون همراه با روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی در نظر گرفته شده است. پنج شاخص زمین-آماري به‌عنوان متغیرهای مستقل ورودی برای اندازه‌گیری مدل پراکنده‌رویی در نظر گرفته شد. همچنین برای تعیین روابط احتمالی بین شاخص‌های پراکنده‌رویی و متغیرهای مستقل فوق از ضرایب همبستگی استفاده گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که روش‌های اندازه‌گیری پراکنده‌رویی شهری در مدل آنتروپی نسبی و تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی خروجی‌های مشابهی را ارائه می‌کنند. بر این اساس، سه منطقه شهرداری مشهد به‌عنوان مناطق مستعد توسعه و گسترش الگوی پراکنده‌رویی شهری طبقه‌بندی شدند. همبستگی مستقیم و معناداری نیز به میزان ۰/۴۴ بین شاخص‌های پراکنده‌رویی و اسکان غیررسمی در این مناطق محاسبه شد. همچنین، همبستگی‌های مستقیمی به میزان ۰/۳۰ تا ۰/۳۲ بین پراکنده‌رویی با فراوانی جرایم و اندازه قطعات ساختمانی مشاهده شد. برعکس همبستگی معکوسی به میزان ۰/۵۰- بین شاخص پراکنده‌رویی و شاخص قیمت زمین به دست آمد. به نظر می‌رسد گسترش کالبدی پراکنده شهری در این مناطق به رشد شهرک‌های غیررسمی و افزایش جرایم منجر شده است. این پدیده می‌تواند محرک اثرات منفی و مخرب زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی باشد. از این رو، مدیریت شهری در شهر مشهد باید گسترش پراکنده‌رویی در مناطق مستعد را با جلوگیری از تغییر کاربری و تخریب زمین کنترل کند.

واژگان کلیدی: مدل پراکنده‌رویی شهری، مدل اصلاح‌شده آنتروپی نسبی شانون، روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی،

شاخص‌های زمین-آماري

مقدمه

توسعه چشم گیر شهرنشینی، همراه با توسعه شهرها از نظر جمعیت و مساحت و به وجود آمدن کلان شهرها، باعث ایجاد بافت‌ها و ترکیب‌های مختلف شهری و عوامل ارتباطی و اقتصادی پیچیده‌ای شده‌اند که هرچند واجد بسیاری از مزایا و عوامل رفاهی گردیده‌اند، خود مشکلات و معضلاتی را نیز برای شهرنشینان دامن زده‌اند که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مسئله پراکنده رویی شهری اشاره نمود که موضوع مورد مطالعه در این پژوهش است. رشد و گسترش پراکنده یکی از اشکال رشد شهر است که بر اساس عوامل متعددی چون دگرگونی بنیان اقتصادی شهر و فراهم شدن امکان بورس‌بازی زمین، سیاست‌های سهل‌انگارانه شهرسازی و تصمیم‌گیری‌های ناگهانی برای توسعه شهری، قوانین و برنامه‌های ناکارآمد شهری شکل می‌گیرد. گسترش پراکنده شهر موجب پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی شده و برای شهرهایی که با آن دست در گریبان‌اند به مسئله‌ای بغرنج تبدیل شده است. پهنه‌های شهری معمولاً رشد سریع‌تری از جمعیت شهری را نشان می‌دهند (Tewolde & Cabral, 2011). با چنین رشد سریعی برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری ناچار به تحمیل فشارهای سنگین به اراضی و منابع قابل دسترس می‌شوند (Rafiee, Mahiny, Khorasani, Darvishsefat, & Danekar, 2009). آن‌ها معمولاً نیازمند روش‌ها و مدل‌های جدید و قابل اعتمادی برای هدایت توسعه پایدار در بستر تغییرات شتابان محیط شهری هستند (Pham, Yamaguchi, & Bui, 2011). مدل‌سازی برای توسعه شهرها نیز یک فعالیت بین‌رشته‌ای است؛ چراکه زمینه‌های متعدد علمی مانند GIS، جغرافیای شهری و مطالعات سنجش‌ازدور در آن دخالت می‌کنند (Rui, 2013). یکی از کارهای اساسی در مدل‌سازی توسعه شهر، موضوع اندازه‌گیری پراکندگی است. پراکنده‌روی شهری به‌عنوان یک مفهوم چندمتغیره است که معمولاً با گسترش غیرسازمان یافته، خودکار و کم تراکم در پهنه‌های شهری شناخته می‌شود (Yuan, Sawaya, Loeffelholz, & Bauer, 2005). آنتروپی شانون که به‌عنوان شاخصی از درجه فشردگی یا پراکندگی فضایی عمل می‌کند، می‌تواند به‌عنوان یک شاخص پراکنده‌روی، میزان گسترش شهرها را با بررسی اینکه آیا توسعه زمین شکل پراکنده یا فشرده‌ای دارد مشخص کند (Joshi, Guhathakurta, Konjevod, Crittenden, & Li, 2006). هدف اصلی تحقیق حاضر نیز ساخت یک مدل پراکنده‌روی شهری برای شهر مشهد است. اندازه‌گیری توسعه فیزیکی مناطق شهری برای برنامه‌ریزان شهر و تصمیم‌گیران ضروری است که همواره نیازمند پایگاه داده‌های به‌هنگام شده برای برنامه‌ریزی و مقاصد مدیریت هستند (Rabbani, Shafaqi, & Rahnama, 2018). در این مطالعه شبیه‌سازی فضایی مدل پراکنده‌روی شهری با استفاده از تکنولوژی GIS انجام می‌شود.

بیان مسئله

کلان‌شهر مشهد که دومین شهر پرجمعیت کشور و مرکز استان خراسان رضوی می‌باشد، در دهه‌های اخیر با افزایش سریع جمعیت و مساحت مواجه بوده است. جمعیت شهر مشهد طی ۶ دهه گذشته (۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵) از ۲۴۲،۰۰۰ نفر به ۳،۰۰۱،۲۰۰ نفر رسیده است. متوسط رشد سالانه جمعیت در این سال‌ها ۴/۵ درصد بوده است. عوامل باروری، مرگ‌ومیر و مهاجرت به‌طور همسو و گاهی ناهم‌سو، ساختارهای سنی و جنسی و نیز روند گسترش شهر همگی تأثیرات اساسی و عمده‌ای را بر جمعیت شهر به‌جا گذاشته‌اند (Rahnama & Javan, 2011).

از نظر کالبدی شهر مشهد در طی دو دهه اخیر دارای هر دو نوع توسعه پیوسته و ناپیوسته بوده است. با بررسی دوره‌های رشد تاریخی بافت شهری مشهد (Farnahad Consultant Engineers, 2009)، نیز می‌توان گفت که بافت شهری مشهد در طی دوره ۹۵-۵۵ از میزان ۶۷ کیلومتر مربع به ۳۵۰ کیلومتر مربع رشد و گسترش پیدا کرده و ۵/۲۲ برابر شده است. اما در همین مدت جمعیت شهر مشهد نیز از ۶۶۷۷۷۰ نفر به ۳۰۱۲۰۰ رسیده و ۴/۴۹ برابر شده است. این موضوع نشان‌دهنده این است که

رشد کالبدی شهر در این مدت بر رشد جمعیتی شهر پیشی گرفته است. همچنین بررسی دقیق‌تر جمعیت و مساحت در دو دوره اخیر سرشماری (۱۳۸۵ و ۱۳۹۵) حاکی از آن است که نرخ رشد جمعیت مشهد حدود ۲/۵ می‌باشد، در حالی که درصد نرخ رشد مساحت محدوده شهر در این دوره حدود ۷/۵ می‌باشد. در واقع در طی این ۱۰ سال مساحت محدوده شهر حدود ۳ برابر جمعیت شهر رشد داشته است که می‌توان گفت این افزایش نسبت رشد مساحت به جمعیت شهر بیش از نیاز واقعی شهر بوده که منجر به پراکنده‌رویی شهری شده است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده اشغال زمین‌های بزرگ توسط مناطق با جمعیت پایین هم باشد که البته خود علاوه بر عدم تعادل فضایی ممکن است معضلات و مخاطرات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی را هم به دنبال داشته باشد. از این رو ضرورت دارد تا این تحقیق بر روی میزان پراکنده‌رویی شهری تمرکز کند. سؤال اصلی تحقیق این است که آیا اندازه‌گیری میزان پراکنده‌رویی در مناطق شهری مشهد با به‌کارگیری شاخص‌های فضایی مرتبط با این مفهوم امکان‌پذیر است یا خیر؟. در این راستا تمامی اطلاعات و داده‌های خام و پردازش‌شده فضایی به‌دقت در محیط GIS مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در نهایت یک مدل مفهومی بر مبنای روش‌های آماری آنتروپی نسبی شانون و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی برای محاسبه پراکنده‌رویی فضایی شهر مشهد تولید می‌شود.

پیشینه تحقیق

بر اساس تعریفی از ایوینگ (۱۹۹۴ و ۱۹۹۷) پراکنده‌رویی به‌عنوان یک‌شکل از توسعه فضایی، عمدتاً در اراضی باز و روستایی در لبه مناطق کلان‌شهری یافت می‌شود که دارای تراکم‌های کم، گسترش پراکنده و بی‌نظم، قطعات تفکیک‌شده زمین و ... است (Ewing, 1997; Ewing, 1994). طبق پیشینه تحقیق، روش‌های آماری همراه با سنجش‌ازدور و GIS به‌طور فزاینده‌ای در بسیاری از مطالعات پراکنده‌رویی شهری استفاده‌شده است (Jat, Garg, & Khare, 2006). همچنین برای تعیین رابطه بین مناطق تحت توسعه پراکنده و پارامترهای مختلف توسعه شهری، از روش‌های آماری استفاده‌شده است. در سال‌های اخیر، تحلیل‌های مختلف در اندازه‌گیری کمی توسعه پراکنده شهر پیشرفت قابل‌توجهی داشته‌اند (Ji, Ma, Twibell, & Schneider & Woodcock, 2008; Singh, 2014; Yu & Ng, 2007; Underhill, 2006). در همین ارتباط یک رویکرد رایج، محاسبه تغییرات فضایی و زمانی پهنه‌های ساخته‌شده و تراکم جمعیت می‌باشد (Effat & El Shobaky, 2015). پهنه ساخته‌شده معمولاً به‌عنوان یک شاخص کلیدی برای اندازه‌گیری پراکنده‌رویی شهری در نظر گرفته می‌شود (Barnes, Morgan, & Roberge, & Lowe, 2001; Epstein, Payne, & Kramer, 2002). در همین زمینه شاخص‌سازی پراکنده‌رویی شهری شامل روش‌های مناسب کمی و آماری همچون آنتروپی شانون، شاخص لکه‌گذاری فضایی، معیارهای چشم‌انداز، خوشه‌بندی سلسله مراتبی، تجزیه و تحلیل رگرسیونی و ... است. آنتروپی شانون به‌عنوان یک روش پذیرفته در ارزیابی پراکنده‌رویی شهری در مطالعات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Bhatta, 2009). آنتروپی برای اندازه‌گیری وسعت پراکنده‌رویی شهری استفاده می‌شود که می‌تواند مستقیماً در محیط GIS به انجام برسد (Chatterjee, Chatterjee, & Khan, 2016). جمع‌بندی پیشینه مطالعات اندازه‌گیری پراکنده‌رویی در جهان نشان‌دهنده استفاده از متغیرهای مستقل مختلفی برای اندازه‌گیری ابعاد پراکنده‌رویی است که عمدتاً شامل تراکم ساختمانی و جمعیتی، تداوم و تمرکز فضایی، خوشه‌ای بودن یا مرکزیت فضایی، اختلاط و هم‌جواری کاربری‌ها می‌باشند. در اکثر تحقیقات الگوهای رشد و توسعه شهری در بازه‌های زمانی خاص مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی میزان رشد پراکنده شهر محاسبه می‌شوند.

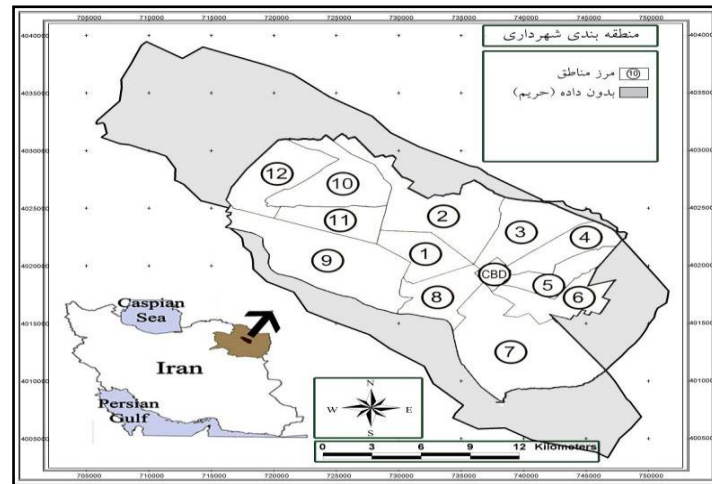
مبانی نظری

الگوی پراکنده‌رویی شهری ابتدا در کشورهای توسعه‌یافته به علت استفاده زیاد از اتومبیل شخصی و حومه‌نشینی به وجود آمد و امروزه در بسیاری از هسته‌های شهری کشورهای در حال توسعه دیده می‌شود (Shahraki, Kazemzadeh, & Badami, 2014). پراکنده‌رویی اصلاحی است که به معنای رشد سریع و پراکنده نواحی متروپل و حتی شهرهای کوچک است که در برخی موارد تا نواحی روستایی کشیده شده است (Rahnama & Abbaszadeh, 2008). گسترش پراکنده شهر که با عنوان گسترش پراکنده در حومه شهر نیز از آن یاد می‌شود، عبارت است از؛ بافت رشد یافته پراکنده‌شده یک شهر و حومه‌های آن بر روی اراضی روستایی اطراف یک ناحیه شهری که معمولاً در طول شاهراه‌ها و جاده‌های اصلی توسعه فیزیکی را از مراکز متراکم شهرها به مناطق حومه‌ای خارج از شهرها سرایت می‌دهد (Gillham, 2002). همچنین از منظر چشم‌انداز زیست‌محیطی پراکنده‌رویی به مفهوم از دست رفتن منابع طبیعی و زمین‌های حاصلخیز کشاورزی به نفع توسعه شهری تعریف می‌شود درحالی‌که می‌توان از زمین‌ها و فضاهای خالی موجود در داخل شهرها، شهرک‌ها و روستاها برای نیازهای رشد استفاده کرد (Pham et al., 2011). از این روست که محققانی همچون پولیدرو^۱ و همکاران (۲۰۱۱) پراکنده‌رویی شهری را دارای تبعات مخربی می‌داند که آثار آن بر اکولوژی شهری و منطقه‌ای شامل اتلاف منابع فضایی و اثرات منفی اقتصادی و اجتماعی و سلامتی ساکنان شهرها است (Polidoro, de Lollo, & Barros, 2011).

روش تحقیق

معرفی محدوده مطالعه

محدوده مورد مطالعه این تحقیق را شهر مشهد تشکیل می‌دهد. شهر مشهد به‌عنوان مرکزیت استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران و در محدوده ۳۶° ۳۷' تا ۳۶° ۵۸' عرض شمالی و ۵۹° ۲۶' تا ۵۹° ۴۴' طول شرقی قرار دارد و دارای جمعیتی در حدود ۳۰۰۱۲۰۰ نفر می‌باشد (Statistical Centre of Iran, 2011). مساحت حریم مصوب توسعه شهری و وسعت محدوده کالبدی ساخته‌شده شهر در طی سال ۱۳۹۵ به ترتیب ۵۶۵ و ۳۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد. بر این اساس تراکم جمعیتی محدوده و حریم شهر به ترتیب ۵۳ و ۸۶ نفر در هکتار می‌باشد. از نظر تحلیل توپوگرافی بر روی نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰، مرتفع‌ترین بخش شهر مشهد با ۱۳۴۰ متر ارتفاع در جنوب غربی آن (منطقه ۹ شهرداری) و پست‌ترین قسمت با کد ارتفاعی ۹۲۰ متر در شمال شرقی شهر (منطقه ۴ شهرداری) مشخص شده است و از نظر تحلیل زمین‌شناسی بر روی نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ هم، شهر مشهد بر روی رسوبات ضخیم لایه مخروط افکنه‌های طوق و بند گلستان شکل گرفته که حد شمالی آن را رودخانه کشف رود و حد جنوبی آن را هسته گرانی-باتولیتی از مجموعه کوهستانی بینالود تشکیل می‌دهد. طبق میانگین آماری ایستگاه سینوپتیک مشهد در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۷۶، آب‌وهوای شهر نیمه‌خشک با بارندگی سالانه حدود ۲۲۰ میلی‌متر و دمای متوسط هوا در حدود ۱۶ درجه سلسیوس می‌باشد (Meteorologica Center of Khorasan Razavi, 2017). با توجه به شعاع عملکردی مستقیم شهر مشهد، و متناسب با رشد فضایی شهر، محدوده خدماتی مناطق شهرداری تدقیق شده‌اند به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۵ شهر مشهد شامل ۱۳ منطقه شهرداری (شامل منطقه مرکزی ثامن) بوده که در این تحقیق به‌عنوان واحدهای مطالعاتی قلمداد شده (شکل ۱) و نتایج تحقیق به تفکیک آن‌ها ارائه می‌گردد.



شکل ۱- مرزبندی مناطق شهرداری مشهد

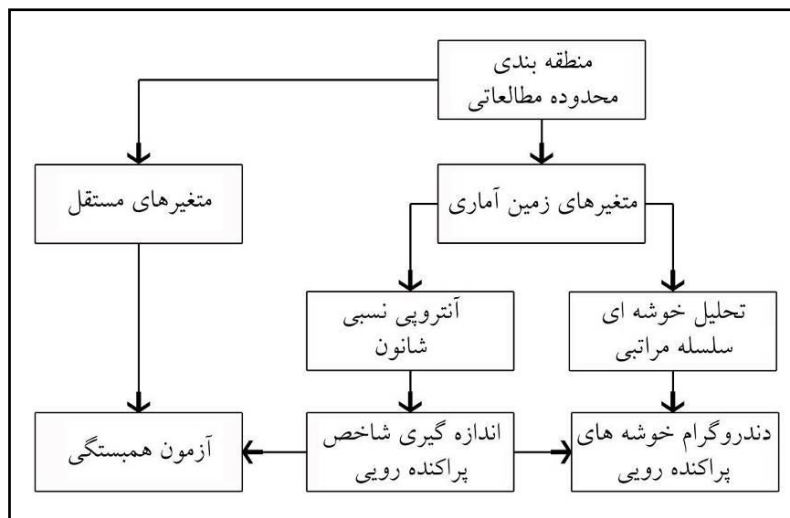
داده‌های خام آماری مربوط به مساحت منطقه، جمعیت، وسعت اراضی ساخته‌شده، وسعت فضاهای سبز و باز، وسعت پهنه‌های مسکونی و متوسط تعداد طبقات در هر کدام از این مناطق در جدول ۱ ارائه شده‌اند. طبق این جدول بیشترین جمعیت و بیشترین مساحت به ترتیب متعلق به مناطق شهرداری ۲ و ۷ می‌باشد. همچنین بیشترین وسعت اراضی ساخته‌شده و وسعت پهنه‌های کاربری مسکونی به ترتیب متعلق به مناطق شهرداری ۹ و ۱۰ می‌باشد. توزیع فضایی داده‌های فوق در هر منطقه نشان‌دهنده پراکنش آماری فضایی در شهر مشهد است. این واگرایی داده‌های زمین‌آمار می‌تواند نشان‌دهنده گسترش پراکنده فضایی شهری باشد که در این مقاله بیشتر مطالعه خواهد شد.

جدول ۱- داده‌های خام آماری مساحت منطقه، جمعیت، وسعت اراضی ساخته‌شده، وسعت فضاهای سبز و باز، وسعت پهنه‌های مسکونی و متوسط تعداد طبقات در هر کدام از مناطق شهرداری مشهد سال ۱۳۹۵

منطقه شهرداری	جمعیت	کل مساحت (هکتار)	اراضی ساخته‌شده (هکتار)	فضاهای باز و سبز (هکتار)	پهنه‌های مسکونی (هکتار)	متوسط تعداد طبقات
۱	۱۷۶۱۰۴	۱۴۷۸	۸۴۰	۶۳۸	۵۵۷	۳/۱
۲	۴۸۵۸۳۳	۳۶۳۱	۱۳۵۳	۲۲۷۸	۱۲۴	۲/۶
۳	۳۲۲۰۱۸	۲۱۰۴	۸۳۹	۱۲۶۵	۱۷۴	۲/۳
۴	۲۴۴۹۴۴	۱۳۷۷	۶۱۸	۷۵۹	۱۳۷	۲/۳
۵	۱۶۸۱۷۶	۱۱۳۳	۴۱۸	۷۱۵	۲۷۷	۲/۲
۶	۲۵۳۹۶۳	۱۵۹۸	۶۶۸	۹۳۰	۲۱۶	۲/۲
۷	۲۰۶۹۶۸	۵۱۸۸	۱۹۸۳	۳۲۰۵	۲۱۰	۱/۷
۸	۹۴۰۴۰	۱۶۰۳	۴۰۱	۱۲۰۲	۲۶۷	۲/۶
۹	۳۰۰۲۴۶	۴۶۸۰	۲۶۲۶	۲۰۵۴	۵۰۷	۳/۱
۱۰	۲۶۴۵۲۳	۲۴۸۱	۱۱۸۸	۱۲۹۳	۵۶۷	۲/۸
۱۱	۱۹۲۲۲۳	۱۴۲۸	۶۹۴	۷۳۴	۵۳۴	۳/۴
۱۲	۳۹۶۳۶	۲۱۴۹	۴۲۴	۱۷۲۵	۱۸۰	۳/۲
ثامن	۱۶۸۸۴	۳۵۴	۱۹۸	۱۵۶	۹۶	۳/۱

مدل مفهومی پراکنده‌رویی شهری

تاکنون مطالعات زیادی بر روی ابعاد فیزیکی پراکنده‌رویی صورت پذیرفته ولی اندازه‌گیری پراکنده‌رویی شهری با مجموعه‌ای از معیارهای فضایی و چندمتغیره، نوآوری تلقی می‌شود. لذا در این مطالعه تلاش می‌شود تا مدل پراکنده‌رویی شهری با استفاده از دو روش آماری آنتروپی نسبی شانون و تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی به‌عنوان روش‌های چند متغیره بررسی شود (شکل ۲). این مدل مفهومی بر مبنای روش‌های یادشده امکان تولید شاخص‌های پراکنده رویی جهت رابطه‌سازی بین معیارهای مختلف را نیز فراهم می‌کند.



شکل ۲- دیاگرامی از مدل‌سازی پراکنده‌رویی شهری

متغیرهای تحقیق نیز بر اساس پیشینه تحقیق، کارهای آماری انجام‌شده در این زمینه و اطلاعات قابل‌دسترس برای مطالعه شهر مشهد انتخاب شدند. بر این اساس، دو نوع متغیر برای مناطق شهرداری مورد مطالعه شامل متغیرهای زمین آماری و متغیرهای مستقل تولید می‌شود. متغیرهای زمین آماری به‌عنوان شاخص‌های ورودی در فرآیند مدل تولید می‌شوند. درحالی‌که متغیرهای مستقل برای محاسبه همبستگی‌های آماری استفاده می‌شوند. در این راستا، ضریب همبستگی بین شاخص‌های پراکنده‌رویی به خروجی مدل و متغیرهای مستقل برآورد می‌شود (Rabbani et al., 2018). شبیه‌سازی مدل پراکنده‌رویی برای ارائه یک تصویر فضایی نیز با استفاده از تکنیک GIS و مشابه نمونه کارهای موجود انجام می‌گردد (برای مثال رجوع کنید به: Malik & Abdalla, 2017; Mohammady & Delavar, 2016).

معرفی متغیرهای زمین آماری

پنج متغیر زمین آماری از سنجه‌های ورودی مدل پراکنده‌رویی بر مبنای مناطق شهرداری مشهد در نظر گرفته شدند که شامل شاخص تراکم جمعیت (PDI)، شاخص تراکم ساختمانی (CDI)، شاخص تراکم مسکونی (RDI)، شاخص تراکم افقی (HDI) و شاخص تراکم عمودی (VDI) می‌شوند (جدول ۲). طبق این جدول، تمام متغیرها را می‌توان در یک گروه اصلی از شاخص‌های پراکنده‌رویی به نام شاخص تراکم طبقه‌بندی کرد. شاخص تراکم محبوب‌ترین ابزار اندازه‌گیری برای پراکنده رویی به شمار می‌رود (Galster et al., 2001). انواع مختلفی از شاخص‌های تراکمی و راه‌های متفاوتی برای سنجش آن‌ها وجود دارد (Burton, 2000).

جدول ۲- متغیرهای زمین‌آماري مربوط به شاخص‌های تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، تراکم مسکونی، تراکم افقی و تراکم عمودی در هر کدام از مناطق شهرداری مشهد سال ۱۳۹۵

منطقه شهرداری	تراکم جمعیت (نفر در هکتار)	تراکم ساختمانی (درصد)	تراکم مسکونی (درصد)	تراکم افقی (درصد)	تراکم عمودی (درصد)
۱	۱۱۹	۱۳۲	۳۸	۵۷	۱۷۶
۲	۱۳۴	۵۹	۳	۳۷	۹۷
۳	۱۵۳	۶۶	۸	۴۰	۹۲
۴	۱۷۸	۸۱	۱۰	۴۵	۱۰۳
۵	۱۴۹	۵۸	۲۴	۳۷	۸۱
۶	۱۵۹	۷۲	۱۴	۴۲	۹۲
۷	۴۰	۶۲	۴	۳۸	۶۵
۸	۵۹	۳۳	۱۷	۲۵	۶۵
۹	۶۴	۱۲۸	۱۱	۵۶	۱۷۴
۱۰	۱۰۷	۹۲	۲۳	۴۸	۱۳۴
۱۱	۱۳۵	۹۵	۳۷	۴۹	۱۶۵
۱۲	۱۸	۲۵	۸	۲۰	۶۳
ثامن	۴۸	۱۲۷	۲۷	۵۶	۱۷۳

تراکم به‌عنوان نسبت بین مقدار یک داده خام و مساحت آن یا مساحت زمینه‌های دیگری که بر روی آن قرار دارد، تعریف می‌شود. معادلات شماره ۱ تا ۵ به ترتیب زیر به پنج متغیر و شاخص زمین‌آماري اشاره دارد:

$$PDI = \frac{P}{A_t} \quad (\text{معادله ۱})$$

در رابطه فوق P مقدار جمعیت است، A_t کل مساحت منطقه به واحد هکتار است و PDI شاخص تراکم جمعیت به واحد نفربر هکتار برای هر منطقه شهرداری است.

$$CDI = \frac{A_b \times 100}{A_o} \quad (\text{معادله ۲})$$

در رابطه فوق A_b مساحت اراضی ساخته‌شده به واحد هکتار است، A_o مساحت فضاهای سبز و باز به واحد هکتار است و CDI شاخص تراکم ساختمانی به واحد درصد برای هر منطقه شهرداری است.

$$RDI = \frac{A_r \times 100}{A_t} \quad (\text{معادله ۳})$$

در رابطه فوق A_r مساحت اراضی کاربری مسکونی به واحد هکتار است، A_t کل مساحت منطقه به واحد هکتار است و RDI شاخص تراکم مسکونی به واحد درصد برای هر منطقه شهرداری است.

$$HDI = \frac{A_b \times 100}{A_t} \quad (\text{معادله ۴})$$

در رابطه فوق A_b مساحت اراضی ساخته‌شده به واحد هکتار است، A_t کل مساحت منطقه به واحد هکتار است و HDI شاخص تراکم افقی به واحد درصد برای هر منطقه شهرداری است.

$$VDI = \frac{F \times A_b \times 100}{A_t} \quad (\text{معادله ۵})$$

در رابطه فوق F میانگین منطقه‌ای تعداد طبقات ساختمانی است، A_b مساحت اراضی ساخته شده به واحد هکتار است، A_t کل مساحت منطقه به واحد هکتار است و VDI شاخص تراکم عمودی به واحد درصد برای هر منطقه شهرداری است. مقادیر بالاتر برای متغیرهای مذکور به طور مستقیم تأثیر منفی بر گسترش و پراکنده‌رویی شهری را نشان می‌دهد. از این رو، جهت منفی آن‌ها بر گسترش پراکنده فضای شهری ضرورتاً در روش محاسبه مدل پراکنده‌رویی دخالت داده می‌شود.

روش آنتروپی شانون: بر طبق ادبیات موضوعی، روش آنتروپی معیار قابل اعتماد و قوی‌تری نسبت به دیگر شاخص‌های اندازه‌گیری در دسترس است. آنتروپی شانون (E) را می‌توان برای اندازه‌گیری میزان فشردگی فضایی یا پراکنندگی یک متغیر جغرافیایی (x_i) در بین مناطق مختلف مورد استفاده قرارداد (Thomas, 1981). ضریب آنتروپی شانون (E) در شکل معمول آن بر مبنای معادله ۶ برآورد می‌شود:

$$E = -\sum_{i=1}^n P_i \times \log_e P_i \quad (\text{معادله ۶})$$

در رابطه فوق P_i سهم نسبی از پدیده‌های است که در منطقه شماره i رخ می‌دهد و توسط معادله شماره ۷ محاسبه می‌شود، x_i ارزش مشاهده شده از پدیده‌های رخ داده در منطقه شماره i است و n نیز تعداد کل مناطق شهرداری است که در تحقیق حاضر معادل ۱۳ می‌باشد.

$$P_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (\text{معادله ۷})$$

آنتروپی نسبی می‌تواند برای مقیاس‌گذاری مقادیر آنتروپی از ۰ تا ۱ محاسبه شود. بر اساس روش کار توماس (۱۹۸۱)، آنتروپی نسبی (H_n) برای n تعداد از مناطق جغرافیایی می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود (Thomas, 1981):

$$H_n = \frac{E}{\log_e(n)} \quad (\text{معادله ۸})$$

در رابطه فوق $\log_e(n)$ به کران بالای آنتروپی مربوط می‌شود، E و H_n هم به ترتیب شامل ضریب آنتروپی شانون و آنتروپی نسبی می‌باشند. با این حال، تحقیق حاضر با هدف تعیین میزان فشردگی فضایی یا پراکنندگی مناطق جغرافیایی بر اساس چندین متغیر زمین‌آماري است. از این رو، شاخص آنتروپی نسبی اصلاح شده (H_k) به صورت معادله زیر معرفی می‌شود:

$$H_k = \left[-\sum_{i=1}^k P_i \times \log_e P_i \right] / \log_e(k) \quad (\text{معادله ۹})$$

در رابطه فوق k تعداد کل متغیرهاست (در تحقیق حاضر معادل ۵) و $\log_e(k)$ به کران بالای آنتروپی مربوط می‌شود که در تحقیق حاضر معادل ۱/۶۰۹ محاسبه می‌شود. در این تحقیق، ۰/۵ (برای هر منطقه) به عنوان حد آستانه آنتروپی محسوب می‌شود. با توجه به تأثیر مستقیم و منفی متغیرهای اعمال شده، مقادیر کمتر از ۰/۵ به طور کلی به عنوان نشانگر پراکنده‌رویی شناخته می‌شوند. در مقابل، مقادیر بالاتر از آنتروپی نشان‌دهنده وقوع فشردگی بافت شهری هستند. در مطالعه حاضر، شاخص پراکنده‌رویی به عنوان مقادیر معکوس آنتروپی نسبی تعریف می‌شود.

تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی: تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA) و تجزیه و تحلیل عوامل اصلی (PCA) برای خوشه‌بندی اطلاعات جغرافیایی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mansouri Daneshvar, 2015). در این تحقیق، ماتریس مجاورت با استفاده از ضریب همبستگی بر اساس اندازه‌گیری متقابل مربع فواصل اقلیدسی در نرم‌افزار SPSS برای خوشه‌بندی مناطق شهرداری استفاده شده است. همچنین برای خوشه سلسله مراتبی، اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی برای مشاهدات و روش وارد^۱ برای قانون اتصال بین متغیرها استفاده شد. در میان روش‌های مختلفی که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

سلسله مراتبی اجرا شود، روش وارد گروه‌بندی متمایزی را برای داده‌های مورد استفاده فراهم می‌کند. نهایتاً در مطالعه حاضر، یک دندروگرام خوشه‌ای^۱ برای کنترل نتایج آنتروپی نسبی اصلاح شده تولید گردید.

معرفی متغیرهای مستقل تحقیق

در این تحقیق، پنج متغیر مستقل شامل سکونتگاه‌های غیررسمی، اندازه قطعات ساختمان، سرانه مالکیت خودرو، قیمت زمین و تعداد جرایم رخ داده بر اساس سیزده منطقه شهرداری تولید شد. متغیرهای مستقل فوق در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. روش ضرایب همبستگی: در مدل این تحقیق، هر دو روش آنتروپی شانون و روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای محاسبه ویژگی‌های پراکندگی یا فشردگی بافت شهری نشان‌دهنده درجه پراکنده‌روی شهری هستند. با این وجود، تحقیقات آماری بیشتر به منظور پشتیبانی از مقایسه نسبی بین میزان شاخص پراکنده‌روی و متغیرهای مستقل انجام می‌شود. بر اساس نمودار مدل در شکل ۲، برای تعیین روابط احتمالی بین شاخص‌های پراکنده‌روی و متغیرهای مستقل فوق از ضرایب همبستگی استفاده شده است. این روابط احتمالی می‌تواند برای تعیین چشم‌انداز پراکنده‌روی شهری در آینده مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۳- متغیرهای مستقل سکونتگاه‌های غیررسمی، اندازه قطعات ساختمان، سرانه مالکیت خودرو،

قیمت زمین، و تعداد جرایم رخ داده در هر کدام از مناطق شهرداری مشهد سال ۱۳۹۵

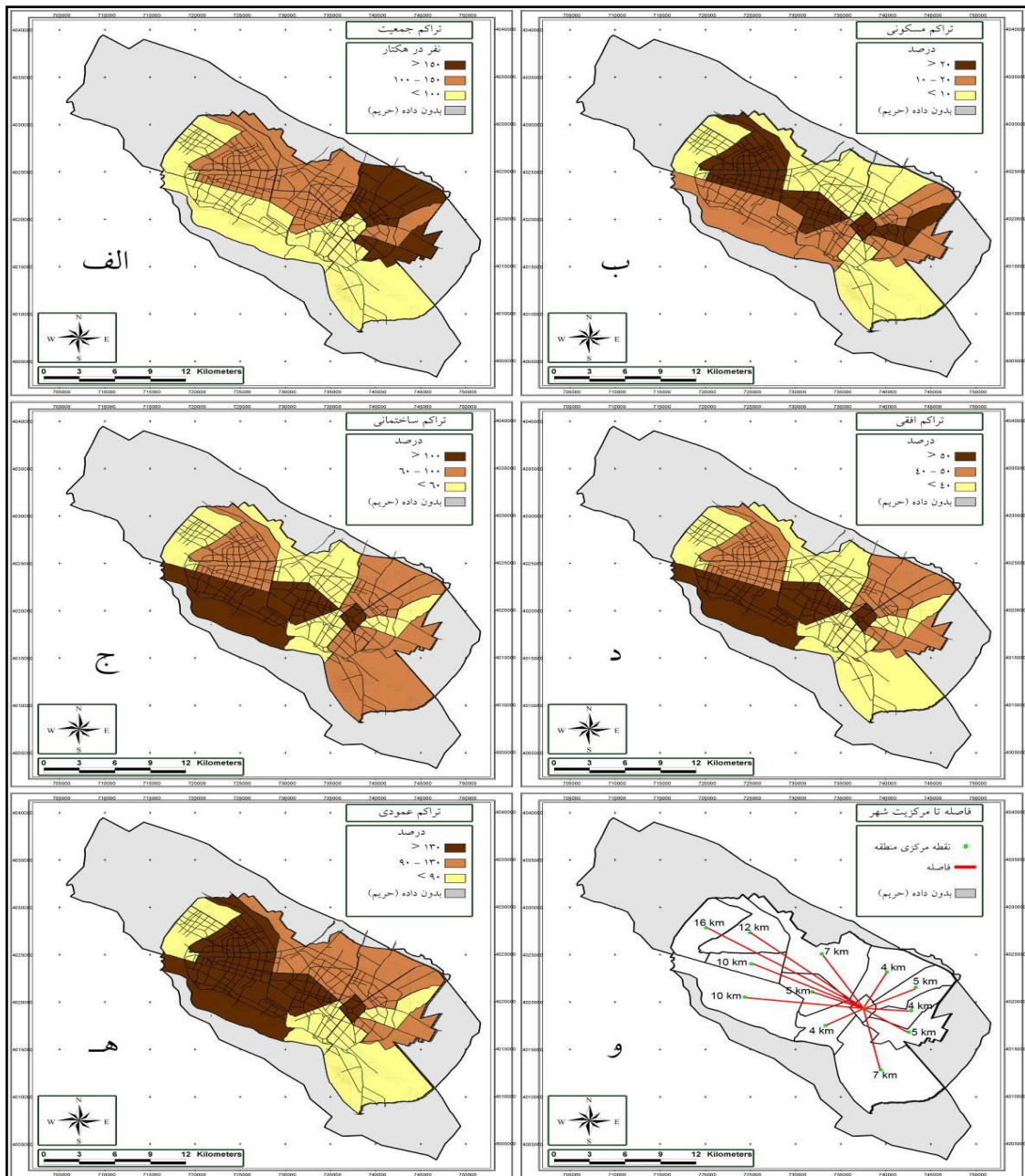
منطقه شهرداری	سکونتگاه‌های غیررسمی (هکتار)	قطعات ساختمانی (مترمربع)	سرانه مالکیت خودرو (بی‌بعد)	قیمت زمین (دلار برای مترمربع)	تعداد جرایم (بی‌بعد)
۱	۰	۲۹۵	۰/۸۷۸	۵۰۰۰	۱۶۴۰
۲	۳۹۵	۲۴۰	۰/۵۹۵	۲۰۰۰	۳۲۳۰
۳	۹۷۵	۲۰۵	۰/۱۲۳	۱۵۰۰	۱۹۰۵
۴	۴۷۰	۱۷۰	۰/۲۲۵	۱۵۰۰	۱۸۳۰
۵	۵۱۱	۲۷۰	۰/۲۳۴	۱۰۰۰	۵۴۵
۶	۷۰۳	۲۵۵	۰/۳۱۵	۱۰۰۰	۱۳۲۵
۷	۵۲۲	۷۰۵	۰/۷۳۹	۲۵۰۰	۲۶۹۵
۸	۳۰	۴۹۵	۰/۴۵۹	۴۵۰۰	۸۶۵
۹	۰	۸۵۰	۰/۴۶۳	۴۵۰۰	۹۷۵
۱۰	۱۰۸	۴۵۰	۰/۲۱۱	۲۰۰۰	۱۷۳۰
۱۱	۰	۳۷۵	۰/۴۷۷	۳۵۰۰	۳۰۰
۱۲	۰	۱۱۱۰	۰/۴۲۲	۱۰۰۰	۱۲۰۰
ثامن	۰	۱۸۰	۰/۳۴۵	۵۵۰۰	۹۹۵

بحث و نتایج

برآورد شاخص‌های زمین‌آماري

بر اساس معادلات ۱ تا ۵، پنج شاخص زمین‌آماري مورد نیاز تهیه شده و در شکل ۳ ارائه گردیده‌اند. در این راستا، تمام شاخص‌ها در قالب نقشه‌هایی بارانمای سه کلاسه طبقه‌بندی شدند. نقشه شاخص تراکم جمعیت نشان داد که تراکم‌های کم جمعیت همراه با قابلیت توسعه پراکنده‌تر متعلق به مناطق شهرداری ۷، ۸، ۹ و ۱۲ است (شکل ۳- الف). نقشه شاخص تراکم ساختمانی نشان داد که تراکم کم ساختمانی به نسبت وجود اراضی بایر وسیع متعلق به مناطق شهرداری ۲، ۵، ۸ و ۱۲ است (شکل ۳- ب). نقشه شاخص تراکم مسکونی نشان داد که تراکم کم کاربری مسکونی همراه با قابلیت توسعه پراکنده‌تر متعلق به

مناطق شهرداری ۲، ۳، ۷ و ۱۲ است (شکل ۳-ج). نقشه شاخص تراکم افقی نشان داد که تراکم‌های پایین مساحت اراضی ساخته‌شده نسبت به کل وسعت اراضی شهری متعلق به مناطق شهرداری ۲، ۵، ۷، ۸ و ۱۲ است (شکل ۳-د). نقشه شاخص تراکم عمودی هم نشان داد که تراکم‌های پایین تعداد طبقات اراضی ساخته‌شده نسبت به کل وسعت اراضی شهری متعلق به مناطق شهرداری ۲، ۵، ۷، ۸ و ۱۲ دارای بیشترین پتانسیل رشد پراکنده در محدوده مطالعاتی می‌باشند.



شکل ۳- توزیع فضایی شاخص‌های پراکنده‌رویی: الف) شاخص تراکم جمعیت، ب) شاخص تراکم ساختمانی، ج) شاخص تراکم مسکونی، د) شاخص تراکم افقی، ه) شاخص تراکم عمودی، و) فاصله تا هسته مرکزی معمولاً مرکز‌گریزی و فاصله فضایی از هسته مرکزی شهر، نیز یک مفهوم اساسی در شاخص سازی پراکنده‌رویی شهری به شمار می‌رود (Galster et al., 2001). از این‌رو، فاصله فضایی نقاط مرکزی هر کدام از مناطق تا منطقه مرکزی مشهد (منطقه

ثامن) مورد محاسبه قرار گرفتند. بر این اساس، فاصله‌های برآورد شده برای مناطق ۲، ۷، ۸ و ۱۲ (که در بالا به‌عنوان دارای بیشترین پتانسیل رشد پراکنده مشخص شدند) نسبت به منطقه ثامن به ترتیب ۷، ۷، ۴ و ۱۶ کیلومتر ثبت شدند. در مقایسه با فاصله‌های مناطق دیگر نسبت به منطقه ثامن معلوم می‌شود که هیچ ارتباط و روند معناداری در این زمینه وجود ندارد (شکل ۳-و). لذا شاخص مرکز‌گرایی در شهر مشهد برای اندازه‌گیری پراکنده‌رویی شهری مناسب نیست.

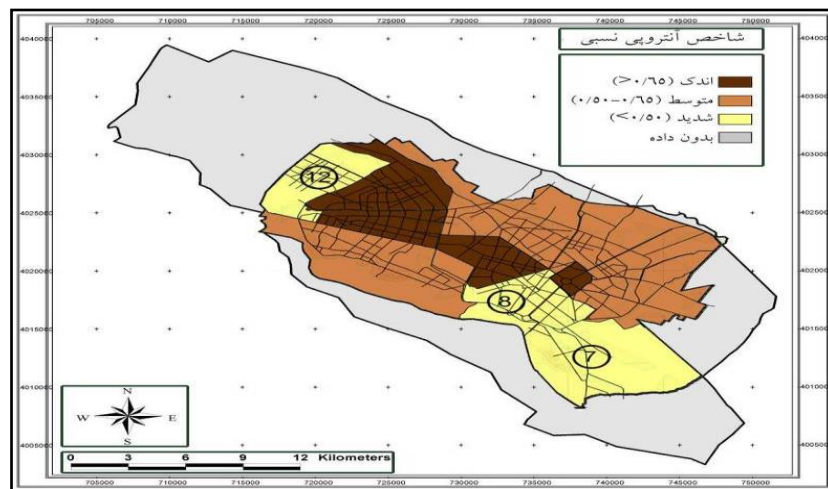
اندازه‌گیری شاخص پراکنده‌رویی شهری

بر اساس معادله ۹، برآورد آماری اجزای آنتروپی شانون برای هر کدام از مناطق شهرداری مشهد در جدول ۴ محاسبه شده است.

جدول ۴ - ارزیابی آماری اجزای آنتروپی شانون در هر کدام از مناطق شهرداری مشهد

تراکم جمعیت		تراکم ساختمانی		تراکم مسکونی		تراکم اقلی		تراکم عمودی		آنتروپی	منطقه
Pi	Pi×Loge Pi	Pi	Pi×Loge Pi	Pi	Pi×Loge Pi	Pi	Pi×Loge Pi	Pi	Pi×Loge Pi	نسبی شانون	شهرداری
۰/۰۹	-۰/۲۱	۰/۱۳	-۰/۲۶	۰/۱۷	-۰/۳۰	۰/۱۰	-۰/۲۳	۰/۱۲	-۰/۲۵	۰/۷۸۶	۱
۰/۱۰	-۰/۲۳	۰/۰۶	-۰/۱۶	۰/۰۱	-۰/۰۶	۰/۰۷	-۰/۱۸	۰/۰۷	-۰/۱۸	۰/۵۰۳	۲
۰/۱۱	-۰/۲۵	۰/۰۶	-۰/۱۸	۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۰۷	-۰/۱۹	۰/۰۶	-۰/۱۷	۰/۵۶۲	۳
۰/۱۳	-۰/۲۷	۰/۰۸	-۰/۲۰	۰/۰۴	-۰/۱۴	۰/۰۸	-۰/۲۰	۰/۰۷	-۰/۱۹	۰/۶۱۸	۴
۰/۱۱	-۰/۲۴	۰/۰۶	-۰/۱۶	۰/۱۱	-۰/۲۴	۰/۰۷	-۰/۱۸	۰/۰۵	-۰/۱۶	۰/۶۱۱	۵
۰/۱۲	-۰/۲۵	۰/۰۷	-۰/۱۹	۰/۰۶	-۰/۱۷	۰/۰۸	-۰/۲۰	۰/۰۶	-۰/۱۷	۰/۶۰۸	۶
۰/۰۳	-۰/۱۰	۰/۰۶	-۰/۱۷	۰/۰۲	-۰/۰۷	۰/۰۷	-۰/۱۸	۰/۰۴	-۰/۱۴	۰/۴۱۴	۷
۰/۰۴	-۰/۱۴	۰/۰۳	-۰/۱۱	۰/۰۸	-۰/۲۰	۰/۰۵	-۰/۱۴	۰/۰۴	-۰/۱۴	۰/۴۴۷	۸
۰/۰۵	-۰/۱۴	۰/۱۲	-۰/۲۶	۰/۰۵	-۰/۱۵	۰/۱۰	-۰/۲۳	۰/۱۲	-۰/۲۵	۰/۶۴۳	۹
۰/۰۸	-۰/۲۰	۰/۰۹	-۰/۲۲	۰/۱۰	-۰/۲۳	۰/۰۹	-۰/۲۱	۰/۰۹	-۰/۲۲	۰/۶۷۱	۱۰
۰/۱۰	-۰/۲۳	۰/۰۹	-۰/۲۲	۰/۱۷	-۰/۳۰	۰/۰۹	-۰/۲۲	۰/۱۱	-۰/۲۴	۰/۷۵۰	۱۱
۰/۰۱	-۰/۰۶	۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۰۴	-۰/۱۳	۰/۳۲۴	۱۲
۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۱۲	-۰/۲۶	۰/۱۲	-۰/۲۶	۰/۱۰	-۰/۲۳	۰/۱۲	-۰/۲۵	۰/۶۹۲	ثامن

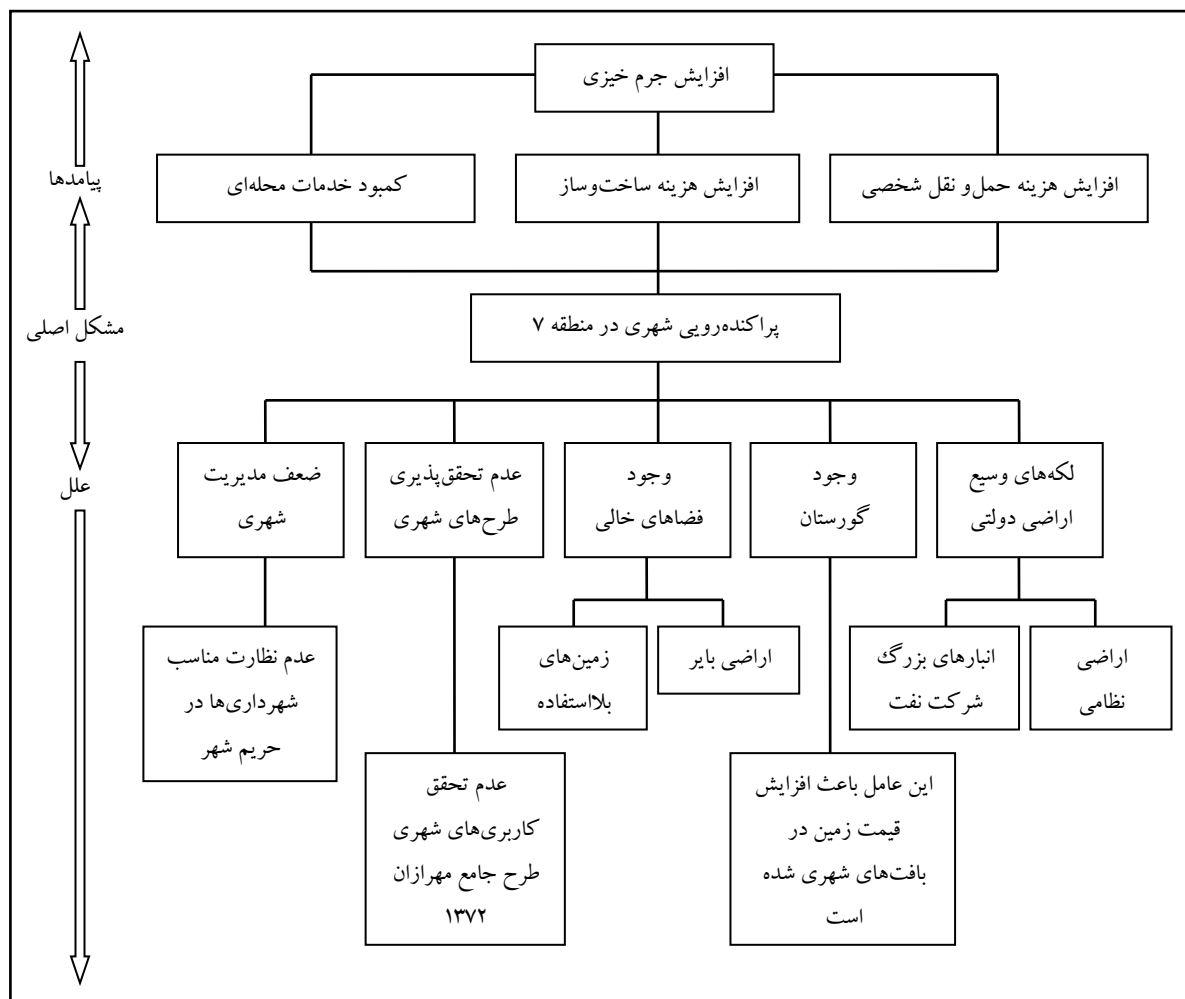
آنتروپی نسبی اصلاح‌شده در این جدول نشان می‌دهد که بیشترین پراکنده‌رویی شهر در مناطق ۱۲، ۷ و ۸ به ترتیب با مقادیر ۰/۳۲۴، ۰/۴۱۴ و ۰/۴۴۷ مشاهده می‌شود. این نتایج در شکل ۴ نیز بازتاب فضایی یافته است.



شکل ۴- توزیع شاخص آنتروپی نسبی در سه کلاس بر اساس هر منطقه شهرداری مشهد

(شماره‌ها مربوط به مناطق دارای بیشترین حد پراکنده‌رویی است)

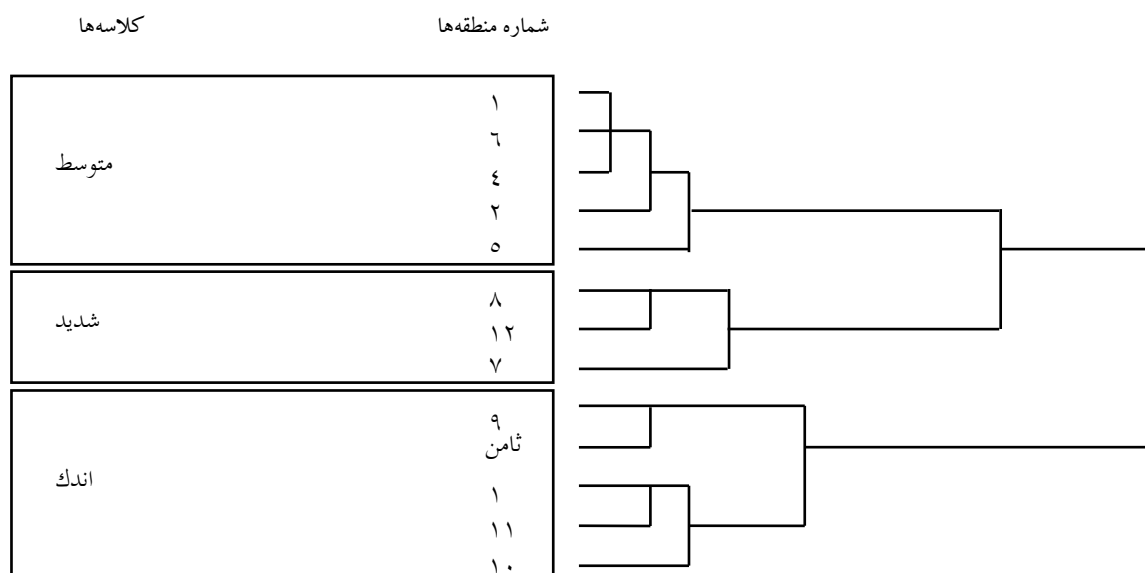
بر این اساس مناطق یادشده در بخش‌های شمال غربی و جنوب شرقی شهر مشهد واقع شده‌اند. بر اساس مستندات قانونی برنامه‌ریزی شهری مشهد، منطقه شمال غربی مشهد، محدوده مناسب برای توسعه شهری در آینده است. از این رو گسترش شهرنشینی و توسعه پراکنده مشاهده شده در منطقه ۱۲ را می‌توان به حساب روند طبیعی توسعه فیزیکی شهر مشهد گذاشت. اما در مقابل مناطق ۷ و ۸ در جنوب شرقی مشهد که شامل عرصه‌های طبیعی منتهی به ارتفاعات جنوبی مشهد به علاوه عرصه فرودگاه بین‌المللی مشهد را تشکیل می‌دهد، عملاً هیچ سهمی در توسعه شهری آینده شهر ندارند. از این رو، این مناطق به خصوص منطقه ۷ شهرداری باید از اثرات مخرب کالبدی، محیطی و اجتماعی پراکنده‌روی محافظت شود. طبق بررسی‌های انجام شده مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنده‌روی شهری و مشکلات محیطی و اجتماعی ناشی از آن در منطقه ۷ به شرح زیر می‌باشند: ۱- واحدهای پراکنده با کاربری‌های انبار (انبارهای شرکت نفت)، فرودگاه، کارگاه و کارخانه‌های صنعتی و تعمیرگاه‌های اتومبیل سنگین، ۲- اراضی صنعتی و کارگاهی فعال مقیاس شهر در ابتدای ورودی شهر، ۳- وجود اراضی وسیع نظامی و ارتشی درون منطقه، ۴- کمبود فضاها و محورهای فعال در سطح محلات مسکونی، ۵- هم‌جواری بافت‌های مسکونی (شهرک ابوزر، طلوع شهرک سیدی) با اراضی نظامی، ۶- ترکیب نامناسب فعالیت‌های گورستان هم‌جواری بافت مسکونی روستای طرق، ۷- هم‌جواری بافت مسکونی شهرک عسگریه با انبارهای شرکت نفت و فرودگاه، ۸- وجود کاربری‌های محدودکننده توسعه با قطعات درشت‌دانه. در همین راستا درخت‌واره مشکلات پراکنده‌روی این منطقه نیز در قالب شکل ۵ تولید گردید.



شکل ۵- درخت‌واره مشکلات پراکنده‌روی منطقه ۷ شهرداری مشهد

در ادامه این تحقیق بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای HCA یک دندروگرام خوشه‌ای برای کنترل نتایج شاخص آنتروپی در نظر گرفته شد. برای این منظور، کلاسه‌های پراکنده‌رویی در سه خوشه توسعه پراکنده شدید، متوسط و اندک در قالب دندروگرام شکل ۶ تولید شد.

همانند نتایج آنتروپی نسبی، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی هم نشان داد که مناطق شهرداری ۷، ۸ و ۱۲ در خوشه پراکنده‌رویی شدید قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج، تحلیل خوشه‌ای و روش آنتروپی اصلاح‌شده، طبقه‌بندی مشابهی از درجات توسعه پراکنده شهری را نشان می‌دهند. لذا به نظر می‌رسد این دو روش و یا یکی از آن‌ها (ترجیحاً روش آنتروپی شانون) قابلیت مدل‌سازی پراکنده‌رویی شهری را به‌تنهایی در مناطق مطالعاتی دیگر دارند. جات و همکاران (۲۰۰۸) هم پیش‌ازاین توضیح داده‌اند که نتایج تجزیه و تحلیل‌های مختلف بر روی پراکنده‌رویی شهری مانند تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره شاخص لکه‌گذاری فضایی، معیارهای چشم‌انداز، تراکم اراضی ساخته‌شده، و سنجش‌ازدور تصاویر ماهواره‌ای به‌خوبی با مقادیر شاخص آنتروپی شانون هم‌خوانی دارند (Jat et al., 2006). لذا توصیه می‌شود که حداقل از روش آنتروپی شانون در ساختمان مدل‌های پراکنده‌رویی شهری استفاده گردد.



شکل ۶- دندروگرام خوشه‌بندی مناطق شهرداری مبتنی بر اندازه‌گیری شاخص پراکنده‌رویی شهری در روش HCA (استخراج‌شده از نرم‌افزار SPSS)

برآورد همبستگی‌های آماری

در این مطالعه، ضریب همبستگی اسپیرمن بین مقادیر شاخص پراکنده‌رویی و متغیرهای مستقل سکونتگاه‌های غیررسمی، اندازه قطعات ساختمانی، سرانه مالکیت خودرو، قیمت زمین، و تعداد جرایم رخ داده بر اساس سیزده منطقه شهرداری مشهد به انجام رسیده است. همبستگی‌های آماری در جدول ۵ ارائه شده است و بر اساس آن، همبستگی مستقیم و معناداری به میزان ۰/۴۴ بین شاخص پراکنده‌رویی و اسکان غیررسمی در هر منطقه مشخص شد. یعنی جاهایی دچار پراکنده‌رویی شهری شده‌اند که قبلاً سکونتگاه‌های غیررسمی و حاشیه‌نشین در آن‌ها مستقر شده‌اند. همچنین، همبستگی‌های مستقیمی به میزان ۰/۳۰ تا ۰/۳۲ بین شاخص پراکنده‌رویی با فراوانی جرایم و اندازه قطعات ساختمانی مشاهده شد. یعنی هر جا که دچار پراکنده‌رویی شهری شده دانه‌بندی قطعات ساختمانی عمدتاً درشت‌دانه بوده و همین‌طور میزان جرایم بیشتری نیز گزارش شده است. برعکس، نتایج نشان داد که همبستگی معکوسی به میزان ۰/۵۰- بین شاخص پراکنده‌رویی و شاخص قیمت زمین بر اساس هر منطقه مورد مطالعه

وجود دارد. یعنی هر جا که دچار پراکنده‌رویی شهری شده قیمت زمین شهری نسبت به سایر مناطق شهر پایین تر بوده است. در نهایت بین شاخص پراکنده‌رویی و شاخص مالکیت خودرو همبستگی معنادای مشاهده نشد. شاید به این دلیل که امروزه دسترسی به خودرو عاملی اساسی در جهت‌گیری توسعه‌های شهری به شمار نمی‌رود.

جدول ۵- همبستگی بین شاخص پراکنده‌رویی نسبی و ویژگی‌های پنج متغیر مستقل سکونتگاه‌های غیررسمی، اندازه قطعات ساختمان، سرانه مالکیت خودرو، قیمت زمین و تعداد جرایم رخ داده در مشهد

متغیر	آزمون	سکونتگاه‌های غیررسمی	اندازه قطعات ساختمان	سرانه مالکیت خودرو	قیمت زمین	تعداد جرایم
شاخص پراکنده‌رویی	همبستگی (R)	۰/۴۴	۰/۳۰	-۰/۰۳	-۰/۵۰	۰/۳۲
	R2	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۱۰
	معناداری	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۹۲	۰/۰۸	۰/۲۸

یافته‌های تحقیق

پراکنده‌رویی شهری به گسترش پراکنده و غیر برنامه‌ریزی شده مناطق شهری اشاره دارد که به طیف وسیعی از مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی و اقتصادی در کشورهای در حال توسعه منجر شده است. گیلهام^۱ (۲۰۰۲) و هلیخ و لایتنر^۲ (۲۰۱۰) گزارش داده‌اند که پراکنده‌رویی شهری که معمولاً در حاشیه مناطق شهری اتفاق می‌افتد. با توسعه پراکنده تجاری و صنعتی، گسترش کنترل نشده شهری بافت شهری و کیفیت پایین دسترسی‌ها و خدمات شهری تشدید می‌شود (Gillham, 2002; Helbich & Leitner, 2010). با این حال، شکل‌گیری و گسترش پراکنده‌رویی شهری در کشورهای در حال توسعه ممکن است از الگوهای متفاوتی نسبت به سایر نقاط جهان پیروی کند (Alsharif & Pradhan, 2014). بر این اساس، اندازه‌گیری نرخ پراکنده‌رویی در چنین کشورهایی نیازمند تبیین و مطالعات بیشتر آماری است.

در مطالعه حاضر، مدل پراکنده‌رویی شهری با استفاده از دو رویکرد آماری آنتروپی نسبی شانون و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی برای شهر مشهد، در شمال شرقی ایران تهیه گردید. تدوین سنجه‌های ورودی مدل‌سازی پراکنده‌رویی شهری بر اساس پنج شاخص زمین‌آماري شامل شاخص تراکم جمعیت (PDI)، شاخص تراکم ساختمانی (CDI)، شاخص تراکم مسکونی (RDI)، شاخص تراکم افقی (HDI) و شاخص تراکم عمودی (VDI) انجام شد. نتیجه محاسبه ضریب آنتروپی نسبی شانون نشان داد که مناطق شهرداری ۷، ۸ و ۱۲ در قسمت‌های جنوب شرقی و شمال غربی شهر، مهم‌ترین مناطق شهری مشهد هستند که به شدت در حال گسترش و انبساط کالبدی هستند. صحت نتایج مورد اشاره با بررسی میدانی و وضعیت موجود ساخت‌وسازهای کالبدی این مناطق معلوم می‌شود که به شدت تحت تأثیر سیاست‌های انبوه‌سازی، مسکن اقشار کم‌درآمد، مسکن مهر و مجموعه‌های مسکونی تعاونی‌های مختلف وابسته به ارگان‌ها می‌باشند. این در حالی است که عملاً ظرفیت اراضی خالی درون شهر ره‌اشده و شهر به سمت اراضی طبیعی کشیده شده است. با توجه به کمبود خدمات در مقیاس‌های ناحیه‌ای و منطقه‌ای ساکنین این مناطق برای رفع این‌گونه نیازهای خود سفرهای طولانی را به هسته‌های مرکزی شهر طی می‌کنند. همچنین در ساخت‌وسازهای انجام شده به فضاهای نیمه عمومی مجتمع‌های مسکونی هم اهمیت داده نشده و به شکل اراضی بی‌دفاع در بین ساختمان‌ها گسترش یافته‌اند. همانند نتایج آنتروپی نسبی، تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتب هم نشان داد که مناطق یادشده در خوشه پراکنده‌رویی شدید قرار دارند. بر اساس همبستگی‌های آماری انجام شده، ارتباط مستقیمی و معناداری بین ستانده‌های خروجی مدل پراکنده‌رویی و توسعه

1 Gillham

2 Helbich and Leitner

سکونتگاه‌های غیررسمی و مجموع فراوانی داده‌های جرم‌خیزی در هر منطقه به دست آمد. اما برعکس، نتایج نشان داد که همبستگی معکوسی بین خروجی مدل پراکنده‌رویی و شاخص قیمت زمین در هر کدام از مناطق شهرداری وجود دارد. در مجموع، یافته‌های این تحقیق در ارتباط با ساخت یک مدل مفهومی با استفاده از روش‌های آماری و ضرایب همبستگی نشان داد که اندازه‌گیری میزان پراکنده‌رویی در مناطق شهری مشهد با به‌کارگیری شاخص‌های فضایی مرتبط با این مفهوم امکان‌پذیر است و لذا پاسخ به سؤال اصلی این پژوهش مثبت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

گسترش پراکنده‌رویی در شهر مشهد به‌شدت با رشد سکونتگاه‌های غیررسمی و افزایش جرایم ارتباط دارد. در مقابل ارتباط معکوس بین شاخص پراکنده‌رویی و شاخص قیمت زمین نشان می‌دهد که افراد کم‌درآمد نیز در مناطق دارای استعداد پراکنده‌رویی باقیمت زمین پایین‌تر و به‌خصوص در اراضی بایر و پراکنده این‌گونه مناطق استقرار می‌یابند. این شکل از رشد و گسترش پراکنده‌رویی خودبه‌خود زمینه‌جذابی برای رشد بیشتر سکونتگاه‌های حاشیه‌ای و غیررسمی، وقوع جرایم بیشتر و سایر اثرات مخرب اجتماعی و اقتصادی را به دنبال می‌آورد. رایج‌ترین الگوهای شهری در دنیا هم که به‌عنوان ساختارهای پراکنده‌رویی در پژوهش‌های جهانی معرفی می‌شوند مشابه تحقیق حاضر استنتاج کرده‌اند که گسترش پهنه‌های کالبدی غیرمتمرکز و پراکنده، در سطح زمین در مقایسه با توسعه‌های فشرده، به‌مراتب اثرات منفی و مخرب‌تری را در ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی بر جای می‌گذارند (Poelmans & Van Rompaey, 2009). علاوه بر این‌ها، قطعات ساختمانی درشت‌دانه و قیمت پایین زمین به گسترش پراکنده شهری در مشهد کمک کرده است. قیمت پایین زمین عامل مهمی برای ساکن شدن افراد کم‌درآمد است که خود عاملی برای رشد سکونتگاه‌های غیررسمی می‌شود. شکل‌گیری هسته‌های اسکان غیررسمی و حاشیه‌ای نیز خودبه‌خود باعث افزایش میزان وقوع جرایم شهری می‌شود. فنگ^۱ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کرده‌اند که امروزه پراکنده‌رویی شهری در چین به‌وسیله شاخص‌هایی همچون شکل توسعه کالبدی غیرمنسجم و بی‌نظم همراه با چشم‌انداز تخریب‌شده اراضی، شرایط استقرار گروه‌های درآمدی پایین و نهایتاً اثرات مخرب کیفیت‌های زیست‌محیطی قابل‌شناسایی و طبقه‌بندی است (Fang, Shenghe, Hong, & Qing, 2007). به نظر می‌رسد مدیریت شهری مشهد در اولین گام برای مقابله با توسعه پراکنده‌رویی باید جلوی شکل‌گیری الگوهای کالبدی پراکنده‌رویی را بگیرد و در این راستا لازم است تا هر چه بیشتر از تغییر کاربری زمین و تخریب اراضی کشاورزی و طبیعی حاشیه شهر جلوگیری کند (Rabbani et al., 2018).

پیشنهادها و راهکارها

امروزه تفکر موردپذیرش در توسعه شهری، توسعه سازگار با محیط‌زیست است و شهر سازان و برنامه‌ریزان شهری باید در انتخاب انگاره و الگوی توسعه شهرها به‌سوی پایداری و انطباق هرچه بیشتر آن با عملکردهای اقتصادی و زیست‌محیطی شهر و محیط پیرامون آن و حفظ تعادل در اکوسیستم‌های موجود گام بردارند. از این‌رو، در راستای کاهش اثرات منفی الگوی پراکنده‌رویی شهری، بر الگوهای بدیل توسعه پایدار شهری از جمله شهر فشرده، نوسهرسازی و رشد هوشمند تأکید نموده‌اند. در این ارتباط مهم‌ترین راهکار برای کنترل پراکنده‌رویی در شهر مشهد تأکید بر توسعه درون‌زا است یعنی ساخت‌وساز در زمین‌های خالی یا بکر مناطق شهری و حومه‌ای انجام گیرد. مکان‌سازی، باز توسعه و باز استفاده از ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و فضاهای موجود، رونق بخشیدن به واحدهای همسایگی نامطلوب از طریق ایجاد فضاهای اجتماعی و ارتباطی و بهسازی ساختمان‌های تاریخی از جمله عناصر موردتوجه توسعه درون‌زا می‌باشد. در همین ارتباط خارج کردن قطعات درشت‌دانه نظیر

پادگان‌ها و مراکز نظامی، انبار نفت و کارخانه‌ها زمینه مناسب را برای باز توسعه و باز استفاده از این اراضی فراهم می‌آورد. البته از آنجا که توسعه فیزیکی شهر امری اجتناب‌ناپذیر است و با ورود جمعیت به شهرها، گسترش فیزیکی شهر نیز ضرورت می‌یابد، باید سعی شود توسعه شهر به سمتی هدایت گردد که زمین‌های مرغوب کشاورزی و باغات در این فرآیند نابود نشود. در نهایت تدوین الگوهای اسکان که در آن ساکنان، فاصله بین محل کار، زندگی، مدرسه، خرید، رستوران، پارک، و سایر تسهیلات رفاهی و تجاری را با استفاده از پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل‌ونقل عمومی بپیمایند از جمله راهکارهای مؤثر در کاهش اثرات مخرب پراکنده‌رویی است.

سهم نویسندگان: غزاله ربانی ابوالفضل (نویسنده اول) پژوهشگر اصلی /نگارنده بحث اصلی (۵۰٪)، سیروس شفقی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی، روش‌شناسی تحقیق و تحلیل آماری (۲۵٪)، محمدرحیم رهنما (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی، روش‌شناسی تحقیق و تحلیل آماری (۲۵٪)

منابع و مآخذ

- 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*, 42(1), 149-163. [DOI:10.1007/s12524-013-0299-7]
- Barnes, K. B., Morgan, J. M., Roberge, M. C., & Lowe, S. (2001). Sprawl development: Its patterns, consequences, and measurement. *Towson University, Towson*, 1-24 .
- Bhatta, B. (2009). Analysis of urban growth pattern using remote sensing and GIS: A case study of Kolkata, India. *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4733-4746. [DOI:10.1080/01431160802651967]
- Burton, E. (2000). The compact city: Just or just compact? A preliminary analysis. *Urban Studies*, 37(11), 1969-2006 .[DOI:10.1080/00420980050162184]
- Chatterjee, N. D., Chatterjee, S., & Khan, A. (2016). Spatial modeling of urban sprawl around Greater Bhubaneswar city, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(1), 14. [DOI:10.1007/s40808-015-0065-7]
- Effat, H. A., & El Shobaky, M. A. (2015). Modeling and mapping of urban sprawl pattern in Cairo using multi-temporal landsat images, and Shannon's entropy. *Advances in Remote Sensing*, 4(04), 303-318 . [DOI:10.4236/ars.2015.44025]
- Epstein, J., Payne, K., & Kramer, E. (2002). Techniques for mapping suburban sprawl. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(9), 913-918 .
- Ewing, R. (1994). Characteristics, causes, and effects of sprawl: A literature review. *Environment Urban*, 21(2), 1-15 .
- Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-style sprawl desirable? *Journal of the American planning association*, 63(1), 107-126 . [DOI:10.1080/01944369708975728]
- Fang, J., Shenghe, L., Hong, Y., & Qing, Z. (2007). Measuring urban sprawl in Beijing with geo-spatial indices. *Journal of Geographical Sciences*, 17(4), 469-478 . [DOI:10.1007/s11442-007-0469-z]
- Farnahad Consultant Engineers. (2009). Building and development comprehensive plan of Mashhad metropolitan: Ministry of Roads and Urban Development. Khorasan Razavi province of Iran. (Persian)
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., & Freihage, J. (2001). Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept. *Housing policy debate*, 12(4), 681-717 . [DOI:10.1080/10511482.2001.9521426]
- Gillham, O. (2002). *The limitless city: A primer on the urban sprawl debate*. Washington, D.C: Island Press.
- Helbich, M., & Leitner, M. (2010). Postsuburban spatial evolution of Vienna's urban fringe: evidence from point process modeling. *Urban Geography*, 31(8), 1100-1117.[DOI:10.2747/0272-3638.31.8.1100]
- Jat, M. K., Garg, P. K., & Khare, D. (2006). *Assessment of urban growth pattern using spatial analysis techniques*. Paper presented at the Indo-Australian Conference on Information Technology in Civil Engineering (IAC-ITCE).
- Ji, W., Ma, J., Twibell, R. W., & Underhill, K. (2006). Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), 861-879 . [DOI:10.1016/j.compenurbsys.2005.09.002]

- Joshi, H., Guhathakurta, S., Konjevod, G., Crittenden, J., & Li, K. (2006). Simulating the effect of light rail on urban growth in phoenix: An application of the UrbanSim modeling environment. *Journal of Urban Technology*, 13(2), 91-111. [DOI:10.1080/10630730600872096]
- Malik, A., & Abdalla, R. (2017). Agent-based modelling for urban sprawl in the region of Waterloo, Ontario, Canada. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(1), 7. [DOI:10.1007/s40808-017-0271-6]
- Mansouri Daneshvar, M. R. (2015). Climatic impacts on hydrogeochemical characteristics of mineralized springs: a case study of the Garab travertine zone in the northeast of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(7), 4895-4906.[DOI:10.1007/s12517-014-1536-2]
- Meteorological Center of Khorasan Razavi. (2017). Database of Mashhad Synoptic Station. (1976-2015). from www.razavimet.ir. (Persian)
- Mohammady, S., & Delavar, M. R. (2016). Urban sprawl assessment and modeling using landsat images and GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 155. [DOI:10.1007/s40808-016-0209-4]
- Pham, H. M., Yamaguchi, Y., & Bui, T. Q. (2011). A case study on the relation between city planning and urban growth using remote sensing and spatial metrics. *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 223-230 . [DOI:10.1016/j.landurbplan.2010.12.009]
- Poelmans, L., & Van Rompaey, A. (2009). Detecting and modelling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flanders–Brussels region. *Landscape and Urban Planning*, 93(1), 10-19 .[DOI:10.1016/j.landurbplan.2009.05.018]
- Polidoro, M., de Lollo, J. A., & Barros, M. V. F. (2011). Environmental impacts of urban sprawl in Londrina, Paraná, Brazil. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 5(2), 73-83 . [DOI:10.4090/juee.2011.v5n2.073083]
- Rabbani, G., Shafaqi, S., & Rahnama, M. R. (2018). Urban sprawl modeling using statistical approach in Mashhad, northeastern Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 141-149 . [DOI:10.1007/s40808-017-0404-y]
- Rafiee, R., Mahiny, A. S., Khorasani, N., Darvishsefat, A. A., & Danekar, A. (2009). Simulating urban growth in Mashhad city, Iran through the SLEUTH model (UGM). *Cities*, 26(1), 19-26 . [DOI:10.1016/j.cities.2008.11.005]
- Rahnama, M. R., & Abbaszadeh, G. R. (2008). A comparative study measuring dispersal and compactness in Sydney and Mashhad metropolitans. *Geography and Regional Development*, 3(6), 101-128. (Persian)
- Rahnama, M. R & Javan, J. (2011). *Studies on urban landuse planning of Mashhad metropolitan: Jahad Daneshgahi Publication*. (Persian)
- Rui, Y. (2013). *Urban growth modeling based on land-use changes and road network expansion*. (Doctoral Thesis), KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden .
- Schneider, A., & Woodcock, C. E. (2008). Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information. *Urban Studies*, 45(3), 659-692 .[DOI:10.1177/0042098007087340]
- Shahraki, S., Kazemzadeh, A., & Badami, S. (2014). Spatiotemporal analysis of the physical expansion of Mashhad City and monitoring of land use changes around. *Geographical Urban Planning Research*, 2(4), 483-499. (Persian)
- Singh ,B. (2014). Urban growth using shannon entropy, a case study of Rohtak city. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 3(1), 544-552 .
- Statistical Centre of Iran. (2011). Macro results of statistical survey. from <http://www.amar.org.ir>. (Persian)
- Tewelde, M. G., & Cabral, P. (2011). Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea. *Remote Sensing*, 3(10), 2148-2165 . [DOI:10.3390/rs3102148]
- Thomas, R. W. (1981). *Information statistics in geography*: Geo Abstr, Norwich.
- Yu, X. J., & Ng, C. N. (2007). Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban–rural transects: A case study of Guangzhou, China. *Landscape and urban planning*, 79(1), 96-109 . [DOI:10.1016/j.landurbplan.2006.03.008]
- Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal landsat remote sensing. *Remote sensing of Environment*, 98(2-3), 317-328[DOI:10.1016/j.rse.2005.08.006] .