Journal of Sustainable City

Online ISSN: 2476-6151

Journal Homepage: www.jscity.ir

Research Paper

The impacts of Urban Form in production of Automobile-based travels with emphasis on Low Carbon City Development The Case Study of Zanjan Traffic Zones

Mehdi Azari [a]✉, Mohsen Ahadnejhad [b], Isa Piri [c]

[a]. *(Corresponding Author), Department of Geography and urban planning, University of Zanjan, Zanjan, Iran*
Email: mehdi.azari@znu.ac.ir

[b]. *Department of Geography and urban planning, University of Zanjan, Zanjan, Iran*
Email: ahadnejad@znu.ac.ir

[c]. *Department of Geography and urban planning, University of Zanjan, Zanjan, Iran*
Email: isapiri@znu.ac.ir

ARTICLEINFO

Keywords:
Automobile-based travels,
Urban form,
Low-carbon development,
Spatial statistics,
Zanjan.

Received:
25 May 2023
Received in revised form:
30 August 2023
Accepted:
25 September 2023
Available online:
29 October 2023
pp. 41-59

ABSTRACT

Automobile-based travel is one of the most important factors in the air pollution of Iranian cities. So, variety policies have been adopted to reduce the urban air pollution that are without spatial planning. In low-carbon cities, reduction of air pollution is noticed through spatial planning as changes in the urban form to achieve low automobile-based travels. The automobile-based travels in Zanjan, is changed greenhouses gasses emission to a huge problem. The problem that will adjust by changes in spatial planning and urban forms. In this paper, influence of urban form in the automobile-based travels are assigned by Spatial statics methods. To achieve the aim of this paper is hypothesized urban forms measures –as land use mix- has the most influence in the automobile-based travels. The type of this paper is Applicable and the used methods are Analytical and regression. The results of the application of the Moran method shows that the criteria are in clustered pattern and therefore have spatial autocorrelation and using location-based regression methods such as geographical weight regression is very useful. The results of the geographical weight regression show that the population density with significance coefficient of 0.31 has the minimum importance in the urban travel pattern and the criteria of mix land use and street density with the coefficient of 0.46 and 0.49 have the highest importance in the urban travels pattern. So, as a result, urban form criteria are more important in forming the urban travel patterns and it should be given more attention in urban management

Citation: Azari, M., Ahadnejhad, M., Piri, I. (2023). The impacts of Urban Form in production of Automobile-based travels with emphasis on Low Carbon City Development The Case Study of Zanjan Traffic Zones. *Journal of Sustainable City, 6* (2), 4-59.
http://doi.org/10.22034/JSC.2020.198216.1102

© The Author(s)
Publisher: Iranian Geography and Urban Planning Association.
This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Automobile-based travels are the most important factors in the air pollution of Iran cities. So, variety policies have been adopted to reduce the urban air pollution that are devoid of any spatial planning. In low-carbon cities, reduction of air pollution is noticed through spatial planning such as change in the urban form to reduce automobile-based travels. So, from a theoretical perspective, low carbon city offers principles and criteria based on urban forms to achieve sustainable behaviors of travel (such as decreasing automobile-based travels, using public transportation, pedestrian-oriented development and so on).

Methodology

The type of research in this article is applied and its method is descriptive-analytical and correlation. The important urban form criteria to achieve low carbon cities are land use mix (or land use diversity), increasing of density, design of roads, increasing of public transport services etc. Therefore, systematic management of automobile-based travels through urban form structures in Iran cities is very important. In this study, Zanjan is selected as a case study. The automobile-based travels in Zanjan have made greenhouse gasses as a major challenge that can be mitigated by spatial planning and emphasis on urban form structures. Therefore, this paper investigates the impact of urban form on automobile-based travels production by using of spatial statistics methods. Also, in order to achieve the aim of the paper, it has been assumed that urban form elements, such as land uses, play the most important role in generating automobile-based travels. Since urban form criteria are considered as spatial-based ones, ignoring spatial effect leads to increase estimation error in modeling. Therefore, in this paper the geographical weight regression (GWR) and the Moran Index are main methods to investigate spatial autocorrelation and spatial correlations between variables.

Result and discussion

At first the criteria were extracted through library studies as well as environmental knowledge. Then the criteria are changed to GIS layers. Subsequently, these layers are transformed to zonal data by spatial statistics methods. And finally, Moran I and GWR were used to assess the spatial correlation of the criteria. The results of the methodology show that in spatial researches where the criteria have spatial-based changes, models such as the Moran I and the GWR are very useful to apply. Also, the results of applying the Moran method emphasize on the spatial autocorrelation of the criteria were used and the effectiveness of the utilization of geographical weighted regression to analyze the correlation of the variables. So it is suitable to use methods such as GWR. Model accuracy and performance statistics such as AICc (Akaike Information Criterion) in the GWR, increase the reliability of the model output. Furthermore, the standard residual values in the traffic zones of Zanjan show that the estimated quantities are different from observed ones. The outcomes of the GWR show that the population density with significance coefficient of 0.31 has the least importance in the urban travel pattern. The highest population density of Zanjan is in the areas connected to the urban central texture that have the most population zones with advantages such as access to urban cores. Also, combined of land uses and street congestion with 0.46 and 0.49 coefficients are the most important in urban travel pattern, respectively. The peak of the streets congestion in the city center has attracted transportation systems in this part of the city. The focal statistics have been used to investigate the spatial composition of land uses. Accordingly, the city's core has the largest variety of urban land uses. This has resulted in the highest population absorption in these zones. So that, there is a correlation of 0.7 between land use composition and population density in the central texture. This illustrates the importance of urban form criteria in the urban travel patterns of Zanjan; Therefore, urban density is less important than urban form factors and urban form factors are the

basis of urban travel patterns.

Conclusion

The most important measure of urban form that should be prioritized for Zanjan urban managers to achieve low carbon development is the combination of land uses. Based on this, the creation of urban neighborhoods with the suitable land uses composition, will reduce the number of urban travels to the city's central texture and it will possible the development of a low-carbon city. Findings of this paper can guide the urban managers in order to develop a sustainable urban form pattern with the lowest carbon production.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

مجلـــه شـــهر پایـــدار

شاپا الکترونیکی:2476-6151

Journal Homepage: www.jscity.ir

مقاله پژوهشی

تأثیر فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا با تأکید بر توسعه شهر کم کربن مطالعه موردی: نواحی ترافیکی شهر زنجان

مهدی آذری [۱] ✉، محسن احدنژاد [۲]، عیسی پیری [۳]

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. **Email:** mehdi.azari@znu.ac.ir

۲-گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. **Email:** ahadnejad@znu.ac.ir

۳- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. **Email:** isapiri@znu.ac.ir

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:
سفرهای خودرو محور،
فرم شهری،
توسعه کم کربن،
روش‌های آمار فضایی،
زنجان.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۳/۰۴
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۲/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۷/۰۳
تاریخ چاپ:
۱۴۰۲/۰۸/۰۷
صص. ۵۹-۴۱

چکیده

سفرهای خودرو مبنا از مهم‌ترین عوامل آلودگی هوای شهرهای ایران می‌باشد. در این راستا، سیاست‌های مختلفی برای کاهش آلودگی هوای شهرها اتخاذ گردیده که عمدتاً عاری از هرگونه برنامه‌ریزی فضایی می‌باشند. در نظریاتی همچون شهر کم کربن، کاهش آلودگی هوا از طریق برنامه‌ریزی‌های فضایی همچون تغییر در فرم شهری جهت کاهش سفرهای خودرو مبنا مدنظر می‌باشد. سفرهای خودرو مبنا در شهر زنجان، مسئله تولید گازهای گلخانه‌ای را به معضل بزرگی در این شهر تبدیل کرده است؛ معضلی که با برنامه‌ریزی فضایی و تأکید بر ساختارهای فرم شهری، قابل تعدیل می‌باشد بنابراین در این مقاله به بررسی تأثیر فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا، با استفاده از روش‌های آمار فضایی پرداخته‌شده است. جهت نیل به این هدف، چنین فرض شده است که عناصر فرم شهری همچون ترکیب کاربری‌ها، دارای بیشترین نقش در تولید سفرهای خودرو مبنا می‌باشند؛ نوع تحقق در این مقاله کاربردی بوده و روش بررسی آن توصیفی- تحلیلی و همبستگی می‌باشد. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش موران نشان می‌دهد که معیارهای به‌کاررفته دارای خودهمبستگی مکانی می‌باشند و استفاده از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی جهت تحلیل ارتباط مندی متغیرها بسیار مفید می‌باشد. نتایج حاصل از رگرسیون وزنی جغرافیایی نشان می‌دهد که معیار تراکم جمعیتی با ضریب اهمیت ۰,۳۱ دارای کمترین اهمیت در الگوی سفر شهری بوده و معیار ترکیب کاربری‌ها و تراکم خیابان‌ها به ترتیب با ضریب اهمیت ۰,۴۶ و ۰,۴۹ دارای بیشترین اهمیت در الگوی سفر شهری می‌باشند. بر این اساس می‌توان چنین نتیجه گرفت که معیارهای فرم شهری دارای تأثیر بیشتری در تولید سفرهای خودرو مبنا شهری می‌باشند و باید بیشتر موردتوجه مدیران و برنامه‌ریزان شهری قرار گیرد.

استناد: آذری، مهدی؛ احدنژاد، محسن و پیری، عیسی. (۱۴۰۲). تأثیر فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا با تأکید بر توسعه شهر کم کربن مطالعه موردی: نواحی ترافیکی شهر زنجان. *مجله شهر پایدار*، ۶ (۳)، ۵۹-۴۱.

http://doi.org/10.22034/JSC.2020.198216.1102

© نویسندگان

ناشر: انجمن جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری ایران

مقدمه

با گسترش چشم‌گیر استفاده از سوخت‌های فسیلی در صنعت، حمل‌ونقل و مصارف خانگی، دی‌اکسید کربن فراوانی تولید و بر جو کره زمین افزوده شد (Casper, 2010:198; Hao et al., 2018:753). در اوایل تغییرات ناشی از آلودگی در اقلیم کره زمین نامحسوس به نظر می‌رسید (Rao et al., 2017:351) ولی با گذشت زمان و افزایش میزان تولید دی‌اکسید کربن، تأثیرات آن بر سلامتی انسان و محیط محسوس گردید (WHO, 2016:14; J. J. Zhang & Day, 2015:380) به‌طوری‌که هم‌اکنون دی‌اکسید کربن موجود در زیست‌کره به‌عنوان بزرگ‌ترین خطر محیطی برای سلامتی انسان تبدیل‌شده است (Jerrett et al., 2009:1089; Tashayo & Alimohammadi, 2016:19423). در این راستا، مجامع علمی و اجرایی دنیا، واکنش‌های فراوانی به تغییرات اقلیمی ناشی از آلودگی کره زمین نشان دادند. علم برنامه‌ریزی شهری نیز همگام با سایر علوم، در رأس بسیاری از این واکنش‌ها قرار گرفت (Liu, Ma, & Chai, 2017:394). اما بیشترین تمرکز برنامه‌ریزی شهری بر حمل‌ونقل شهری و تأثیرات آن بر تولید دی‌اکسید کربن بوده است (S. Zhang, Liu, Tang, Cheng, & Wang, 2019:78) زیرا حمل‌ونقل شهری تولیدکننده یک‌سوم از دی‌اکسید کربن زیست‌کره است (Hao et al., 2018:751; Zheng et al., 2015:32). چنین روند سیاستی از برنامه‌ریزی شهری همگام با ایده‌های نوین نوشهر گرایی، شهر فشرده و رشد هوشمند و در نهایت شهر کم کربن بوده است (Boarnet, 2011:200). بنابراین با تدوین اصول و راهکارهایی در عناصر فرم‌های شهری مانند ترکیب و تنوع کاربری‌ها، افزایش تراکم، طراحی معابر، تقویت حمل‌ونقل عمومی و نظایر آن، به رفتارهای پایدار سفر (کاهش سفرهای خودرو مبنا، استفاده از حمل‌ونقل عمومی، پیاده محوری و نظایر آن) دست یابند (Renne, 2016:182). بااین‌حال بررسی تأثیرات عناصر فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا، در ادبیات نظری شهر کم کربن بسیار اندک است (S. Zhang et al., 2019:81) . این مطالعات به‌ویژه در شهرهای ایران بسیار مهم می‌نماید؛ چرا که در کاهش اثرات آلودگی هوای شهرهای ایران، اهمیت چندانی به کاهش سفرهای خودرو مبنا از طریق ساختارهای فرم شهری داده نشده است (Moradi, Hejazi, & Farsi, 2015:221). بنابراین مدیریت نظام‌مند تولید سفرهای خودرو مبنا از طریق ساختارهای فرم شهری در شهرهای ایران بسیار مهم می‌نماید؛ بر این اساس بررسی اهمیت فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا، به‌عنوان هدف اصلی این مقاله مدنظر می‌باشد که در نهایت موجب تحقق اصول شهر کم کربن خواهد بود. از آنجائی که معیارهای فرم شهری، معیارهای وابسته به مکان می‌باشند، نادیده گرفتن اثرات مکانی، منجر به افزایش میزان خطای برآورد در مدل‌سازی می‌شود (Wang & Tenhunen, 2005). بنابراین، مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی و آزمون موران، به‌عنوان دو روش اصلی در این مقاله جهت بررسی خودهمبستگی مکانی و ارتباط فضایی بین متغیرها استفاده‌شده است.

در این پژوهش شهر زنجان به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب گردیده است. زنجان یکی از شهرهای میانی ایران است که در دهه‌های اخیر با مشکلات فراوانی در سیستم حمل‌ونقل شهری و آلودگی ناشی از آن مواجه بوده است (WHO, 2017:1)؛ عمده این مشکلات ناشی از استفاده از خودروهای شخصی برای انجام سفرهای درون‌شهری است که روزانه هر اتومبیل حدود ۵۰ کیلومتر سفر شهری را تجربه می‌کند (اداره راهنمایی و رانندگی استان زنجان، ۱۳۸۹: ۲۸).

جهت نیل به هدف اصلی تحقیق، سؤال تحقیق چنین در نظر گرفته‌شده است: عوامل اصلی فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا در شهر زنجان، کدام عوامل می‌باشند؟ جهت پاسخگویی به سؤال مطروحه، فرضیه‌ای بر این اساس طرح گردیده است: چنین به نظر می‌رسد که ترکیب کاربری‌ها و تراکم مسکونی خالص، مهم‌ترین عوامل فرم شهری در

تولید سفرهای خودرو مبنا می‌باشند.

پژوهش‌های بسیاری در مورد ارتباط بین فرم شهری، الگوی رفتار سفر و توسعه شهرهای کم کربن انجام‌شده است؛ دراین‌ارتباط می‌توان به پژوهش‌های انجام‌یافته توسط پیتر نیومن، پیتر کالتورپ، جفری کنوردی، کارا کوکلمن، رونالد میچل و رابرت سرورو[1] اشاره کرد که تدوین‌کننده ادبیات نظری در این حیطه هستند. در این قسمت از مقاله به برخی از آثار مرجع در رابطه با این موضوع پرداخت خواهد شد.

- از مقالات اولیه در زمینه ارتباط فرم شهری با تقاضای سفر می‌توان به مقاله سرورو و کوکلمن با عنوان "تقاضای سفر و ارتباط آن با تراکم، تنوع و طراحی" اشاره کرد. در این مقاله، تأثیر هر یک از متغیرهای تراکم، تنوع کاربری‌ها و طراحی در نرخ تولید سفر و نوع حمل‌ونقل انتخابی شهروندان موردبررسی قرارگرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تراکم، تنوع کاربری اراضی و طراحی‌های پیاده محور، موجب کاهش تولید سفر شده و شهروندان را به استفاده از حمل‌ونقل پیاده محور تشویق می‌کند. (Cervero & Kockelman, 1997:201).

- کوانگیول در مقاله‌ای تحت عنوان "تأثیر محیط ساخته‌شده شهری در سفرهای داخل شهری با تأکید بر ریخت‌شناسی شهری (مطالعه موردی: کلگری-کانادا)" بر تأثیر ریخت‌شناسی شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا تأکید دارد. نویسنده با استفاده از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی، به ارتباط ترکیب کاربری‌های اراضی و نوع حمل‌ونقل شهروندان در ارتباط با نوع شناسی شهری پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد، قسمت‌هایی از شهر که دارای حمل‌ونقل ریلی هستند، استفاده کمتری از اتومبیل شخصی برای سفرهای شهری دارند. همچنین با دور شدن از مرکز شهر، رغبت به استفاده از اتومبیل شخصی نیز بیشتر می‌شود؛ زیرا بیش از نصف اشتغال شهر در مرکز شهر قرار دارد (Choi, 2018:108).

- یو و استیورث در مقاله‌ای با عنوان "تأثیرات رشد فشرده شهری و خودروهای الکترونیک در توسعه شهرهای کم کربن"، به بررسی تأثیراتی که فرم شهری و تکنولوژی‌های جدید حمل‌ونقل در آلاینده‌ها می‌گذارند، پرداخته است. منطقه موردمطالعه نویسندگان تامپا در ایالات فلوریدای آمریکا می‌باشد. سه سناریو برای سال ۲۰۵۰ طرح گردیده است که عبارت‌اند از: رشد پراکنده شهری، رشد فشرده و الکتریکی کردن تمامی خودروهای حمل‌ونقل با رشد فشرده شهری. در نهایت نگارندگان به مقادیر عددی آلاینده‌ها در هر سناریو پرداخته‌اند که سناریوی خودروهای الکترونیک با رشد فشرده شهری، کمترین میزان تولید کربن را در پی دارد(Yu & Stuart, 2017:153) .

- استوجانوسکای در مقاله‌ای تحت عنوان فرم شهری و حالت‌های سفر: گزینه‌های سفر پایدار، تولید کربن و انرژی مورداستفاده در محلات شهرهای سوئد، از الگوهای فرم شهری در محلات سوئد بحث می‌کند که به الگوهای پایدار سفر بینجامد. ازنظر نویسنده، الگوهای پایدار سفر شامل پیاده محوری، دوچرخه‌سواری و استفاده حداکثری از حمل‌ونقل عمومی می‌باشد. تأکید اصلی نویسنده بر طراحی زیرساخت‌هایی در فرم شهری است که امکان دسترسی به پیاده محوری، دوچرخه‌سواری و حمل‌ونقل عمومی را تسهیل کند. در نهایت نویسنده به ارائه برخی پارامترهای کلی پرداخته است که با اجرای این پارامترها در طراحی مجدد شهرهای سوئد، امکان برقراری الگوهای پایدار سفر در این شهرها وجود خواهد داشت (Stojanovski, 2019:553).

- ژانگ و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان "ساختار فضایی شهری و الگوهای سفر: تجزیه‌وتحلیل سفرهای کاری روزانه و سفرهای تفریحی در ایام تعطیلات با استفاده از مدل‌های فرآیند نقطه ناهمگن پواسون[2]، با استفاده از آمارهای

1. Peter Newman, Peter Calthorpe , Jeffrey Kenworthy, Kara Kockelman, Robert Cervero, Ronald B. Mitchell
2. inhomogeneous Poisson point process models

دوازده روز سفرهای روزانه، به بررسی ارتباط مسافت طی شده اتومبیل‌های شخصی به محل کار و ساختارهای فضایی شهر بیجینگ–چین پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مقاله نشان‌دهنده تأثیر ساختارهای فضایی شهر در تولید سفرهای کاری و تفریحی دارد. از بین پارامترهای فضایی شهر، نویسندگان تأکید بیشتری بر توزیع فضایی جمعیت، سلسله‌مراتب شهری و محل‌های اشتغال دارند (S. Zhang et al., 2019:80).

- عبادی‌نیا در رساله دکترای خود تحت عنوان "بررسی تأثیر فرم شهر مشهد بر توسعه حمل‌ونقل کم کربن با رویکرد استراتژیک"، به بررسی ابعاد فرم شهری و تأثیر آن در توسعه شهرهای کم کربن پرداخته است. از منظر وی، مسافت طی شده با وسیله نقلیه شخصی به کیلومتر (VKT)، مهم‌ترین مؤلفه به کار گرفته‌شده است و هر چقدر فرم شهری این مسافت را کاهش دهد، تحقق شهر کم کربن امکان‌پذیر خواهد بود. نتایج حاصل از این رساله نشان می‌دهد که بیش از همه شاخص‌ها، شاخص دسترسی به مراکز اشتغال، متغیر سطح سواد و مالکیت خودرو می‌تواند باعث کاهش VKT گردد. در مرحله دوم به‌منظور محاسبه ارتباطی که بین فرم شهر و انتشار گاز کربن خودروهای شخصی وجود دارد، از روش جاپای بوم‌شناختی استفاده گردید. مناطقی که بیشترین میزان تولید جاپا را داشتند، مناطقی بودند که سرانه VKT بالاتر و فرم شهر ناپایدارتری را دارا بودند (عبادی نیا، ۱۳۹۶).

- گلیج در پایان‌نامه خود با عنوان برنامه‌ریزی راهبردی توسعه پایدار شهری با تأکید بر شهر کم کربن، نمونه موردی تهران، به تدوین استراتژی شهرهای کم کربن با استفاده از تصمیمات برنامه‌ریزی کاربری اراضی پرداخته است. نویسنده ابتدا به بررسی ادبیات نظری توسعه کم کربن پرداخته است و در ادامه استراتژی کشورهای پیشرفته را در زمینه دستیابی به شهرهای کم کربن را مورد تشریح قرار داده است. در ادامه به بیان روش کار مطالعه برای تدوین استراتژی‌های شهرها کم کربن در شهر تهران پرداخته است. روش‌های به‌کارگیری در این مطالعه شامل روش رد پای کربن و فن QM است (شریف زادگان، ۱۳۹۳: ۱۳).

خلاً مهم در ادبیات نظری و روش تحقیق مطالعات ذیل، بررسی نقش صرف عناصر فرم شهری در ایجاد الگوهای سفر با خودروهای شخصی است؛ به عبارتی در پژوهش‌های مشابه، نقش عناصر فرم شهری در کنار سایر عناصر شهری به‌صورت کمرنگ دیده می‌شود؛ حال‌آنکه در این پژوهش تأکید اصلی بر نقش عوامل فرم شهری است که محرک بسیاری از رفتارهای سفر شهری می‌باشد. از طرفی، عمده مطالعات انجام‌یافته در زمینه نقش عناصر شهری در حمل‌ونقل شهرها، تقسیم‌بندی دو حوزه‌ای در زمینه حمل‌ونقل داشته‌اند؛ به عبارتی حمل‌ونقل را شامل حمل‌ونقل سواره محور و پیاده محور تقسیم‌بندی کرده‌اند؛ حال‌آنکه حمل‌ونقل سواره محور اجزا متفاوتی دارد که تنها یک مورد شامل حمل‌ونقل با اتومبیل شخصی است و از آنجائی که در بسیاری از شهرهای میانی ایران، سایر انواع حمل‌ونقل سواره محور (مانند بسیاری از انواع حمل‌ونقل عمومی) نقش چندانی ندارد، در این پژوهش بر حمل‌ونقل با خودروهای شخصی تأکید گردیده است.

مبانی نظری

با افزایش آسیب‌های ناشی از آلودگی هوای شهرها در بخش حمل‌ونقل، راهکارهای متفاوتی جهت کنترل کیفیت هوا توسط برنامه ریزان و مدیران شهری ارائه گردید. یکی از نظریاتی که در این راستا مطرح می‌گردد، نظریه کم کربن است که برای اولین بار در کنفرانس ریو مطرح شد. مفهوم کم کربن در واقع واکنش بسیاری از نظریه‌پردازان در جهت پاسخ‌دهی به تغییرات اقلیمی و آلودگی‌های ناشی از سوخت فسیلی در جوامع انسانی می‌باشد. منشأ و سیر تکاملی این

مفهوم یک فرایند طولانی دارد (Wentong & Yidong, 2010). «کم‌کربن» به معنای تلاش‌هایی برای به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای در هوا، از طریق کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، منابع کربن، افزایش تجزیه کربن و انعطاف‌پذیری اکوسیستم است. این مفهوم ابتدا در قالب اقتصاد کم کربن مطرح گردید که تأکید اصلی آن به تولید حداقل گازهای گلخانه‌ای در صنعت و اقتصاد بود. سپس مفاهیم جامعه کم کربن و توسعه کم کربن بر ادبیات نظری کم کربن افزوده شد. در سال‌های بعد، ماحصل مفاهیم کم کربن در مفهوم شهر کم کربن مطرح گردید. این چالش در نشست ژوئن ۲۰۰۸ توسط وزرای کشورهای G8 (شامل کانادا، فرانسه، آلمان، ایتالیا، ژاپن، روسیه، انگلستان و امریکا) در آمونی ژاپن مطرح شد (Yi & Li, 2017:681). این مفهوم درواقع تکامل‌یافته شهرهای اکولوژی در مناطق شهری است که برخلاف اکو شهرها از توجه صرف به محیطزیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای فراتر رفته و به‌عنوان یک سیستم جامع و کلان، کلیه سطوح شهر اعم از اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و محیطزیستی را در برگرفته است (Wentong & Yidong, 2010:154). یک شهر کم کربن باید اقتصاد کم کربن داشته باشد، همچنان که الگو و هدف توسعه کم کربن دارد و ساکنان آن باید زندگی کم کربن را به‌عنوان ویژگی‌های رفتاری و پنداری قبول کنند، و مدیریت دولتی باید جامعه کم کربن را به‌عنوان یک طرح (برنامه کار) ساختاری مدنظر قرار دهد (Yi-xin, 2009:128). برنامه‌ریزی شهری عمدتاً از طریق ابزار فرم شهری می‌تواند در تحقق شهر کم کربن نقش داشته باشد. شکل شهری به ویژگی‌های فیزیکی محیط انسان‌ساخت، از قبیل، شکل، اندازه، چگالی و آرایش عناصر شهری و نظایر آن اشاره می‌کند (Clifton, Ewing & Song, 2008:23; Osorio et al, 2016:139; Williams, 2014:14). به تعبیر برخی از برنامه ریزان شهری، عمده مصادیق فرم شهری که منجر به کاهش سفرهای خودرو مبنا و توسعه شهرهای کم کربن می‌شوند، عبارت‌اند از: تراکم (تراکم خالص جمعیتی، تراکم مشاغل)، تنوع (تنوع کاربری‌ها و مشاغل)، ویژگی‌های مربوط به معابر (تراکم تقاطع‌ها، تراکم ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی، ویژگی‌های مربوط به عرض معابر)، دسترسی به مقاصد سفرهای شهری (دسترسی به مقاصد سفر به‌وسیله اتومبیل‌های شخصی و حمل‌ونقل عمومی)، فاصله شهروندان با ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی و مراکز شهری (Ewing & Cervero, 2010:291; Munshi, 2013:160; Williams, 2017:213). ارتباط بین الگوهای فرم شهری مطرح‌شده و رفتار سفر، جزء اولین و مهم‌ترین مباحث مطرح‌شده در زمینه توسعه حمل‌ونقل کم کربن است که در این مقاله مدنظر بوده است.

روش پژوهش

روش پژوهش در این مقاله، روش توصیفی-تحلیلی می‌باشد و برای پاسخگویی به مسئله تحقیق از مدل‌های آمار فضایی[1] استفاده‌شده است. در آمار فضایی، معمولاً داده‌ها جنبه مکانی دارند. به عبارتی، داده‌های موردبررسی دارای تغییرات منظمی وابسته به مکان دارند و معمولاً اشکال خوشه‌ای در بررسی تغییرات داده‌ها قابل‌مشاهده است (Sadahiro, 2019:136). سه پایگاه داده در این مقاله به‌کاررفته که عبارت‌اند از: سرشماری سال ۱۳۹۵، مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر زنجان و پایگاه داده‌های شهرداری معیارهای مکانی متفاوتی برای بررسی الگوهای سفر شهری جهت نیل به شهر کم کربن وجود دارد؛ جدول ۱. معیارهای فرم شهری جهت نیل به شهر کم کربن را در ادبیات نظری شهر کم کربن نشان می‌دهد.

1. Spatial statistics

جدول ۱. معیارهای فرم شهری جهت نیل به شهر کم کربن

معیارهای مورداستفاده	نویسندگان مقالات
تراکم جمعیتی، تنوع کاربری‌ها و طراحی معابر	Cervero & Kockelman, 1997
تراکم، تنوع، ویژگی‌های مربوط به معابر، دسترسی به مقاصد سفرهای شهری، فاصله با ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی، مراکز شهری	Ewing & Cervero, 2010:281
اختلاط کاربری، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی و طراحی مناسب دسترسی‌های پیاده محور	Liu et al., 2017:395
تنوع کاربری‌های شهری (از قبیل حمل‌ونقل، مسکونی، فضای سبز، مرکز تجاری شهری، کاربری صنعتی)، تراکم جمعیت و مراکز اشتغال	Denant-Boèmont et al, 2018:35
مساحت واحدهای همسایگی، فاصله تا مرکز تجاری شهری، فاصله تا هسته‌های شهری، تنوع کاربری‌ها، مناطق مسکونی، مراکز خرید، فضاهای باز شهری، تراکم جمعیتی، اندازه بلوک‌های شهری، طراحی معابر، ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی	Pan et al, 2009:290
تنوع کاربری‌های تجاری، مسکونی و صنایع محلی، تراکم مسکونی، مصالح ساختمانی به کار گرفته‌شده، طراحی شبکه‌های دسترسی	Albayati et al, 2015:34
فشردگی شهری، پراکندگی شهری، تراکم خالص مسکونی، فاصله تا مرکز تجاری شهری	Mouratidis et al, 2019:319
دسترسی به شریان‌های ارتباطی اصلی، تراکم شبکه‌های ارتباطی، فاصله با مرکز تجاری شهری، تراکم جمعیتی، دسترسی به فضاهای سبز، دسترسی به سایر تسهیلات شهری، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، حمل‌ونقل عمومی مناسب به مرکز تجاری شهری، دسترسی به پارکینگ‌های شهری، طراحی مناسب شریان‌های ارتباطی (تراکم تقاطع و عرض معابر)، دسترسی به فضاهای باز شهری، میزان پیاده محوری، دسترسی‌های طراحی‌شده برای دوچرخه‌سواری	Milakis et al, 2017:298
تراکم جمعیتی، مراکز اشتغال، فشردگی شهری، نسبت اشتغال به جمعیت، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، تراکم جاده‌ای	Guerra et al, 2018:102

در این مقاله، با توجه به مبانی نظری اشاره‌شده، دانش محیطی و جدول به‌گزینش معیارهای فرم شهری زیر پرداخته‌شده است: تراکم جمعیت، تراکم خالص مسکونی، ترکیب کاربری، تراکم تقاطع‌ها، تراکم خیابان‌ها، تراکم ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی، دسترسی به مرکز تجاری شهر. قبل از ایجاد ارتباط فضایی بین شاخصه‌های فضایی و رفتار سفر شهری، دو مرحله اساسی مدنظر بوده است؛ در مرحله نخست، داده‌های پرت یا خارج از محدوده[1] مشخص می‌شود. منظور از داده‌های پرت، مقادیری هستند که خارج از محدوده طبیعی یک متغیر قرار دارند (Duggimpudi, Abbady, Chen, & Raghavan, 2019:22) . در این مرحله، اعتبار و همخوانی داده‌های موجود موردسنجش قرار می‌گیرد و داده‌های خارج از محدوده مشخص می‌شود و تأثیر آن در روش رگرسیون به‌کاررفته، از بین می‌رود (Čampulová, Michálek, & Moučka, 2019:1021). جهت محاسبه داده‌های پرت از فرمول زیر استفاده‌شده است:

معادله ۱: $High\ outliers=Y+k0*Sy \ \&\ Low\ outliers= Y-k0*S$

که K0 عدد ثابت ۲,۳۰۹، Y میانگین متغیرها و S مجذور واریانس متغیرها می‌باشد.

در مرحله دوم، خودهمبستگی فضایی داده‌ها مدنظر بوده است. خودهمبستگی فضایی که به آماره موران (Moran's I I) نیز معروف می‌باشد، به رابطه بین مقادیر باقیمانده در طول خط رگرسیون مربوط می‌باشد. خودهمبستگی قوی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر متغیرها که ازنظر جغرافیایی به هم نزدیک می‌باشند، با هم در ارتباط هستند. جهت محاسبه خودهمبستگی فضایی داده‌ها از فرمول زیر استفاده می‌شود:

1. Outlier

معادله ۲:

$$I = \frac{n}{S_o} \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} wij\,(Xi - \bar{X})(Xj - \bar{X})}{\sum_{i=1}^{n}(Xi - \bar{X})^2}$$

که در آن x_i ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در نواحی n؛i تعداد نواحی شهری؛

وزن wij ضریب موران بین ۱- تا ۱+ متغیر است. ۱- برابر تعامل فضایی منفی و ۱ برابر تعامل فضایی مثبت است. اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد، ضرایب مورد انتظار موران صفر محسوب می‌شود. این ضرایب به شرح زیر است:

$$E_I = -\frac{1}{(n-1)}$$

که n تعداد محله‌ها و E_I ضریب مورد انتظار است (Allen, 2016). به‌طورکلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد (۱+) باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد (۱-) باشد، آنگاه داده‌ها ازهم‌گسسته و پراکنده می‌باشند. البته این مقدار ازنظر معناداری سنجیده می‌شود. فرضیه صفر در این ابزار آن است که "هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر خصیصه مرتبط با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد". حال زمانی که مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه‌شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد. اگر مقدار شاخص موران بزرگ‌تر از صفر باشد، داده‌ها نوعی خوشه‌بندی فضایی را نشان می‌دهند. اگر مقدار شاخص کمتر از صفر باشد، عوارض موردمطالعه دارای الگوی پراکنده می‌باشند (Thompson et al., 2018:186). در مرحله بعدی، تعیین روابط فضایی بین متغیرها مدنظر می‌باشد. مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در واقع شکل محلی رگرسیون خطی است که برای مدل‌سازی روابط فضایی بین مجموعه‌ای از داده‌ها بکار گرفته می‌شود (Meade & Stewart, 2018:62). مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی از طریق معادله زیر قابل اجرا می‌باشد:

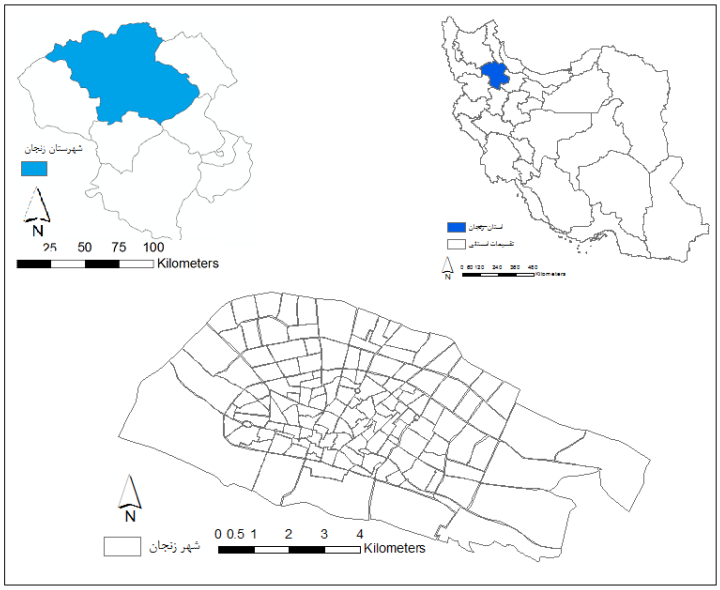
معادله ۳:

$$y_j = \beta_0(u_j, v_j) + \sum_{i=1}^{p} \beta_i(u_j, v_j)\, x_{ij} + \varepsilon_j$$

در اینجا u_j و v_j مختصات هر موقعیت برای j هستند، β_0 (u_j, v_j) محل تقاطع برای موقعیت j، β_0 (u_j, v_j) یک پارامتر محلی که متغیر مستقل x_i را در موقعیت j تخمین می‌زند و ε_j نیز خطای تصادفی با فرض $N(O, \sigma^2)$ (فرض نرمال بودن) است (Fang et al, 2015:254).

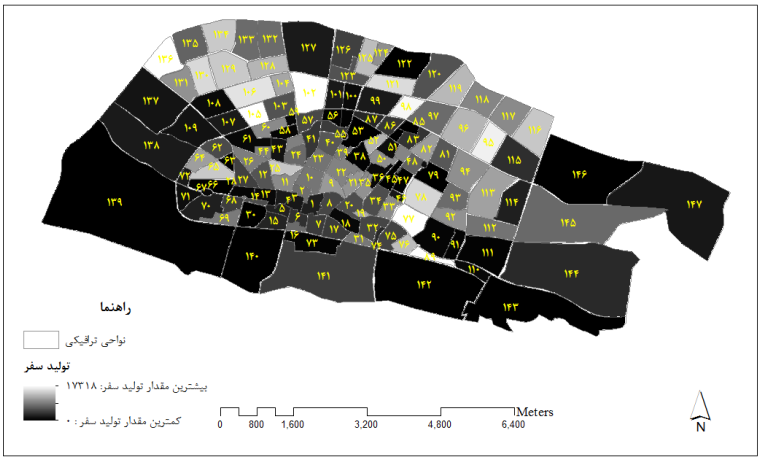
محدوده موردمطالعه

شهر زنجان به‌عنوان مرکز شهرستان و استان در فاصله ۳۳۰ کیلومتری تهران و ۲۹۳ کیلومتری تبریز واقع‌شده است. موقعیت جغرافیایی شهر منطبق بر ۱۴ دقیقه و ۴۸ درجه الی ۴۴ دقیقه و ۴۸ درجه طول شرقی و ۳۴ دقیقه و ۳۶ درجه الی ۴۸ دقیقه و ۳۶ درجه عرض شمالی می‌باشد. بر اساس آمار سرشماری سال ۱۳۹۵ این شهر دارای جمعیتی معادل ۴۳۳۴۷۵ نفر بوده است، که به‌عنوان بیستمین شهر کشور از لحاظ جمعیتی محسوب می‌گردد. مساحت شهر ۱۵۶ کیلومترمربع است که ۱۷ درصد مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده است. ارتفاع متوسط شهر زنجان ۱۶۶۳ متر از سطح دریا بوده و فاصله شمالی‌ترین نقطه شهر تا ایستگاه راه‌آهن که جنوبی‌ترین نقطه شهر محسوب می‌شود، حدود ۴ کیلومتر و شیب آن از شمال به جنوب نزدیک ۲ درصد است (مرکز آمار ایران،۱۳۹۴: ۸۹).



شکل ۱. محدوده موردمطالعه

در این مطالعه جهت ناحیه بندی ترافیکی شهر زنجان از ناحیه بندی موجود در مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر زنجان استفاده‌شده است. در این مطالعه شهر زنجان به ۱۵۰ ناحیه ترافیکی تقسیم‌شده است و تمامی مطالعات ترافیکی در قالب این ناحیه بندی انجام‌گرفته است. شکل ۲. ناحیه بندی ترافیکی شهر زنجان و میزان تولید سفرهای داخل شهری برای هر یک از نواحی ترافیکی را نشان می‌دهد. آمارهای ترافیکی به‌صورت مکانیزه و شامل کل سفرهای شهری روزانه برداشت‌شده است (اداره راهنمایی و رانندگی استان زنجان، ۱۳۸۹: ۳۵). همان‌طوری که شکل ۲. *ناحیه بندی ترافیکی شهر زنجان و میزان تولید سفرهای داخل شهری برای هر یک از نواحی* نمایش می‌دهد، حداکثر تولید سفر شهری در نواحی ترافیکی در حدود ۱۷۳۱۸ سفر شهری است که به ناحیه ۱۰۵ تعلق دارد. نواحی ۷۷، ۱۳۶، ۱۰۲ و ۸۹ از دیگر نواحی دارای حداکثر تولید سفر شهری می‌باشند که در شکل به رنگ سفید نمایش داده‌شده‌اند. نواحی ۵۳، ۷۹، ۱۲۲، ۱۴۶ و ۱۵۰، عمدتاً شامل نواحی تازه گسترده شده شهری می‌باشند که کمترین تولید سفر در این نواحی ثبت‌شده است.

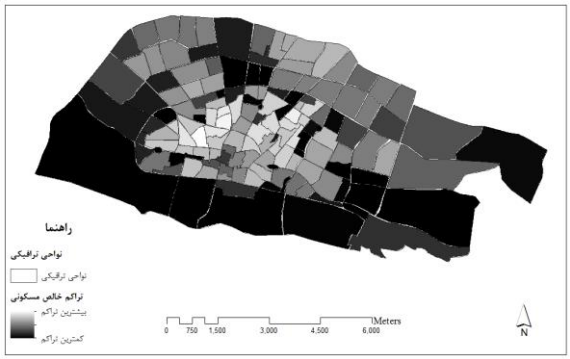


شکل ۲. ناحیه بندی ترافیکی شهر زنجان و میزان تولید سفرهای داخل شهری برای هر یک از نواحی، **منبع:** (مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر زنجان–اداره راهنمایی و رانندگی استان زنجان، ۱۳۸۹: ۳۲)

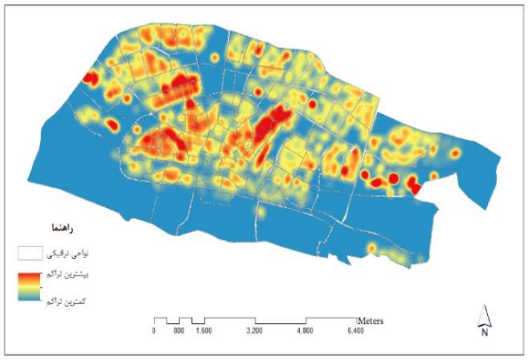
یافته‌ها

معیار تراکم

تراکم به‌عنوان انباشتگی از برخی معیارهای فضایی تعریف می‌شود که می‌تواند در مباحث فضای شهری شامل جمعیت، کاربری‌ها، نیروی کار، فضاهای ساخته‌شده و نظایر آن تعریف شود (Batty, 2009:576). بخشایش فضایی جمعیت و فعالیت، یکی از معیارهای اصلی در به وجود آمدن الگوهای سفر شهری است (Zhu et al, 2018:34). در این مقاله فرض بر این است که بافاصله گرفتن مراکز فعالیت از مناطق مسکونی، تولید سفر زیادی شکل می‌گیرد. جهت بررسی این معیار از دو لایه تراکم جمعیت و تراکم خالص مسکونی استفاده‌شده است. روش مورداستفاده برای تهیه لایه‌های مربوط به تراکم، روش کرنل[1] می‌باشد. از آنجائی که در هر یک از نواحی ترافیکی، تراکم‌های متنوعی وجود دارد، میانگین تراکم نواحی به‌عنوان خروجی برای هر یک از نواحی مدنظر قرارگرفته است. شکل تراکم خالص مسکونی را در نواحی شهر زنجان نشان می‌دهد. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، بیشترین تراکم مسکونی شهر، در قسمت‌های بافت مرکزی شهر می‌باشند. این قسمت‌ها در واقع هسته اولیه شهری زنجان نیز هست که در دهه‌های اخیر نیز بیشترین فعل و انفعالات شهرسازی در این منطقه انجام‌یافته است. ناحیه ۱۲، ۲۴ و ۵۱، اوج تراکم خالص مسکونی شهر زنجان می‌باشد که در شکل به‌صورت رنگ سفید نشان داده‌شده است. شکل ۴. تراکم جمعیتی در نواحی ترافیکی شهر زنجان نشان می‌دهد. همان‌طوری که شکل نشان می‌دهد، بیشترین تراکم جمعیتی شهر زنجان در ناحیه‌های متصل به بافت مرکزی شهر است که با داشتن مزایایی از جمله دسترسی به هسته‌های شهری، بیشترین پهنه‌های جمعیتی شهر را به خود اختصاص داده‌اند. در شکل مزبور، قسمت‌های پرتراکم به‌صورت لکه‌های قرمز رنگ نشان داده‌شده است. قسمت‌های جنوبی متصل به آزاد راه تهران–تبریز، کمترین جذب جمعیتی شهر را دارند. این قسمت‌ها در دهه‌های اخیر به حریم شهری زنجان پیوستن و عمدتاً تسهیلات اولیه شهری در این قسمت‌ها وجود ندارد و بر این اساس نتوانسته‌اند جاذب هسته‌های جمعیتی باشند. عمده کاربری‌های این قسمت از شهر شامل باغات، اراضی بایر بدون تفکیک و کارگاه‌های صنعتی می‌باشد. تراکم خالص مسکونی نیز همبستگی شدیدی با تراکم جمعیتی شهر دارد.



شکل ۳. تراکم خالص مسکونی در نواحی ترافیکی شهر زنجان



شکل ٤. تراکم جمعیتی در نواحی ترافیکی شهر زنجان

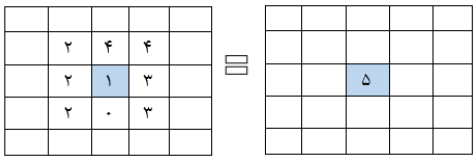
ترکیب کاربری

ترکیب کاربری به میزان هم‌جواری هر کاربری با کاربری‌های دیگر گفته می‌شود. در نظریه‌های مربوط به برنامه‌ریزی شهری، با افزایش میزان ترکیب کاربری‌ها، انجام سفرهای درون‌شهری به‌صورت محلی و بدون استفاده از حمل‌ونقل موتوری خواهد بود و بر این اساس یکی از محورهای اصلی توسعه کم کربن، ترکیب متناسب کاربری‌ها می‌باشد

1. Kernel

). ترکیب کاربری‌ها مشخص‌کننده محل فعالیت، سکونت، تفریح و سایر نیازمندی‌های شهری خواهد بود(Rodier, 2009:5) و بر این اساس تعیین‌کننده فرصت‌ها برای مبادی و مقاصد سفر و الگوهای سفر شهری هستند (Zhuo et al., 2019:54). در این مقاله جهت بررسی ترکیب فضایی کاربری‌ها، از روش آماره کانونی[1] استفاده‌شده است. در این روش، لایه کاربری اراضی باید به لایه رستری تبدیل شود و همچنین تنوع هر پیکسل یا سلول نسبت به سلول‌های مجاور موردسنجش قرار می‌گیرد(Allen, 2016:123). آماره کانونی عملگرهای متفاوتی را برای لایه‌های رستری محاسبه می‌کند). عملگری که ترکیب کاربری‌ها را در آماره کانونی محاسبه می‌کند، تنوع[2] می‌باشد. در واقع آماره کانونی تنوع، تعداد ارزش‌های منحصربه‌فرد (یا تنوع) را برای هر سلول (رستری) در یک واحد همسایگی مشخص، تعیین می‌کند)Donald & Dobbs, 2013:136 .(

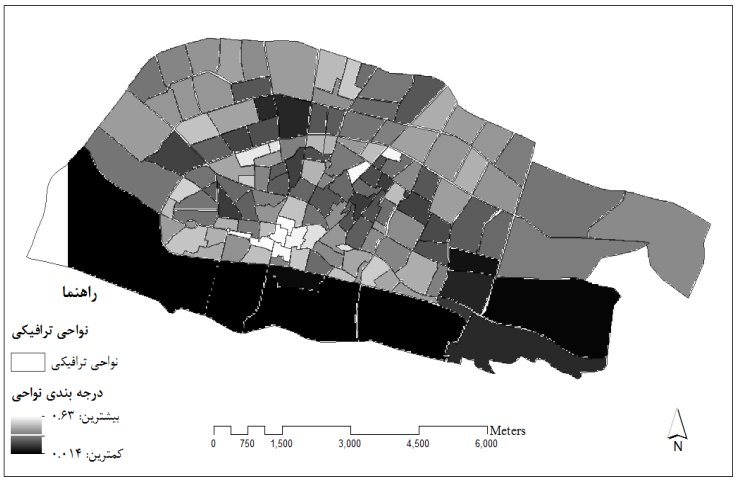
شکل ۱. عملگر تنوع در آماره کانونی در یک همسایگی ۳×۳ را نشان می‌دهد. در این واحد همسایگی، کاربری مرکزی (۱) دارای تنوع کاربری ۵ می‌باشد؛ به عبارتی خود کاربری مرکزی و کاربری‌های مجاور شامل ۵ نوع کاربری است.



شکل ۱. عملگر تنوع در آماره کانونی در یک همسایگی ۳×۳
(Donald & Dobbs, 2013:139)

در این مقاله از یک هم‌جواری ۳×۳ برای محاسبه تنوع کاربری‌ها استفاده‌شده است. خروجی آماره کانونی به‌صورت رستری می‌باشد که هر پیکسل، تنوع کاربری را در یک هم‌جواری ۳×۳ نشان می‌دهد. برای اینکه تنوع کاربری‌ها در نواحی ترافیکی قابل‌نمایش باشد، میانگین تنوع برای هر ناحیه حساب‌شده است و در ادامه عدد حاصل، استانداردسازی شده که به‌صورت ضریبی از صفر (یکدستی کامل کاربری‌ها) تا یک (تنوع حداکثری کاربری‌ها) نمایش داده شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد. در **Error! Reference source not found.**، نواحی که دارای بیشترین ترکیب کاربری‌ها می‌باشند، با رنگ سفید مشخص‌شده است که شامل نواحی ترافیکی ۱۸ و ۹ می‌باشند؛ بر این اساس، هسته‌های مرکزی شهر دارای بیشترین تنوع کاربری‌های شهری هستند. این مسئله موجب گردیده است که بیشترین جذب جمعیت نیز در این قسمت‌های شهر باشد؛ به‌طوری‌که بین ترکیب کاربری‌ها و تراکم جمعیتی شهر در بافت مرکزی، حدود ۰,۷ همبستگی وجود دارد. قسمت‌های تازه گسترش‌یافته شهری، دارای ترکیب کاربری کمتری می‌باشند که این موضوع در قسمت‌های جنوبی شهر و نواحی متصل به آزاد راه تهران–تبریز به کمترین میزان خود می‌رسد؛ به‌طوری‌که عمده این نواحی به‌صورت تک کاربری می‌باشند. بر اساس این ناحیه بندی می‌توان اذعان داشت که بافت مرکزی شهر دارای بیشترین ترکیب کاربری و بافت‌های میانی شهر دارای ترکیب کاربری متوسط و نواحی تازه متصل شده به حریم شهری، دارای کمترین ترکیب کاربری می‌باشند.

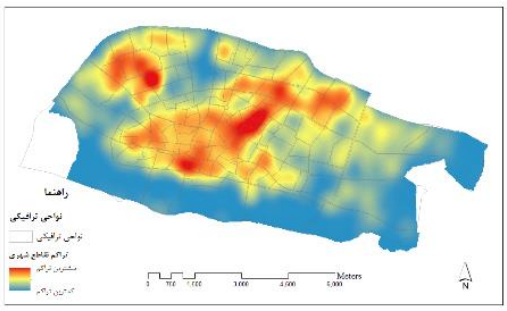
1. Focal Statistic
2. Focal variety



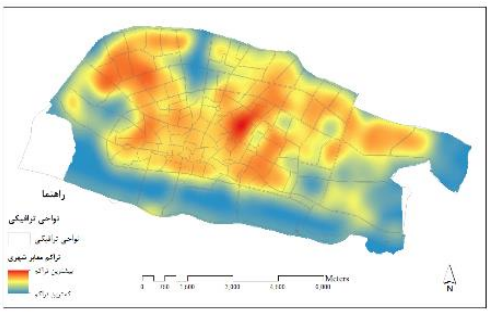
شکل ٦. درجه‌بندی نواحی بر اساس ترکیب کاربری‌ها با استفاده از روش فاصله کانونی

ویژگی‌های مربوط به معابر

کیفیت طراحی معابر، مکان‌یابی تقاطع‌ها و میدان‌ها، میزان دسترسی کاربری‌ها به معابر و نظایر آن، در انتخاب نوع سفر (اعم از پیاده، حمل‌ونقل با خودروی شخصی و نظایر آن) و متعاقباً، توسعه شهر کم کربن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این قسمت از پژوهش، تراکم تقاطع‌ها، تراکم خیابان‌ها و تراکم ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی جهت بررسی ویژگی‌های مربوط به معابر انتخاب‌شده است. برای تهیه لایه‌های مربوط به هر یک از معیارهای ذکرشده از روش تراکم کرنل استفاده‌شده است. همان‌طوری که اشکل و شکل نشان می‌دهد، تراکم معابر شهری، گسترش متعادل‌تری نسبت به تراکم تقاطع شهری زنجان دارند. ازدیاد تقاطع نشان‌دهنده وجود دسترسی‌های محلی بالا در نواحی شهری می‌باشد؛ درصورتی‌که نواحی دارای معابر شهری زیاد با تقاطع کمتر، نشان‌دهنده دسترسی‌های سریع همچون کمربندی‌های شهری و بزرگراه‌ها می‌باشند. این مسئله نشان‌دهنده ازدیاد معابر با دسترسی سریع و غیر محلی در نیمه شرقی شهر است که شامل ورودی‌های آزادراه‌های تهران تبریز و کمربندی اصلی شهر است.



شکل ۷. تراکم تقاطع شهر زنجان



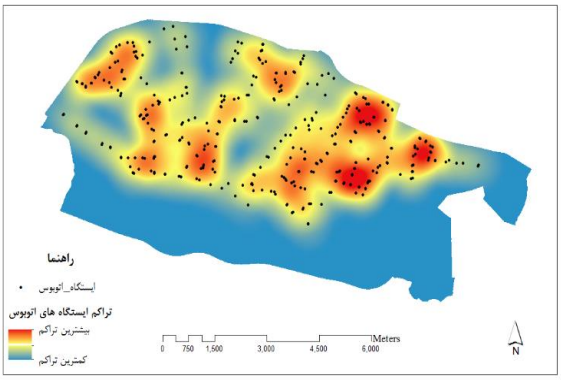
شکل ۸. تراکم معابر شهری زنجان

سیستم اتوبوس‌رانی شهر زنجان تنها سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر است که چند ویژگی بارز دارد؛ اولین ویژگی سیستم اتوبوس‌رانی شهر زنجان، گسترش آن در محورهای خاصی از شهر است که نتوانسته کل نواحی شهر را پوشش دهد؛ دومین ویژگی این سیستم، منتهی شدن آن به هسته مرکزی شهر است که این مسئله مشوق تک‌هسته‌ای شدن شهر زنجان هست؛ تراکم ایستگاه‌های اتوبوس در قسمت‌هایی از شهر و فاصله گرفتن ایستگاه‌ها در قسمت‌های دیگری از شهر، از دیگر ویژگی‌های سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر می‌باشد. مجموعه ویژگی‌های مطرح‌شده، به‌شدت در الگوی

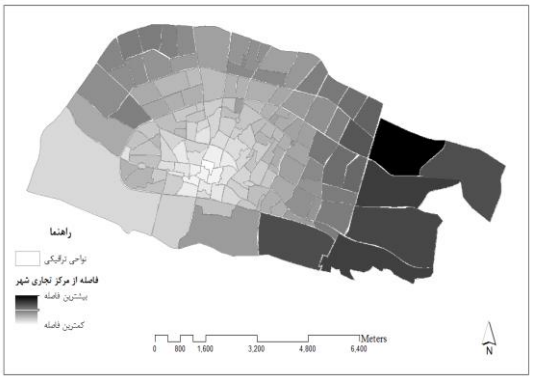
رفتار سفر و به‌ویژه انتخاب نوع سفر و انتخاب نوع حمل‌ونقل شهری تأثیر داشته است. شکل ۲، نمایی کلی از سیستم حمل‌ونقل عمومی شهر زنجان و بخشایش فضایی ایستگاه‌های اتوبوس شهری زنجان را نشان می‌دهد.

دسترسی به مرکز تجاری شهر

میزان دسترسی مناطق مسکونی به مرکز تجاری شهر، از دیگر معیارهای موردبررسی در این مقاله می‌باشد. بر اساس مبانی توسعه کم کربن، با نزدیک شدن به هسته‌های تجاری شهر، از حجم تولید سفرهای خودرو مبنا کاسته می‌شود و شکل عمده حمل‌ونقل به‌صورت پیاده محور و سفرهای کوتاه می‌باشد. همان‌طوری که پیش‌تر اشاره گردید، شهر زنجان از فرم شهری تک‌هسته‌ای شکل یافته است؛ جهت تهیه لایه دسترسی کاربری‌ها به مرکز تجاری شهر، از روش فاصله اقلیدسی استفاده‌شده است. در این مقاله، ناحیه ترافیکی ۳، به‌عنوان مرکز اصلی تجاری شهر زنجان در نظر گرفته‌شده است و شکل ۱۰. فاصله از مرکز تجاری شهر را نشان می‌دهد.



شکل ۲. تراکم ایستگاه‌های اتوبوس شهری زنجان



شکل ۱۰. فاصله از مرکز تجاری شهر

ارتباط بین شاخصه‌های فضایی و رفتار سفر شهری

این قسمت از مقاله در سه مرحله انجام‌گرفته است. در مرحله اول، اعتبار و همخوانی داده‌های موجود موردسنجش قرار می‌گیرد. در این روش داده‌های خارج از محدوده[1] مشخص می‌شود و تأثیر آن در رگرسیون، از بین می‌رود. بر این اساس، حدود بیست عدد پرت از عددهای کل متغیرها حذف می‌شوند.

در مرحله بعدی، خودهمبستگی فضایی بین متغیرها مدنظر می‌باشد. همان‌طوری که پیش‌تر ذکر شد، روش آماره موران برای بررسی خودهمبستگی فضایی متغیرها استفاده‌شده است. جدول ۱. آماره موران I برای آزمون فرض وجود خودهمبستگی مکانی برای شاخص‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طوری که جدول ۱. *آماره موران I برای آزمون فرض وجود خودهمبستگی مکانی برای شاخص‌ها* نشان می‌دهد، بیشترین مقادیر آزمون موران بزرگ‌تر از صفر است و بر این اساس می‌توان اذعان نمود که داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی می‌باشند. این مقادیر در متغیر دسترسی به مرکز تجاری شهر و ترکیب کاربری‌ها به بیشترین مقدار خود می‌رسد و در شاخصه‌های تراکم مسکونی و جمعیتی کمترین مقدار می‌باشد که بیشتر دارای الگوی تصادفی هستند و خودهمبستگی فضایی این دو متغیر بسیار ضعیف می‌باشد. همچنین مقادیر P-Value در بسیاری از شاخصه‌های مورداستفاده پایین می‌باشد و مقدار Z آن بزرگ‌تر است، بنابراین فرضیه صفر رد می‌شود و داده‌ها در حالت کلی دارای نوعی خوشه‌بندی فضایی می‌باشند. پس از بررسی وجود خودهمبستگی فضایی

1. Outlier

متغیرها، ارتباط فضایی بین شاخصه‌ها و الگوهای سفر مدنظر می‌باشد. از آنجائی که ارتباط فضایی داده‌ها در مرحله قبل اثبات‌شده است، مدل‌هایی در این مرحله مفید خواهند بود که نقش روابط فضایی را در انجام رگرسیون در نظر می‌گیرند؛ بنابراین از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی جهت بررسی ارتباط بین متغیرها استفاده‌شده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزنی *جغرافیایی* را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آماره موران I برای آزمون فرض وجود خودهمبستگی مکانی برای شاخص‌ها

متغیر	Moran's I	Expected I	Pattern	z-score	p-value
تراکم جمعیت	۰/۰۱۱۵۲۵	۰	Random	۱/۳۳۷۴۱۳	۰/۱۸۱۰۸۸
تراکم خالص مسکونی	۰/۰۶۳۶۳۲	۰	Random	۴/۴۸۷۹۲۳	۰/۰۰۰۰۰۷
ترکیب کاربری	۰/۴۴۱۵۱۹	۰	Clustered	۳/۱۱۱۳۰۲	۰/۰۰۱۸۶۳
تراکم تقاطع ها	۰/۲۸۵۱۰۰	۰	Clustered	۱۸/۶۶۱۵۳۶	۰/۰۰۰۰۰۰
تراکم خیابان ها	۰/۱۹۷۰۲۴	۰	Clustered	۱۳/۰۸۳۶۹۶	۰/۰۰۰۰۰۰
تراکم ایستگاه های اتوبوس	۰/۲۰۶۷۰۲	۰	Clustered	۷/۲۴۹۵۲۸	۰/۰۰۰۰۰۰
دسترسی به مرکز تجاری شهر	۰/۴۴۹۰۵۵	۰	Clustered	۲۹/۲۷۷۷۴۰	۰/۰۰۰۰۰۰

انواع مختلف پارامترها در مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی نشان داده می‌شوند. R^2 و R^2 تعدیل‌شده[1] از مهم‌ترین پارامترهای نشان داده‌شده هستند که در حقیقت نشان‌دهنده خوبی و دقت مدل مورداستفاده می‌باشند. هر چه این مقادیر به عدد یک نزدیک‌تر باشند به معنای آن است که متغیرهای توصیفی مورداستفاده توانسته‌اند به‌خوبی تغییرات متغیر وابسته را توضیح دهند. همان‌طوری که

جدول **۳.** *نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی* نشان می‌دهد، همه مقادیر R^2 و R^2 تعدیل‌شده، دارای مقادیر بالای صفر می‌باشند و همچنین R^2 کلی در این مدل برابر با ۰٫۶۶ است که این مسئله نشان‌دهنده همبستگی بالای بین متغیرها می‌باشد.

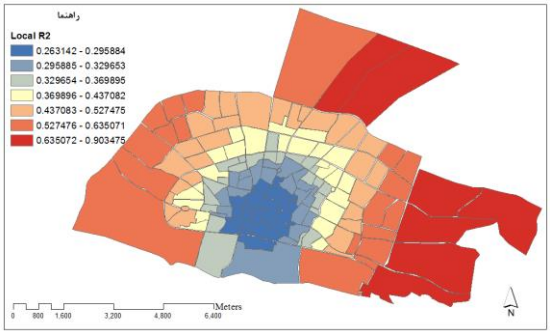
جدول ۳. نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی

متغیر	Residual Squares	Sigma	AICc	R2	Adjusted R2
تراکم جمعیت	۷۲۲۳۶۸۱۳۳	۲۲۸۱	۲۷۵۴	۰/۳۱	۰/۲۶
تراکم خالص مسکونی	۵۹۴۸۶۳۴۵۱	۲۰۷۷	۲۷۲۵	۰/۴۳	۰/۳۹
ترکیب کاربری	۵۵۹۷۶۹۹۲۶	۲۰۲۵	۲۷۱۸	۰/۴۶	۰/۴۲
تراکم تقاطع ها	۵۸۶۶۶۷۰۶۰	۲۰۶۷	۲۷۲۴	۰/۴۴	۰/۳۹
تراکم خیابان ها	۵۳۳۳۷۴۱۲۱	۱۹۷۶	۲۷۱۱	۰/۴۹	۰/۴۴
تراکم ایستگاه های حمل و نقل عمومی	۵۷۲۵۶۱۴۱۱	۲۰۴۶	۲۷۲۱	۰/۴۵	۰/۴۰
دسترسی به مرکز تجاری شهر	۶۷۱۴۴۹۱۳۹	۲۲۰۵	۲۷۴۳	۰/۳۶	۰/۳۱
کل متغیرها	۳۵۲۴۳۱۲۳۳	۱۷۰۹	۲۶۸۳	۰/۶۶	۰/۵۸

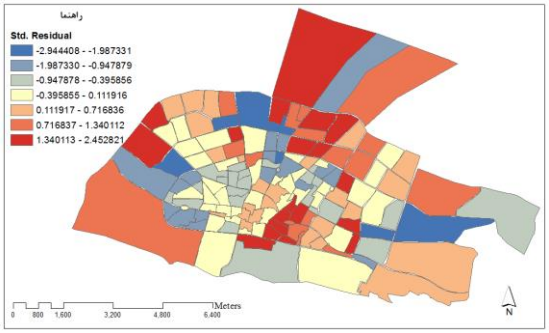
همچنین

1. Adjusted R^2

جدول نشان می‌دهد، ترکیب کاربری‌ها و تراکم خیابان‌ها با بیشترین میزان R^2، قدرت بیشتری در تبیین عوامل الگوی سفر با خودروهای شخصی دارند. به عبارتی، بیشترین دلیل سفر با خودروهای شخصی، ترکیب نامتعادل کاربری‌ها و طراحی نامناسب خیابان‌ها می‌باشد که موجب تشویق سفر با خودروی شخصی می‌شود. R^2 محلی از دیگر مقادیر R^2 می‌باشد که میزان R^2 را به‌صورت مقادیری در سطح ناحیه نشان می‌دهد. مقدار R^2 محلی از ۱-۰ متغیر است که مقادیر بسیار کم، نشان‌دهنده پیش‌بینی ضعیف مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی است و مقادیر بالا نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب این مدل می‌باشد. شکل ۱۱. R2 محلی برای نواحی ترافیکی شهر زنجان را در مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی نشان می‌دهد؛ همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، مقادیر R^2 در نواحی مختلف بین ۰,۲۶ تا ۰,۹۰ متغیر هست. این مقادیر بالا نیز نشانگر دقت بالای مدل می‌باشد.



شکل ۱۱. R2 محلی برای نواحی ترافیکی شهر زنجان



شکل ۱۲. مقادیر استانداردشده باقی‌مانده‌ها

از دیگر پارامترهای استفاده‌شده در مدل رگرسیون وزنی معیار اطلاعاتی آکائیکه (**AICc**[1]) است. معیار اطلاعاتی آکائیکه، معیاری برای سنجش میزان کارایی نسبی است و نشان می‌دهد که استفاده از یک مدل آماری به چه میزان باعث از دست رفتن اطلاعات می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، این معیار تعادلی میان دقت مدل و پیچیدگی آن برقرار می‌کند. مقدار کم این معیار بیانگر این است که مقدار تخمین زده‌شده توسط مدل، به مقدار مشاهده‌ای یا واقعیت زمینی نزدیک‌تر است. لازم به ذکر است که در معیار اطلاعاتی آکائیکه، حدی برای اعداد مطرح نمی‌باشد و مقایسه آن به‌صورت نسبی بین متغیرهای مستقل انجام می‌شود (Wang et al., 2005:392). همان‌طوری که

جدول **۳.** *نتایج حاصل از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی* نشان می‌دهد، تراکم خیابان‌ها و ترکیب کاربری‌ها از جمله متغیرهای مستقلی می‌باشند که دارای حد پایینی نسبت به سایر متغیرها می‌باشند و بر این اساس دقت برآورد مدل در این متغیرها بالا می‌باشد.

از دیگر معیارهای به‌کاررفته در رگرسیون وزنی جغرافیایی، مقادیر استانداردشده باقی‌مانده‌ها می‌باشند. شکل ۱۲. مقادیر استانداردشده باقی‌مانده‌ها را نشان می‌دهد. در نقشه اشاره‌شده، مقادیر کمتر از ۲- بیانگر این است که میزان تخمین مدل از مقدار مشاهده‌شده کمتر است و مقادیر بالای ۲ نشان می‌دهد که مقادیر تخمین شده بیشتر از مقادیر مشاهده‌شده است.

1. Akaike Information Criterion

بحث

در این مقاله به بررسی تأثیرات عناصر فرم شهری بر روی الگوهای سفر خودرو مبنا شهری پرداخته‌شده است که در نهایت عوامل مهم شناسایی‌شده و چارچوبی برای نیل به شهر کم کربن برای تصمیم گیران شهری فراهم گردیده است. نتایج حاصل از بررسی ادبیات نظری و دانش محلی نشان می‌دهد که معیارهای تراکم جمعیت، تراکم خالص مسکونی، ترکیب کاربری، تراکم تقاطع‌ها، تراکم خیابان‌ها، تراکم ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی و دسترسی به مرکز تجاری شهر، بیشترین تأثیر در تولید سفر در شهر زنجان دارد. نتایج حاصل از روش‌شناسی تحقیق نشان می‌دهد که در مباحث فضایی که معیارها تغییرات وابسته به مکان دارند، به‌کارگیری مدل‌هایی همچون مدل موران و روش رگرسیون وزنی جغرافیایی بسیار مفید می‌باشد. روش‌های مذکور، نواقص حاصل از مدل‌های رگرسیون خطی را در معیارهای وابسته به مکان، مرتفع می‌سازند و می‌توانند تغییرات مکانی متغیرها را در رگرسیون نمایش دهند. بر اساس نتایج حاصل از روش موران مشخص می‌شود که معیارهای به‌کاررفته بیشتر به‌صورت خوشه‌ای هستند و وجود خودهمبستگی مکانی بین معیارها، استفاده از روش‌های رگرسیون وابسته به مکان همچون رگرسیون وزنی جغرافیایی را مفیدتر می‌سازد. آماره‌های دقت سنجی و کارایی مدل همچون آماره آرکائیه و نظایر آن در روش رگرسیون وزنی جغرافیایی، اطمینان حاصل از خروجی مدل را افزایش می‌دهد و محقق با ضریب اطمینان بالا روش‌های مذکور را به کار می‌برد. همچنین مقادیر استانداردشده باقی‌مانده‌ها، در نواحی ترافیکی شهر زنجان به‌وضوح نشان می‌دهد که مقادیر تخمین زده با مقادیر مشاهده‌شده در چه نواحی از شهر متفاوت می‌باشد و این مسئله دیدگاه پژوهشگر را در مورد نتایج به‌دست‌آمده تکمیل‌تر می‌سازد.

نتیجه‌گیری

عناصر فضایی شهر و ارتباط آن با مؤلفه‌های سفر، یکی از مباحث نوین در نظام برنامه‌ریزی شهری دنیا جهت رسیدن به اهداف شهر کم کربن است. ادبیات تدوین‌شده در این زمینه هرچند نوپا می‌باشد، ولی سرعت علم افزایی در این زمینه بسیار سریع است و توانسته نظر بسیاری از کرسی‌های علمی و اجرایی جهان را به خود جلب نماید. آنچه در ادبیات علمی شهر کم کربن اندک است، بررسی صرف فرم‌های شهری و ارتباط آن با تولید سفرهای خودرو مبنا می‌باشد. این مسئله در پیشینه پژوهش مقاله حاضر به‌وضوح دیده می‌شود. به عبارتی پژوهشگران بیشتر به بررسی ارتباط بین فرم شهری و انواع گزینه‌های سفر اعم از پیاده محوری، استفاده از دوچرخه، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و خودرو شخصی پرداخته‌اند. حال‌آنکه عمده تأثیر فرم شهری در کاهش سفرهای خودرو مبنا است و بررسی ارتباط این دو مؤلفه بسیار کم است. از طرف دیگر، در منابع فارسی، همان‌طوری که چند مورد در پیشینه ذکر گردید، نگاه محدودی به عناصر فرم شهری دارند و یا بیشتر بر جزایر حرارت شهری و آلودگی هوا و ارتباط آن با مؤلفه‌های محدودی چون فضای سبز و یا کاربری اراضی، اهمیت می‌دهند. بنابراین این مقاله با توجه به محدودیت‌های مورداشاره انجام‌یافته است.

همچنین برای انجام این پژوهش سؤالی طرح‌شده بود که عبارت بود از: عوامل اصلی فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا در شهر زنجان، کدام عوامل می‌باشند؟ جهت پاسخگویی به سؤال مطروحه، فرضیه‌ای بر این اساس طرح گردیده است: چنین به نظر می‌رسد که ترکیب کاربری‌ها مهم‌ترین عوامل فرم شهری در تولید سفرهای خودرو مبنا می‌باشند. نتایج حاصل از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی نشان می‌دهد که تراکم جمعیتی در شهر زنجان با ضریب اهمیت ۰,۳۱، دارای کمترین ارتباط با سفرهای شهری به‌وسیله اتومبیل شخصی می‌باشد و دو معیار تراکم خیابان‌ها و

ترکیب کاربری‌ها با ضریب اهمیت به ترتیب ۰,۴۹ و ۰,۴۶ بیشترین اهمیت را در ایجاد سفر شهری با خودروی شخصی را دارند. بنابراین فرضیه اصلی پژوهش اثبات می‌شود. این مسئله اهمیت معیارهای فرم شهری را در الگوهای سفر شهری زنجان نشان می‌دهد؛ به عبارتی برخلاف تصور عموم، تراکم شهری در کنار عوامل فرم شهری بسیار تعدیل می‌یابد و عوامل فرم شهری اساس شکل‌گیری الگوهای سفر شهری می‌باشد. بر این اساس تصمیم‌گیرندگان مسائل شهری جهت نیل به توسعه شهر کم کربن، باید به اصلاح و تعدیل عناصر فرم شهری بپردازند. مهم‌ترین معیار فرم شهری که جهت نیل به توسعه شهر کم کربن باید در اولویت تداخل مدیران شهری زنجان قرار گیرد، ترکیب کاربری‌ها در نواحی شهری است. همان‌طوری که نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد، ترکیب کاربری‌های شهری از مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد الگوهای سفر اتومبیل مبناست. بر این اساس ایجاد محلات شهری با ترکیب کاربری متناسب، از تعداد سفرهای شهری اتومبیل مبنا به بافت مرکزی شهر خواهد کاست و راه برای توسعه شهر کم کربن بسیار هموار خواهد گشت. همچنین با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، پیشنهادهایی ارائه می‌گردد که به شرح زیر است:

- عمده‌ترین مسئله در مدیریت کربن هوای شهرهای ایران، نبود بسیاری از داده‌هاست. پایش تردد وسایل نقلیه در مدیریت کربن موجود در هوا بسیار ضروری است. در واقع جمع‌آوری داده، نقطه شروعی برای هر پژوهش و اجراست که در مورد آلودگی هوای شهرها و لزوم به‌کارگیری عناصر کالبدی جهت مدیریت آن، پایش تردد وسایل نقلیه بسیار ضروری می‌نماید.

- انجام مطالعات مبتنی بر شبیه‌سازی که بتواند نقش ترکیب کاربری‌ها را در الگوی سفر شهری شبیه‌سازی کند، بسیار مفید می‌باشد. در این مطالعات، میزان تأثیر کاربری‌ها در توسعه شهر کم کربن به‌صورت شبیه‌سازی عددی و گرافیکی مشخص می‌شود و نتایج حاصله به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری[1] برای مدیران شهری در برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های شهری بسیار مفید می‌باشد.

- گسترش طرح‌های شهری کم کربن در شهرهای ایران ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است؛ چرا که روش‌های به کار گرفته‌شده عاجز از حل مسئله کربن شهرهاست و وقت آن رسیده که اقدامات بنیادی برای رفع آلودگی هوا شهرها آغاز گردد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسنده از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

1. Decision Support System

منابع

آمار و اطلاعات ترافیکی شهر زنجان. (۱۳۸۹). *اداره راهنمایی و رانندگی استان زنجان*. مرکز آمار و اطلاعات.

سالنامه آماری استان زنجان. (۱۳۹۴). مرکز آمار ایران.

شریف زادگان، محمدحسین. (۱۳۹۳). *برنامه‌ریزی راهبردی توسعه پایدار شهری با تأکید بر شهر کم کربن*. کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی.

عبادی نیا، فهیمه. (۱۳۹۶). *بررسی تأثیر فرم شهر مشهد بر توسعه حمل‌ونقل کم کربن با رویکرد استراتژیک*. رساله دکترای تخصصی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد..

References

Albayati, D. M. F., Sipe, N. G., Alizadeh, T., & Tomerini, D. (2015). The impact of urban form on travel behaviour in three Baghdad neighbourhoods affected by terrorism. *Urban, Planning and Transport Research, 3*(1), 32-45. doi: 10.1080/21650020.2014.984080

Allen, D. W. (2016). *GIS Tutorial 2: Spatial Analysis Workbook*: Esri Press.

Batty, M. (2009). Defining Density. *Environment and Planning B: Planning and Design, 36*, (4), 571-572. doi:10.1068/b3604ed

Boarnet, M. G. (2011). A broader context for land use and travel behavior, and a research agenda. *Journal of the American Planning Association, 77*(3), 197-213. doi: 10.1080/01944363.2011.593483

Čampulová, M., Michálek, J., & Moučka, J. (2019). Generalised linear model-based algorithm for detection of outliers in environmental data and comparison with semi-parametric outlier detection methods. *Atmospheric Pollution Research, 10*(4), 1015-1023. doi: 10.1016/j.apr.2019.01.010

Casper, J. K. (2010). *Fossil fuels and pollution: the future of air quality*. Infobase Publishing. doi: 10.1021/acs.est.9b04958

Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2*(3), 199-219. doi: 10.1016/S1361-9209(97)00009-6

Choi, K. (2018). The influence of the built environment on household vehicle travel by the urban typology in Calgary, Canada. *Cities, 75*(4), 101-110. doi: 10.1016/j.cities.2018.01.006

Clifton, K., Ewing, R., Knaap, G. J., & Song, Y. (2008). Quantitative analysis of urban form: a multidisciplinary review. *Journal of Urbanism, 1*(1), 17-45. doi: 10.1080/17549170801903496

Denant-Boèmont, L., Gaigné, C., & Gaté, R. (2018). Urban spatial structure, transport-related emissions and welfare. *Journal of Environmental Economics and Management, 89*(2), 29-45. doi: 10.1016/j.jeem.2018.01.006

Donald, P. A., & Dobbs, G. R. (Eds.). (2013). *Emerging Methods and Multidisciplinary Applications in Geospatial Research*. Hershey, PA, USA: IGI Global.

Duggimpudi, M.B., Abbady, S., Chen, J., & Raghavan, V.V. (2019). Spatio-temporal outlier detection algorithms based on computing behavioral outlierness factor. *Data & Knowledge Engineering, 122*(1), 1-24. doi: 10.1016/j.datak.2017.12.001

Ebadinia, F. (2017). *Assesing the influence of urban form of Mashhad city on low-carbon transportation with emphasized on strategic approach*. Doctorain Thesis, Literature and Human Sciences collegue, Unversity of Ferdosi Mashhad. [In Persian].

Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment. *Journal of the American Planning Association, 76*(3), 265-294. doi: 10.1080/01944361003766766

Fang, C., Liu, H., Li, G., Sun, D., & Miao, Z. (2015). Estimating the Impact of Urbanization on Air Quality in China Using Spatial Regression Models. *Sustainability, 7*(11), 15570. doi: 10.3390/su71115570

Guerra, E., Caudillo, C., Monkkonen, P., & Montejano, J. (2018). Urban form, transit supply, and travel behavior in Latin America: Evidence from Mexico's 100 largest urban areas. *Transport Policy, 69*(2), 98-105. doi: 10.1016/j.tranpol.2018.06.001

Hao, Y., Peng, H., Temulun, T., Liu, L.-Q., Mao, J., Lu, Z.-N., & Chen, H. (2018). How harmful is air pollution to economic development? New evidence from PM2.5 concentrations of Chinese cities. Journal of Cleaner Production, *172*(3, 743-757. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.195

Jerrett, M., Burnett, R. T., Pope III, C. A., Ito, K., Thurston, G., Krewski, D., Thun, M. (2009). Long-term ozone exposure and mortality. *New England Journal of Medicine, 360*(11), 1085-1095. doi: 10.1056/NEJMoa0803894

Liu, Z., Ma, J., & Chai, Y. (2017). Neighborhood-scale urban form, travel behavior, and CO_2 emissions in Beijing: implications for low-carbon urban planning. *Urban Geography, 38* (3), 381-400. doi: 10.1080/02723638.2016.1191796

Meade, S., & Stewart, K. (2018). Modelling Cycling Flow for the Estimation of Cycling Risk at a Meso Urban Spatial Level. *Transportation Research Procedia, 34*(1), 59-66. doi: 10.1016/j.trpro.2018.11.014

Milakis, D., Efthymiou, D., & Antoniou, C. (2017). Built Environment, Travel Attitudes and Travel Behaviour: Quasi-Longitudinal Analysis of Links in the Case of Greeks Relocating from US to Greece. *Sustainability, 9*(10), 1774. doi: 10.3390/su9101774

Moradi, A., Hejazi, S. R., & Farsi, J. Y. (2015). Sustainability in Iran's road transport sector: evaluating strategies and policies. *Sustainable operations management, 28*(5), 203-222. doi: 10.1007/978-3-319-14002-5_10

Mouratidis, K., Ettema, D., & Næss, P. (2019). Urban form, travel behavior, and travel satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 129*(4), 306-320. doi: 10.1016/j.tra.2019.09.002

Munshi, T. G. (2013). *built form ,travel behaviour and low carbon development in ahmedabad, India*. (Doctrain), University of Twente.

Osorio, B., McCullen, N., Walker, I., & Coley, D. (2016). Understanding the relationship between energy consumption and urban form. *Athens J. Sci, 4*(6), 115-141. doi: 10.30958/ajs.4-2-3

Pan, H., Shen, Q., & Zhang, M. (2009). Influence of Urban Form on Travel Behaviour in Four Neighbourhoods of Shanghai. *Urban Studies, 46*(12), 275-294. doi: 10.1177/00420980080993

Rao, S., Klimont, Z., Smith, S. J., Van Dingenen, R., Dentener, F., Bouwman, L., Vuuren, D. P. (2017). Future air pollution in the Shared Socio-economic Pathways. *Global Environmental Change, 42*(7), 346-358. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.012

Renne, J. L. (2016). *Transit oriented development: making it happen*. Routledge.

Rodier, C. (2009). Review of International Modeling Literature:Transit, Land Use, and Auto Pricing Strategies to Reduce Vehicle Miles Traveled and Greenhouse Gas Emissions. *Transportation research record, 2132*(1), 1-12. doi: 0.1016/j.datak.2017.12.001

Sadahiro, Y. (2019). Statistical analysis of spatial segregation of points. *Computers, Environment and Urban Systems, 76*(5), 123-138. doi: 10.1002/ar.1092310413

Sharifzadegan, M. H. (2014). *Strategic planning in sustainable urban development with emphasising on low-carbon city*. Master thesis in urban planning, urban planning and archticture collegue, University of Shahid Beheshti. [In Persian].

Statistical Yearbook of Zanjan state. (2015). The static centers of Iran. [in Persian].

Stojanovski, T. (2019). Urban Form and Mobility Choices: Informing about Sustainable Travel Alternatives, Carbon Emissions and Energy Use from Transportation in Swedish Neighbourhoods. *Sustainability, 11*(2), 548-555. doi: 10.3390/su11020548

Tashayo, B., & Alimohammadi, A. (2016). Modeling urban air pollution with optimized hierarchical fuzzy inference system. *Environmental Science and Pollution Research, 23*(19), 19417-19431. doi: 10.1007/s11356-016-7059-5

Thompson, E. S., Saveyn, P., Declercq, M., Meert, J., Guida, V., Eads, C. D., Britton, M. M. (2018). Characterisation of heterogeneity and spatial autocorrelation in phase separating mixtures using Moran's I. *Journal of Colloid and Interface Science, 513*(6), 180-187. doi: 10.1016/j.jcis.2017.10.115

Traffic statistics of Zanjan. (2010). Traffic department of Zanjan state. Statistics Center. [In Persian].

Wang, Q., Ni, J., & Tenhunen, J. (2005). Application of a geographically-weighted regression analysis to estimate net primary production of Chinese forest ecosystems. Global Ecology and Biogeography, Vol.14, No.4, pp.379-393. doi: 10.1111/j.1466-822X.2005.00153.x

Wentong, Z., & Yidong, H. (2010). Planning Strategy and Practice of Low-carbon City Construction. Development in Wuhan, China. *Paper presented at the 46th ISOCARP Congress*.

WHO, W. H. O. (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease.

WHO, W. H. O. (2017). *Air Pollution in Zanjan, Iran*. from Numbeo https://www.numbeo.com/pollution/in/Zanjan-Iran.

Williams, K. (2014). Urban form and infrastructure: a morphological review.

Williams, K. (2017). *Spatial planning, urban form and sustainable transport*. Routledge.

Yi, Y., Ma, S., Guan, W., & Li, K. (2017). An empirical study on the relationship between urban spatial form and CO2 in Chinese cities. *Sustainability, 9*(4), 672-685. doi: 10.3390/su9040672

Yi-xin, D. (2009). The Necessity and Governance Model of Developing Low Carbon City in China [J]. *China Population Resources and Environment, 3*(6), 122-131.

Yu, H., & Stuart, A. L. (2017). Impacts of compact growth and electric vehicles on future air quality and urban exposures may be mixed. *Science of The Total Environment, 576*(5), 148-158. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.079

Zhang, J. J., & Day, D. (2015). Urban Air Pollution and Health in Developing Countries Air. *Pollution and Health Effects, 51*(5), 355-380. doi: 10.1007/978-1-4471-6669-6_13

Zhang, S., Liu, X., Tang, J., Cheng, S., & Wang, Y. (2019). Urban spatial structure and travel patterns: Analysis of workday and holiday travel using inhomogeneous Poisson point process models. *Computers, Environment and Urban Systems, 73*(2), 68-84. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2018.08.005

Zheng, B., Zhang, Q., Borken-Kleefeld, J., Huo, H., Guan, D., Klimont, Z., He, K. (2015). How will greenhouse gas emissions from motor vehicles be constrained in China around 2030?. *Applied Energy, 156*(2), 230-240. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.07.018

Zhu, X., Wang, F., & Chen, C. (2018). Personalized Control for Promoting Sustainable Travel Behaviors. *IFAC-PapersOnLine, 51*(9), 31-36. doi: 10.1016/j.trpro.2019.05.038

Zhuo, Y., Zheng, H., Wu, C., Xu, Z., Li, G., & Yu, Z. (2019). Compatibility mix degree index: A novel measure to characterize urban land use mix pattern. *Computers, Environment and Urban Systems, 75*(3), 49-60. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.01.005