

Research Paper

## Spatial analysis of the effect of city form on fuel consumption in karaj metropolis

Kiyan Shakarami<sup>a</sup>, Mohammad Rahim Rahnama<sup>a\*</sup>, Mohammad Ajza Shokouhi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Human Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

### ARTICLE INFO

**Keywords:**

Spatial Analysis,  
City form,  
Gasoline Consumption,  
Geographically Weighted  
Regression,  
Karaj city.



**Received:**

27 December 2021

**Received in revised form:**

1 March 2022

**Accepted:**

27 April 2022

pp.143-163

### ABSTRACT

Today, as the population of cities increases, environmental issues have surrounded the city and its citizens, so that experts seek to use the best solutions to deal with this problem. One of the effective strategies is to design the optimal form of cities. Therefore, the purpose of this study is to analyze the effect of city form on fuel consumption in the Karaj metropolis. In order to analyze the data, General G statistical test, and the Moran model have been used to determine the pattern of gasoline consumption in Karaj, and Geographically Weighted Regression (GWR) has been used to determine the spatial variation between city form variables (mixed-use, accessibility) and gasoline consumption. The results show that central neighborhoods 5,1,7,8,9; such as Dehghanvila 1 and 2, Hyderabad, West Golshahr 1 and 2, Movahedan town, East Golshahr, Mehrvila, and Kuye Karmandan have the highest accessibility index, and Mehrshahr suburbs, districts 10 and 6 have the lowest accessibility index to services, administrative, commercial, educational. Also, according to the value; Score = and value 0 = P-Value, it has been found that the pattern of gasoline consumption in Karaj is clustered. The accessibility index in the central areas of the city has the most appropriate average distance (less than 8 km) and these neighborhoods have the highest level of accessibility. Also, according to the obtained R2value, there is a high spatial relationship between the mixed-use index and gasoline consumption. That is, according to these two variables, the city form index justifies 95% of gasoline consumption at the level of confidence.

**Citation:** Shakarami, K., Rahnama, M. R., & Shokouhi, M. A. (2022). Spatial analysis of the effect of city form on fuel consumption in karaj metropolis. *Journal of Geographical Urban Planning Research*, 10 (1), 143-163.

<http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2022.328696.1569>

\* . Corresponding author (Email: [monsefmahmoud@yahoo.com](mailto:monsefmahmoud@yahoo.com))

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Extended Abstract

### Introduction

Today, the increasing urban population, along with unsustainable consumption patterns, is putting increasing pressure on land, water, energy, and other essential land resources. This situation can be beyond the limits of natural and economic resources and the bearing capacity of cities and endanger its ability to manage life in the long run. However, in the current situation, it can make fundamental changes in cities and human settlements due to the availability of knowledge and technology to human beings, and provide the best strategies for improving cities according to environmental conditions and the needs of citizens. One of the most important strategies in this field is to reduce the fuel of urban machinery. In fact, the main problem is that statistics show that about 19 percent of energy consumption and more than a quarter of the world's carbon dioxide emissions come from transportation. According to the forecasts, fuel consumption in the transportation sector will increase by 50% from 2005 to 2030 and by 80% by 2050. Today, most of the conferences and seminars held around the world on global warming and national energy security place great emphasis on reducing fuel consumption, especially fuels that produce high levels of environmental pollutants. Also in many types of research that have been done in the field of fuel consumption and reduction of its pollution around the world, most researchers emphasize that in the current situation, the most important solution is to reduce urban fuel consumption. And today, many countries are looking to reduce gasoline consumption to reduce dependence on oil as well as air pollution. For example, in a country like; The United States, passenger vehicles make 16% of total greenhouse gas emissions. In Iran, the transportation sector is one of the largest energy-consuming sectors, so that in the last 10 years, energy consumption in the transport sector has grown by 6.67 percent annually, while the growth rate of final energy consumption in other sectors has been 5.47 percent faster. According to the International Energy Agency, Iran is among the top ten countries with 521 million tons of carbon dioxide emissions in the world in

2015. Karaj metropolis is no exception to this rule and factors such as: proximity to the capital, the exhaustion of the public transport fleet, the lack of subway lines, and the lack of BRT have led to the excessive use of personal vehicles for intra-city traffic, which has led to increased fuel consumption in the metropolis. Thus, on a 3-year average, the metropolis of Karaj consumed about 490 million liters of gasoline per year. Which shows a high figure.

### Methodology

The research method is descriptive-analytical, and the purpose is applied. The data and information required for the research have been collected in two ways: library (study of documents, plans, articles, etc.) and referring to related organizations (municipality, National Company for Distribution of Petroleum Products, etc.). The statistical sample of the research is 173 neighborhoods of Karaj city and 35 refueling stations (gasoline) that have been used for spatial analysis. For spatial analysis, there are different models for measuring spatial autocorrelation statistics, which in the present study used the Moran model and G / Clustering (Getis-Ord General G) High / Low statistics in GIS software. Also, in order to show the spatial distribution of the pattern governing energy consumption (gasoline consumption), Hot Spot Analysis of Amartgis-Ard Gi has been used to show that where the data are clustered high or low. Finally, the Geographic Weight Regression (GWR) tool is used to determine the spatial variation between the independent and dependent variables.

### Results and discussion

Using local weight regression, the effect of accessibility index as an important index of city form on gasoline consumption has been estimated. The value of  $R^2$  of the accessibility variable is equal to 0.88. That is, the city form index justifies 88% of gasoline consumption according to this variable at the 95% confidence level. Also, the value of AICc2 indicates a low number, which indicates better compliance of the model with observational data. The descriptive statistic Pridicted shows significant changes in that it clearly shows

the spatial variation between the independent variable and the dependent variable towards the marginal regions and to some extent the center of the regions (1,10,8,8,7). In other words, contrary to the current practice, the relationship between accessibility and gasoline consumption in these areas and neighborhoods is expected to change spatially towards these areas. Also, the user mixing index, the value of R<sup>2</sup> of the user mixing variable is equal to 0.87. That is, the city form index justifies 87% of gasoline consumption according to this variable at the 95% confidence level.

### Conclusion

According to the final conclusion of the spatial analysis of this research it can be said in the current situation, there is a spatial correlation of over 70% between the form of Karaj city and gasoline consumption. Thus, the obtained R<sup>2</sup> in both indicators of the city form is above 75% and in fact, shows a high level of significance. Also in the analysis of gasoline consumption pattern, Moran statistic and G statistic confirm that gasoline consumption follows a cluster pattern. In fact, according to the results of these two statistics, it can be said that the data have a high spatial correlation. Thus,  $462 / 10Z$ -Score = is significant at the level of 0.01 And the value of 0 = P-Value is rejected based on the null hypothesis. The value of

these two parameters indicates the pattern of the spatial distribution of clusters of gasoline consumption data in the neighborhoods of Karaj. Also, the value of Pridicted obtained in both indicators (accessibility and user mixing) shows a high spatial correlation with gasoline consumption, and of course, spatial changes can be expected from urban areas: 8, 9, 1, and 5 to suburban areas and neighborhoods of the city. Finally, it can be said that a significant relationship has been confirmed between the city form variable and gasoline consumption.

### Funding

There is no funding support.

### Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

### Acknowledgments

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

## تحلیل فضایی تأثیر فرم شهر بر مصرف سوخت کلان‌شهر کرج

کیان شاکرمی – گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
محمد رحیم رهنما<sup>۱</sup> – گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
محمد اجزاء شکوهی – گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

#### واژگان کلیدی:

تحلیل فضایی، فرم شهر، مصرف بنزین، رگرسیون جغرافیایی وزنی، شهر کرج.



#### تاریخ دریافت:

۱۴۰۰/۱۰/۰۷

#### تاریخ بازنگری:

۱۴۰۰/۱۲/۱۰

#### تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۲/۰۷

صص. ۱۶۳-۱۴۳

امروزه با افزایش جمعیت شهرها مسائل زیست‌محیطی شهر و شهروندان را احاطه کرده است، به‌طوری‌که کارشناسان به دنبال استفاده از بهترین راهکارها جهت مقابله با این مسئله هستند، و یکی از استراتژی‌ها موثر طراحی فرم پهنه شهرها است. لذا هدف تحقیق حاضر تحلیل فضایی تأثیر فرم شهر بر مصرف سوخت کلان‌شهر کرج است. در جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آماری عمومی G و مدل Moran عمومی جهت تعیین الگوی مصرف بنزین شهر کرج، و از ابزار رگرسیون وزنی جغرافیا (GWR) برای تعیین تغییرات فضایی بین متغیر فرم شهر (اختلاط کاربری، دسترسی‌پذیری) و مصرف بنزین استفاده شده است. نتایج نشان داد: محلات مرکزی مناطق ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ مانند: دهقان و ویلا اول و دوم، حیدرآباد، گلشهر غربی ۱ و ۲، شهرک موحدان، گلشهر شرقی، مهرویلا و کوی کارمندان دارای بالاترین شاخص دسترسی‌پذیری و محلات حاشیه مهرشهر، منطقه ۱۰ و ۶ دارای کمترین شاخص دسترسی‌پذیری به خدمات، امور اداری، تجاری، آموزشی هستند. همچنین با توجه مقدار  $Score = 0$  و مقدار  $P-Value$  مشخص شد که الگوی مصرف بنزین شهر کرج خوشه‌ای است. شاخص دسترسی‌پذیری در مناطق مرکزی شهر دارای مناسبترین میانگین فاصله (کمتر از ۸ کیلومتر) است و این محلات دارای بالاترین سطح دسترسی‌پذیری هستند. همچنین با توجه به مقدار  $R^2$  به دست آمده بین شاخص اختلاط کاربری و مصرف بنزین رابطه فضایی بالایی برقرار است: یعنی شاخص فرم شهر با توجه به این دو متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ مصرف بنزین را توجیه می‌کند.

**استناد:** شاکرمی، کیان؛ رهنما، محمد رحیم و شکوهی، محمد اجزاء (۱۴۰۱). تحلیل فضایی تأثیر فرم شهر بر مصرف سوخت کلان‌شهر کرج. مجله پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۱۰ (۱)، ۱۶۳-۱۴۳.

 <https://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2022.328696.1569>

## مقدمه

امروزه شهرها، مکان اصلی کار و زندگی بخش عمده نسل بشر شده‌اند. و متعاقباً در سطح جهان، جمعیت شهرها در حال رشد است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۶۰٪ از جمعیت جهان در شهرها زندگی کنند (Akande, 2019: 476). تداوم این‌گونه رشد شهرنشینی با مشکلات اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی، بحران آفرین و هشدار بر ناپایداری شهرها است (غفاریان بهرمان و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۶). درواقع افزایش جمعیت شهری به همراه الگوی مصرف ناپایدار، فشار فزاینده‌ای را بر زمین، آب، انرژی و سایر منابع ضروری زمین وارد می‌کند. این وضعیت می‌تواند فراسوی حدود منابع طبیعی و اقتصادی و ظرفیت تحمل شهرها باشد و توانایی اداره‌ی زندگی آن را در درازمدت به مخاطره بیندازد (شاهینی فر و حبیبی، ۱۳۹۴: ۴۲).

در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته نیز علی‌رغم وضعیت اجتماعی و اقتصادی پایدار، نرخ شهری بسیار زیاد را نشان می‌دهند؛ و اخیراً، زندگی در مناطق شهری این کشورها به دلیل افزایش دمای شهری و آلودگی هوا همراه با گرم شدن کره زمین، به‌طور فزاینده‌ای ناراحت‌کننده است (Kim, 2019: 41). این مسئله در کشورهای درحال توسعه اهمیت بالاتری دارد زیرا که کمبود و ناقص بودن اطلاعات در زمینه مصرف انرژی در شهرهای این کشورها باعث شده بهینه‌سازی ساخت شهر و برنامه‌ریزی شهری در این ارتباط محدود باشد (Sikder, 2018: 11). باوجوداین شرایط، امروزه به‌واسطه وجود دانش و تکنولوژی در دسترس بشر می‌تواند تغییراتی اساسی در شهرها و محل سکونت انسانی ایجاد نماید و با توجه به شرایط محیط‌زیست و نیازهای شهروندان، بهترین استراتژی‌ها را در جهت به‌روزرسانی شهرها ارائه نماید (Surkyn, 2004: 56). یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های کلیدی در این زمینه کم کردن سوخت ماشین‌آلات شهری است. درواقع مسئله اصلی اینجا است که آمارها نشان می‌دهد، حدود ۱۹ درصد از مصرف انرژی و بیش از یک‌چهارم دی‌اکسید کربن انتشاریافته در جهان، ناشی از حمل‌ونقل می‌باشد؛ و بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۳۰ به میزان ۵۰ درصد و تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت (عبادی نیا و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۶).

به‌طوری‌که امروزه در اکثر همایش‌ها و کنفرانس‌هایی که در سراسر جهان در ارتباط با گرمایش جهانی و امنیت ملی انرژی برگزار می‌شود، تأکید بسیاری بر کاهش مصرف سوخت و بخصوص سوخت‌هایی که آلاینده‌های محیطی زیاد تولید می‌کنند انجام می‌گیرد (Jhang et al, 2020: 2). همچنین در تحقیقات بسیاری که در زمینه مصرف سوخت و کاهش آلودگی‌های ناشی از آن در سراسر دنیا انجام گرفته اکثر محققان تأکید دارند که در شرایط کنونی مهم‌ترین راهکار کاهش مصرف سوخت شهری است (Barakat, 2016: 3110; Ceviz, 2005: 920; Martin, 2019). و امروزه برای کاهش وابستگی به نفت و هم برای کاهش آلودگی هوا، بسیاری از کشورها به دنبال کاهش مصرف بنزین هستند. به‌طور مثال در کشوری مانند؛ ایالات متحده، و سایل نقلیه مسافری ۱۶٪ از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهند (Banzhaf & Kasim, 2019: 1).

سیاست‌های کاهش مصرف بنزین به‌طور کلی به دودسته اصلی تقسیم می‌شوند: سیاست‌های مبتنی بر قیمت و سیاست‌های عملکردی، سیاست‌های مبتنی بر قیمت مانند مالیات بر بنزین که در کشورهای مختلف متفاوت است به‌طور مثال در میان کشورهای OECD، آمریکا به مقدار ۰٫۵۴، کمترین مقدار مالیات را بر سوخت پس‌انداز می‌کند، ژاپن ۲٫۰۶، آلمان ۳٫۶۴ و انگلستان بیشترین میزان مالیات به مقدار ۴٫۳۹ می‌باشد (OECD, 2016). اما یکی از سیاست‌های عملکردی، جهت دستیابی به توسعه پایدار، کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای که در دو دهه اخیر بیشتر

موردتوجه محققان و سیاستمداران قرار گرفته، اصلاح فرم شهر می‌باشد (حاجی پور و فروزان، ۱۳۹۳: ۱۸) لذا باوجوداین پیامدها و شدت گرفتن مشکلات زیست‌محیطی در شهرها، در راستای چاره‌اندیشی برای بحران‌های به وجود آمده، تلاش‌ها به شناخت الگوهای رشد و توسعه‌ی شهری و تحقق فرم شهری پایدار معطوف شده است (رضازاده، ۱۳۹۵: ۳). در این میان گروهی از برنامه ریزان، طرفدار پخش و سبب‌تر و پراکنده‌تر شهرها بوده و گروه دیگر در مقابل گروه اول، به تجمع و تمرکز بیشتر شهرها اعتقاد داشته و بیان می‌کنند که مسائل و مشکلات شهری را بایستی از راه بالا بردن تراکم در مناطق شهری و متمرکز کردن کاربری‌های شهری در کنار یکدیگر از بین برد (رهنما و عباس زاده، ۱۳۸۷: ۲۱). به‌طوری‌که معتقدند، فرم شهری جمع‌وجور و فشرده یکی از شاخصه‌های مهم مطرح شده در زمینه کاهش مصرف انرژی می‌باشد (Resch, 2016: 801). بر طبق گزارش سازمان ملل متحد، فرم شهر دارای تأثیر مستقیم بر مصرف انرژی (و دستیابی به توسعه پایدار) می‌باشد. در این بین بعضی از زوایای ارتباط بین فرم شهر و میزان مصرف انرژی به‌خوبی توصیف شده‌اند ولی چنین مطالعاتی عمدتاً یا بر روی بخش حمل‌ونقل تمرکز می‌کنند و یا مدل‌های موجود مصرف انرژی در بخش ساختمانی بر ساختمان‌های منفرد تمرکز می‌کنند و در نتیجه اهمیت پدیده‌های بزرگ‌مقیاس تر نادیده گرفته می‌شود (Marique & Reiter, 2011). فرم شهری و طراحی محلات نقش مهمی را در انتخاب وسیله سفر و مسافت طی شده بازی می‌کنند به‌طوری‌که تراکم جمعیتی، کاربری زمین و حمل‌ونقل گسترده ارتباط مستقیم با سفر به وسیله اتومبیل دارند (Hankey & Marshal, 2010: 2884).

لذا انتخاب فرم کالبدی شهر متناسب با الگوی مصرف انرژی، به یکی از مهم‌ترین موضوعات و مسائل برنامه‌ریزی شهری تبدیل شده است. زیرا غلبه الگوی شهر ماشینی بر سایر الگوهای شهری باعث ترویج و تشویق فرم کالبدی شهر پراکنده، حومه‌نشینی و عواقب ناشی از آن، از جمله افزایش مصرف انرژی، جدایی محل کار و زندگی، تفکیک کاربری‌ها و آلودگی زیست‌محیطی شده است (قربانی، ۱۳۸۴: ۱۱). و با توجه به اینکه مشخص شده است که شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری (فرم شهر) چگونه بر مصرف انرژی اثرگذار است. لذا مهم است که ویژگی‌ها و میزان مصرف انرژی ساکنان را برای ارائه پیشنهاد مؤثری برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در آینده اهمیت دهیم (Yang et al, 2019: 171). بخش حمل‌ونقل امروزه یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در ایران است، به‌طوری‌که در ۱۰ سال اخیر مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل سالیانه ۶/۶۷ درصد رشد داشته است، که میزان رشد مصرف نهایی انرژی در سایر بخش‌ها ۵/۴۷ درصد سریع‌تر بوده است (عبادی نیا، ۱۳۹۶: ۹).

طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، ایران در سال ۲۰۱۵ با انتشار ۵۲۱ میلیون تن گاز دی‌اکسید کربن جز ده کشور اول جهان است (آمارنامه فرآورده‌های نفتی، ۱۳۹۵). ادامه چنین وضعیتی در آینده پیامدهای سیاسی، اقتصادی، محیط زیستی زیادی را برای کشور در پی خواهد داشت که باید بدان توجه خاص شود. در این میان کلانشهر کرج، در بحث فرم شهری، تراکم جمعیتی و توسعه فضایی، در طی دوره‌های زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵ روند متفاوتی طی کرده است. به‌طوری‌که آمارها نشان می‌دهد؛ در سال ۱۳۳۵ تراکم جمعیتی این شهر ۷۲/۶۳ نفر در هکتار بوده است اما در سال ۱۳۹۵ به ۱۱۱ نفر در هکتار رسیده است. به‌طور کلی تغییرات زمانی تراکم شهر منجر به تغییراتی در فرم شهری کرج شده است به‌طوری‌که؛ تراکم شهری بین سال ۱۳۳۵-۱۳۴۵ روند نزولی داشته است و شهر در این دوره زمانی دچار پراکنده رویی شده است. در ادامه بین سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۷۵ تراکم شهر روندی صعودی داشته است، لذا شهر به صورت فشرده رشد کرده است (شماعی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۹). در زمینه مصرف سوخت کلان شهر کرج عواملی از قبیل؛ نزدیکی به پایتخت، فرسودگی ناوگان حمل‌ونقل عمومی، نداشتن خطوط مترو داخل شهری و نداشتن بی‌آرتی، باعث استفاده بیش‌ازحد از وسایل

شخصی برای عبور و مرور درون شهری شده است که این مسئله باعث بالا رفتن میزان مصرف سوخت در سطح این کلان شهر شده است. به‌طوری در یک میانگین ۳ ساله کلان شهر کرج حدود ۴۹۰ میلیون لیتر بنزین در سال مصرف داشته است. که رقم بالایی را نشان می‌دهد. لذا با توجه به موضوعات و مسائل مطرح شده هدف اصلی تحقیق حاضر، تحلیل و ارزیابی تأثیر فرم شهر بر مصرف سوخت کلان شهر کرج است. و در راستای این هدف پاسخگویی به سؤالات زیر ضروری است؛ ۱- فرم شهر کرج با توجه به شاخص‌های فرم شهری (دسترسی پذیری، اختلاط کاربری) در چه وضعیتی قرار دارد؟ ۲- الگوی مصرف بنزین در سطح شهر کرج در چه وضعیتی قرار دارد؟ ۳- بین فرم شهر و مصرف بنزین چه رابطه معناداری برقرار است؟

طبق مطالعات و بررسی‌های انجام شده توسط پیتر نیوتن<sup>۱</sup> بر روی شهرهای استرالیا، همراه با بررسی الگو سازی زمین- کاربری اراضی- حمل‌ونقل- محیط‌زیست و غیره، نتایج زیر در رابطه با شکل شهری و مصرف انرژی حاصل شده است. شهر متراکم کارآمدترین مصرف سوخت در تمام اشکال شهری را پدیدار می‌سازد. این شکل شهری نسبت به وضع موجود سایر فرم‌های شهری ۴۳ درصد کمتر سوخت مصرف می‌کند (مرتضوی، ۱۳۹۶: ۶). تأثیرات تراکم شهری بر روی مصرف انرژی پیچیده است. مراکز مصرفی انرژی بسیار متمرکز و فشردگی الگوهای کاربری دانه‌های شهری، فواید زیادی را برای توزیع انرژی و طراحی سامانه‌ی حمل‌ونقل به همراه دارند (Hui & sam, 2001). نتایج تحقیق سردره (۱۳۹۲)، در ارتباط با فرم شهر و مصرف انرژی نتایج داد که؛ میزان تأثیر شاخص‌های فرم شهری بر مصرف انرژی در کلان‌شهرهای ایران بیش از ۱۰ درصد است. همچنین نتایج تحقیق رستگاری (۱۳۹۵) در زمینه فرم شهر و مصرف انرژی نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد: میزان رضایتمندی از سفرهای شهری در محلاتی که به مرکز شهر نزدیک‌تر هستند، مانند محله ۲۰۲ و ۲۰۳ که دارای فرم‌های متراکم‌تر، اختلاط کاربری و سطح دسترسی بالاتر بودند. عبادی نیا (۱۳۹۶) در پژوهشی در ارتباط با فرم شهر از شاخص‌های چون تراکم، طراحی، دسترسی‌پذیری و فاصله تا حمل‌ونقل عمومی استفاده است. درنهایت نتایج به‌دست‌آمده نشان داد: در فاز اول نتایج حاصل از مدل‌هایی چون دسترسی هنسن، آنتروپی شانون و تحلیل شبکه در GIS و همچنین روابط همبستگی و رگرسیون چند متغیره میان ۵ متغیر پایدار فرم شهر و VKT<sup>۲</sup> حاصل از تردد خودروها نشان داد که بیش از همه شاخص دسترسی‌پذیری به مراکز اشتغال می‌تواند باعث کاهش VKT گردد. نتایج تحقیق جیمز و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) نشان داد؛ از دهه ۱۹۸۰، بسیاری از توسعه شهرهای جدید در چین به‌طور چشمگیری از شکل شهری سنتی به عابر پیاده دوچرخه محور تغییر رویکرد دادند. همچنین در تحقیق کنت و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) چند شهر به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است و تأثیر شکل شهر بر مصرف انرژی در سطح محلات مورد آنالیز و ارزیابی قرار گرفته شده است. یافته‌های تحقیق اسرو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۲) که بر روی یک شهر متوسط اندام در کشور اسپانیا انجام شده و اثرات PM10, NCO مورد آنالیز قرار گرفته شده است. نتایج نشان داد: به‌کارگیری سیستم‌های جدید در وسایل نقلیه جهت کم کردن آلاینده‌های شهری فقط می‌توان بخش اندک و ناچیزی از شدت آلاینده‌ها را کاهش دهد. از طرف دیگر طراحی شهری محلی و در مقیاس کوچک و متوسط می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش آلودگی‌های محیطی و آلاینده‌ها داشته باشد. همچنین یافته‌های تحقیق حسیه و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۷) در ارتباط با تراکم فرم

1 . Peter newton

2 . vehicle Kilometer Travel

3 . James dal

4 . Kenneth

5 . Acero

6 . Hsieh

شهرى و کاربرى زمين نشان داد؛ استفاده از فرم متراكم شهرى مى تواند تأثيرگذارى بالايى در زمينه استفاده مناسب تر از کاربريهائى شهرى داشته باشد. يونگلينگ<sup>۱</sup> و همكاران (۲۱۰۷) به بررسى ابعاد مختلف فرم شهر از جمله اثرگذارى بر مصرف انرژى پرداختند كه نتايج تحقيق مويد اين مطالب بود؛ كه بين فرم شهر و مصرف انرژى رابطه معنادارى وجود دارد. لذا بايد ابعاد فرم شهر بازيينى تازه صورت گيرد. جاورودى<sup>۲</sup> و همكاران (۲۰۱۸) به بررسى فرم شهر و بعد بلندمرتبه سازى آن پرداختند؛ نتايج تحقيق نشان داد كه بلندمرتبه سازى شهرها در صورتى كه مبتنى بر برنامه ريزى فرم فشرده شهرى باشد نتايج بهترى در زمينه صرفه جويى در حاملهاى مختلف انرژى خواهد داشت. نتايج تحقيق، ليو<sup>۳</sup> و شين (۲۰۱۱)، در زمينه فرم شهرى نشان داد؛ فرم شهر تأثيرگذارى بالايى بر حمل و نقل و سفر خانوارها دارد و در واقع شكل پراكنده شهر منجر به هزينه هاى بالا و صرف زمان بيشتري بر خانوارها مى شود كه قاعدتاً تعداد سفرها را کاهش مى دهد. آلوبيدى<sup>۴</sup> (۲۰۱۶)، در زمينه ارتباط بين فرم شهر و گرمائى شهر بغداد به اين نتيجه رسيد كه؛ تراكم بيش از حد در نقاطى از شهر منجر به ايجاد جزاير گرمائى مى شود. شجاع و همكاران (۱۳۹۸)، فراتحليلى بر تحقيقات صورت گرفته در زمينه فرم شهر انجام دادند كه نتايج نشان داد؛ بسيارى از تحقيقاتى كه در اين حوزه انجام شده است در زمينه تأثير فرم شهر بر مصرف انرژى بوده است. همچنين مصرف انرژى در حوزه حمل و نقل و سوخت، مصرف برق و گاز، آب و فاضلاب شهرى در تحقيقات فرم شهرها بيشتر مورد بررسى قرار گرفته اند.

### مبانى نظرى

فرم شهر به طور كلى به مفهوم الكوى فضايى عناصر كالبدى بزرگ، بى حركت و دائمى در شهر نظير ساختمان ها، خيابان ها، تجهيزات، تپه ها، رودخانه ها و شايد هم درختان مى باشد. به اين عناصر واژه هاى مشخص كننده گوناگونى كه تعيين كننده نوع کاربرى، كيفيت و يا چگونگى مالكيت آنها باشد ضميمه مى شود. معمولاً فرم شهرى را توزيع فضايى کاربرى اراضى و ويژگى هاى جمعيتى (كل جمعيت، تعداد خانوار، اشتغال و غيره) تعريف مى كنند (Zhang et al, 2016: 139). به طور اختصاصى ساختار شهرى با رويكردها و روش هاى مختلف نظير شهر فشرده، چندمركزى و فرم هاى شهرى اسپرال، شهر حاشيه اى، شهر لبه اى و شهر اقمارى بررسى و تحليل شده است (ديوسالار و همكاران، ۱۳۹۸: ۴۱). اسپكدر و همكارانش نيز در معرفى ويژگى هاى فرم شهر، اعتقاد دارند؛ كه مصرف انرژى و توليد به عنوان دو پارامتر اصلى تأثيرگذار بر پايدارى شهرها هستند كه برنامه ريزان و شهر سازان در تدوين و طراحى فرم شهرها بايد به اين پارامترها توجه ويژه داشته باشند (Skider et al, 2018: 11). فرم شهرى رابطه بين يك شهر و مناطق اطراف آن را نشان داده و تأثير اقدامات انسانى را بر محيط درون و بيرون آن به نمايش مى گذارد با توجه به نحوه توزيع فعاليت ها، فرم شهر شايد مهم ترين وسيله اى باشد كه يك شهر به واسطه آن خودش را عرضه مى كند (Grimm et al, 2008: 757) فرم شهر ظرفى است كه امكان مى دهد فعاليت هاى شهرى در آن به وقوع بپيوندد. با توجه به ماهيت پيچيده فرم شهر، متخصصان مختلفى از ديده گاه خاص به آن پرداخته اند (نيك پور، ۱۳۹۴: ۱۲). در واقع، در نيمه دوم قرن بيستم فرم شهرها تغييرات چشمگيرى به خود ديده است و اكثر برنامه ريزان شهرى، برنامه هاى رشد شهرها را در ابعاد اقتصادى، اجتماعى، كالبدى و زيست محيطى مدنظر قرار دادند (Ogel, 2017: 2)؛ زيرا كه در نتايج بسيارى از تحقيقاتى كه در زمينه فرم شهرها انجام گرفته نتايج به طور

1 . Yongling

2 . Javanroodi

3 . Liu & Shen

4 . Han & Jia



گسترده‌ای نشان می‌دهد که فرم شهر با توسعه پایدار شهر دارای ارتباطی مستقیم و دوسویه است (Emekci, 2017; Zhang et al, 2016). همچنین امروزه بحث اصلی در زمینه کاهش مصرف انرژی به شکل شهر برمی‌گردد زیرا که با یک طرح مناسب می‌توان از زمین‌های شهری بیشترین استفاده را نمود و خطوط ارتباطی حمل‌ونقل، شبکه آب و فاضلاب، شبکه برق شهری و گازرسانی را با کمترین هزینه ممکن و کمترین مساحت به‌کارگیری شده را در سطح شهر طراحی و پیاده نمود (Lam, 2000:648).

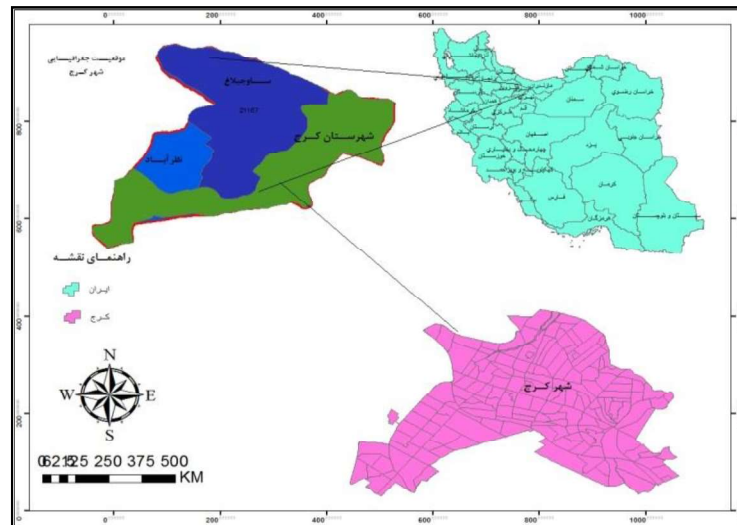
### روش پژوهش

روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و هدف کاربردی است. داده‌ها و اطلاعات موردنیاز تحقیق به دو روش کتابخانه‌ای (مطالعه اسناد، طرح‌ها، مقالات و غیره) و مراجعه به سازمان‌های مرتبط (شهرداری، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی و غیره) جمع‌آوری شده است. برای تهیه نقشه علاوه بر لایه جی‌ای اسی محلات و مناطق شهر کرج با استفاده از داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده شاخص‌های فرم شهر محاسبه گردید (به این صورت که برای محاسبه شاخص اختلاط کاربری مساحت هر کدام از این کاربری‌ها نسبت به سایر کاربری‌ها با استفاده از آنتروپی شانون سنجیده شده و عدد نهایی به‌دست‌آمده نشان‌دهنده میزان اختلاط کاربری هر محله است) و وارد جدول GIS گردید. همچنین داده‌های مصرف بنزین شهر برای دوره ۳ ساله (۱۳۹۷-۱۳۹۹) میانگین‌گیری گردید و عدد به دست آمده برای هر نقطه وارد GIS شد. نمونه آماری تحقیق ۱۷۳ محله شهر کرج و ۳۵ ایستگاه سوخت‌گیری (بنزین) هستند که جهت تحلیل فضایی مورد استفاده قرار گرفته شده است. در بخش تحلیل فضایی ایستگاه‌های پمپ‌بنزین از مدل IDW استفاده شده است. برای پوشش دهی نقاط مجهول (نقاطی که دارای ایستگاه‌های سوخت نمی‌باشند) از روش پوشش دهی فضایی IDW استفاده شده است. در این روش عموماً از نقاط معلوم یک میانگین وزن‌دار می‌گیریم و نتیجه را برای نقطه مجهول ثبت می‌کنیم. در روش درون‌یابی IDW فرض ما بر این است که تأثیر هر پدیده متناسب با توانی از معکوس فاصله آن است، بنابراین تأثیر پدیده‌ی موردنظر با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد. برای محاسبه این شاخص اختلاط کاربری از مد آنتروپی شانون در قالب ۵ کاربری اصلی (آموزشی، تجاری، اشتغال، اداری و خدمات) استفاده شده است. مقدار صفر نشان‌دهنده همگونی و تک کاربری بودن محلات و مقدار ۱ نشان‌دهنده تنوع و اختلاط کاربری‌ها است. برای محاسبه شاخص دسترسی‌پذیری از ابزار GIS استفاده شده است. جهت تحلیل فضایی، مدل‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری آماره‌های خودهمبستگی فضایی وجود دارد که در تحقیق حاضر از مدل Moran عمومی و آماره G عمومی (Getis-Ord General G) Clustering High/Low در نرم‌افزار GIS استفاده شده است؛ و همچنین به‌منظور نشان دادن توزیع فضایی الگوی حاکم بر مصرف انرژی (مصرف بنزین) از تحلیل لکه‌های داغ (Hot Spot Analysis) آمارگتیس - آرد جی (Getis-Ord Gi) استفاده شده است؛ که در کجای داده‌ها مقادیر زیاد و یا کم خو شه‌بندی شده‌اند؛ و درنهایت از ابزار رگرسیون وزنی جغرافیا (GWR) برای تعیین تغییرات فضایی بین متغیر مستقل و وابسته استفاده شده است.

### مطالعه مورد مطالعه

با تصویب قانون تاسیس استان البرز در سال ۱۳۸۹، براساس آخرین تقسیمات سیاسی استان البرز، شهرستان کرج با مساحت ۱۴۰۶ کیلومتر مربع به مرکزیت شهر کرج، دارای دو بخش، ۶ دهستان، ۶ شهر و ۷۴ آبادی دارای سکنه است. ۹۹٫۹۶ درصد جمعیت شهرنشین شهرستان کرج در بخش مرکزی سکونت دارند؛ زمانی که استان البرز تأسیس شد، اشتهارد و فردیس نیز بخشی از شهرستان بودند، اما شهرستان اشتهارد در سال ۱۳۹۱ و شهرستان فردیس در خرداد

سال ۱۳۹۲ از این شهرستان جدا شدند. هم اکنون کرج مرکز استان البرز، مرکز شهرستان کرج و یکی از کلان‌شهرهای ایران است. این شهر با ۱۳۹۲۴۹۲ تن جمعیت چهارمین شهر پرجمعیت ایران است. کرج دارای ده منطقه شهری و ۱۷۳ محله است. موقعیت جغرافیایی کرج در کشور و استان البرز در شکل ۱، ترسیم شده است.



شکل شماره ۱. موقعیت جغرافیایی شهر کرج

### بحث و یافته‌ها

در این بخش یافته‌های پژوهش اطلاعات و داده‌های گردآوری شده با استفاده از آزمون‌های آماری یا روش‌های تحلیل داده‌ها بررسی شده است. لذا برای این منظور جداول آزمون‌های آماری یا نقشه‌ها و نمودارها ذکر شده و هرکدام به طور جداگانه تحلیل و تفسیر شده است. ابتدا وضعیت موجود شاخص‌های فرم شهر (دسترسی پذیری و اختلاط کاربری) موردسنجش و ارزیابی قرار گرفت که نتایج به‌دست‌آمده به شرح زیر است:

مروری بر ادبیات دسترسی و پایداری در سال ۱۹۵۹ تا ۲۰۱۱ میلادی فرصت خوبی را برای گزینش مدل سنجش شاخص دسترسی‌پذیری فراهم کرد که سرانجام مدل زیر با توجه به اطلاعات در دسترس انتخاب شد. (رهنا و آقاجانی، ۱۳۹۲: ۴۸). فرمول به شرح زیر است:

$$A_{ij} = \sum_{i=1}^n S_j \quad dij$$

$A_{ij}$  = معیار نسبی دسترسی منطقه I به فعالیت منطقه J

$S_j$  = اندازه فعالیت در منطقه J، به عنوان نمونه تعداد مشاغل، جمعیت و غیره

$D_{ij}$  = فاصله زمانی، مکانی و یا هزینه بین منطقه I و J. (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۸).

برای محاسبه شاخص دسترسی پذیر ابتدا لازم است که لایه پویگونی محلات شهر تبدیل به لایه نقطه‌ای شود بنابراین ابتدا با استفاده از دستور Feature to point یک خروجی بصورت لایه نقطه‌ای از پلیگون محلات گرفته شد. سپس با استفاده از دستور Generate near table فاصله جغرافیایی نقاط نسبت به همدیگر سنجیده می‌شود. در واقع با استفاده از این دستور می‌توان هم فاصله محله را نسبت به محله مجاور سنجش کرد و هم فاصله محله را نسبت به همه محلات

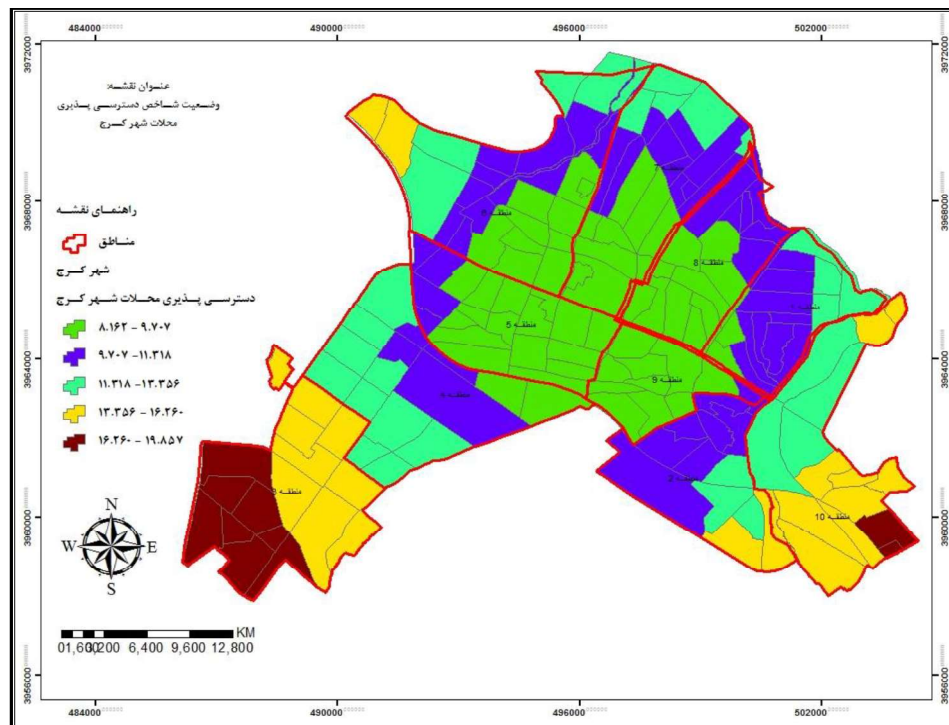
که در اینجا فاصله جغرافیایی هر محله نسبت به همه محلات محاسبه شده است. در مرحله بعد جدول خروجی به شکل ماتریس وارد Excel گردید و عدد فاصله جغرافیایی هر محله جمع گردید. سپس در این مرحله با بهره‌گیری از فرمول بالا و استفاده از عدد میانگین فاصله دسترس پذیری به کاربریها در هر یک از محلات ۱۷۳ گانه شهر کرج به عنوان عامل جاذبه (Sj)، و همچنین اندازه‌گیری فاصله بین محلات به عنوان عامل فاصله (dij) شاخص دسترسی پذیری بین محلات شهر کرج محاسبه گردید.

جدول شماره ۱. ضریب شاخص دسترسی‌پذیری محلات شهر کرج

رتبه	محلات	دسترسی پذیری (کیلومتر تیرا)	محلات	دسترسی پذیری (کیلومتر تیرا)	محلات	دسترسی پذیری (کیلومتر تیرا)	محلات	دسترسی پذیری (کیلومتر تیرا)	محلات	دسترسی پذیری (کیلومتر تیرا)	محلات	دسترسی پذیری (کیلومتر تیرا)	محلات	دسترسی پذیری (کیلومتر تیرا)
۱	زینل شرقی	۱۸/۲۵۸	سپاریه	۱۵/۱۱۸	شهرک احسانی تیراز	۱۲/۳۳۶	شهر النعمر	۱۰/۹۳۷	دانشگاه	۱۰/۳۸۸	قارک غربی	۹/۵۴۱	مرکز شهر	۱۰/۲۸۴
۲	کیمهر ۳	۱۹/۴۴۲	باغ سیب	۱۱/۴۱۶	دانشگاه خورزنی	۱۱/۱۵۹	شهر النعمر	۱۱/۱۲۶	دانشگاه هنر	۱۰/۲۸۰	مهرپاشی غربی	۸/۸۸۳	دانشگاه کشاورزی	۱۰/۶۹۹
۳	زینل غربی	۱۷/۷۱۹	مهرنشست	۱۱/۷۵۲	حصارک بالا	۱۰/۵۲۹	پاکستان غربی ۱	۱۲/۵۱۲	دانشگاه	۹/۹۸۵	گنبدپایا	۸/۶۲۲	مصالح	۱۰/۲۶۴
۴	کیمهر ۲	۱۸/۸۲۹	حسن آباد	۱۱/۱۹۴	حصارک بالا	۱۰/۷۰۷	میدار چشمه	۱۲/۳۸۴	شهرک پهناری	۹/۸۷۷	طوقانی	۸/۲۴۰	دوب آهن خورزنی- شیخ آباد	۱۱/۳۱۲
۵	کیمهر ۱	۱۹/۸۵۷	اکبرآباد	۱۲/۰۶۷	سرم ساری زاری	۹/۴۹۸	اراضی بنی التهرین	۱۲/۵۲۰	قارک گوبوردشت	۸/۲۰۰	گزار شرقی	۸/۷۶۴	حسن آباد راه آهن	۱۲/۷۰۵
۶	شهرک مروارید	۱۷/۷۶۱	اکبرآباد	۱۲/۳۶۴	باغ دهسنتی	۸/۸۲۲	پارستان	۱۲/۸۲۰	شهرک مصلوبی	۸/۹۶۲	گلشیر شرقی	۸/۵۱۷	شهرک نقشه	۱۲/۱۴۹
۷	شهرک تور	۱۸/۴۱۳	قارک	۱۰/۷۷۰	ماهان	۹/۰۱۵	الکبیر	۱۲/۱۲۹	شهرک اج	۹/۶۲۷	دندان پاشی دوم	۸/۲۶۶	اکبرآباد	۱۲/۲۴۰
۸	قلل ل حصار	۱۱/۵۴۰	پشته	۱۱/۴۴۰	حصارک بالا	۱۰/۰۸۲	فرهنگیان و علی‌کوت ساری	۱۰/۰۸۲	تیمت مری	۱۰/۲۰۶	دندان پاشی اول	۸/۲۰۵	ترک آباد	۱۱/۵۱۹
۹	کوی مهر	۱۰/۱۹۱	شهیدزیری	۱۰/۳۹۸	باغ ارشد	۱۰/۶۳۱	اشترکی	۱۱/۶۱۱	جنگلی	۱۰/۶۳۶	شهرک موحان	۸/۳۴۴	شکرآباد	۱۰/۱۶۸
۱۰	کاخ مروارید	۱۶/۲۶۰	شهرک یزدشیر	۱۰/۳۹۵	پاس چوبی	۱۰/۷۱۹	پاکستان	۹/۹۳۲	ده حسن آباد	۱۰/۱۰۵۶	کوی کارستان جنوبی	۸/۳۳۶	سردرآباد کرج	۱۲/۰۶۲
۱۱	گستان یکم	۱۵/۶۲۷	گزار شمالی	۹/۵۴۵	پاس شمالی	۱۰/۹۶۰	تقالب	۹/۷۷۱	کوی حسن آباد	۱۰/۱۱۳۲	کوی نصاری	۸/۶۰۰	فتح آباد - پارک چمن	۱۱/۸۰۱
۱۲	قارک سه	۱۴/۲۴۰	گزار جنوبی	۹/۵۴۵	پاکستان غربی ۳	۱۰/۵۵۵	ورزشگاه تقالب	۸/۷۷۷	جوادآباد	۹/۴۰۲	چهارمرد دانشگاه	۸/۵۵۶	کلاک پاشی	۱۲/۱۶۱
۱۳	آزادی	۱۵/۱۲۸	شهرک چمنان	۹/۷۰۷	ظفر	۹/۸۶۸	ایقانی ها	۹/۶۱۸	حاجی آباد	۸/۸۲۰	کوی قائم	۸/۸۲۲	هفت آباد	۱۵/۸۴۷
۱۴	قی قبه ۱	۱۴/۹۵۵	پدرآباد	۹/۳۵۸	بنیاد	۹/۵۵۳	قارک ۳ گوبوردشت	۹/۳۹۹	چنان شیرا	۸/۹۰۴	مهرپاشی شرقی	۸/۷۸۸	شهرک ناهم	۱۷/۴۰۱
۱۵	قارک شرقی	۱۱/۱۶۹	گنبد غربی ۲	۸/۹۱۴	شهرک ۲۲ پهن	۱۰/۰۹۶	قارک ۲ گوبوردشت	۹/۱۵۴	چنان شیرا	۸/۵۵۵	مهرپایا	۸/۵۵۶	موسسه تحقیقات چنان	۱۶/۴۴۷
۱۶	قارک غربی	۱۲/۳۵۶	گنبد غربی ۱	۸/۷۶۵	جوادآباد	۹/۱۵۹	شهرک سپهر	۱۰/۲۸۰	باغ قنق	۸/۳۴۴	باز و نهال	۹/۲۴۱	کلاک احمدیه	۱۵/۹۷۴
۱۷	قارک یک غربی	۱۲/۰۷۵	حصارک پاشی	۹/۱۷۵	کوی گوبور	۸/۶۴۴	زینل رجبی شهر	۱۰/۷۶۰	کوی کاروان شمالی	۸/۳۹۵	زینیه	۱۰/۱۷۵	شهرک چنان تما	۱۵/۱۷۱
۱۸	قارک یک شرقی	۱۱/۳۲۰	رفشهر	۹/۶۴۴	شاهین قاضی چوبی	۸/۶۵۶	شهرک کوثر	۱۱/۳۱۰	کوی اتحاد	۸/۴۶۴	لیبای برنجی	۹/۹۳۷	کلاک بالا	۱۵/۷۷۷
۱۹	رجب آباد	۱۲/۵۴۵	عالم شهر	۱۰/۳۷۳	خیرآباد غربی	۸/۴۱۵	مصالح	۱۲/۲۵۸	کوی دایوش	۸/۳۳۲	کارخانه قند	۹/۳۳۲	مجمع فرهنگی امام	۱۲/۵۲۶
۲۰	قی قبه ۲	۱۲/۶۲۲	شهرک زاری	۱۰/۸۸۴	مصلوبی آباد	۹/۴۴۹	شهرک فراز	۱۱/۳۳۳	خیرآباد	۸/۱۶۴	دولت آباد	۹/۳۹۷	کلاک نو	۱۲/۶۵۵
۲۱	قی قبه ۲	۱۴/۱۵۶	علاقانی	۱۴/۹۸۷	شاهین قاضی شمالی	۹/۶۱۹	قارک ۳ مصالح	۱۲/۱۴۱	خیرآبادشیرا ی	۸/۲۶۰	کوی اصفهانی ها و کمالی	۹/۵۱۶	کلاک	۱۲/۴۴۷
۲۲	شمال آباد	۱۲/۳۸۸	گلدشت	۱۲/۲۱۰	پاکستان شرقی	۱۰/۵۹۱	نورزی انص	۱۱/۳۸۸	قارک شرقی	۹/۲۲۱	دانشگاه و شاه علیایی	۱۰/۰۳۸	حصار بالا	۱۲/۳۴۹

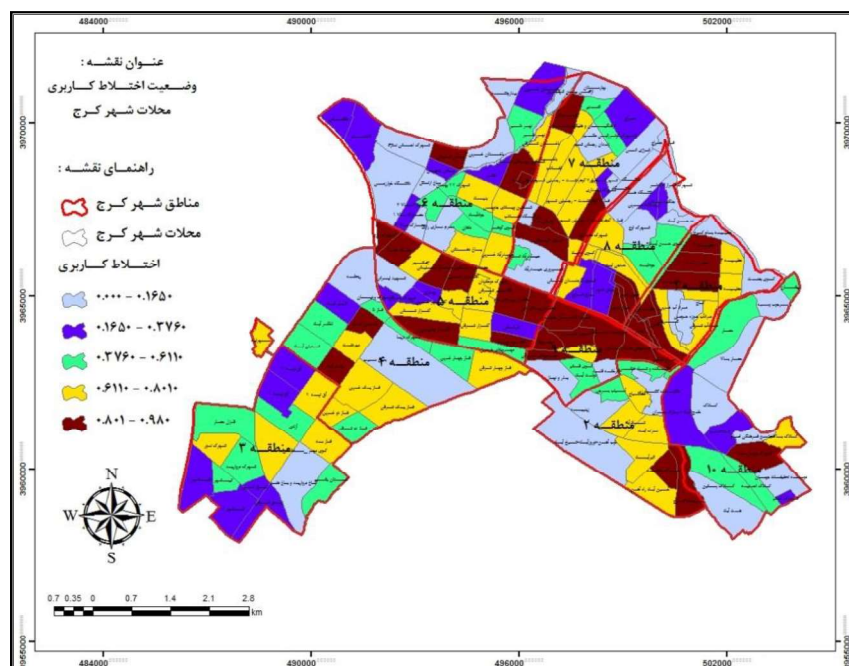
در این مرحله و بعد از اینکه شاخص دسترسی‌پذیری محلات ۱۷۳ گانه شهر کرج محاسبه گردید و در قالب (جدول ۱) ارائه گردید. همچنین توزیع فضایی این شاخص در قالب نقشه زیر ارائه گردید (شکل ۲). و با توجه به نقشه زیر مشخص است که مناطق مرکزی شهر دارای بالاترین سطح دسترسی پذیری هستند (میانگین فاصله دسترس پذیری به کاربریها) همچنین منطقه ۳، قسمتهایی از منطقه ۱۰ دارای کمترین میزان دسترسی پذیری هستند که البته از دلایل این موضوع

وجود باغات و فضای سبز بیشتر در منطقه ۱۰ و تجمع کاربریها در مناطق مرکزی شهر است.



شکل شماره ۲. توزیع فضایی شاخص دسترسی پذیری در سطح محلات شهر کرج

در این مرحله شاخص اختلاط کاربری به عنوان یکی از متغیرهای تعیین کننده فرم شهر برای کلان شهر کرج محاسبه گردید. برای تعیین این شاخص از کوچک ترین سطح فضایی شهر (محله) به عنوان نمونه آماری کار استفاده شده است، زیرا که در محاسبه این شاخص و ارائه توزیع فضایی آن هر چه سطح فضایی کوچک تر باشد، نتیجه تحلیل فضایی بهتر ارائه می گردد. به همین منظور محلات ۱۷۳ گانه شهر کرج از نظر شاخص اختلاط کاربری مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. برای محاسبه این شاخص از مدل آنتروپی شانون استفاده شده است برای تعیین میزان اختلاط کاربری محلات از ۵ کاربری: اداری، آموزشی، خدماتی، تجاری و درمانی استفاده شده است. نتایج به دست آمده مؤید این مطلب است که در زمینه اختلاط کاربری محلاتی مانند؛ گلشهر غربی ۱، دهقان ویلای ۱، دهقان ویلای دو، کوی کارمندان جنوبی، گلزار جنوبی، رجب آباد، عظیمه یک، عظیمه دو دارای بیشترین اختلاط کاربری هستند. درواقع با توجه به نقشه اختلاط کاربری مشخص است که مناطق مرکزی شهر دارای اختلاط کاربری بالاتری هستند؛ و مناطق حاشیه ای شهر دارای اختلاط کاربری ضعیفی هستند. با توجه به نقشه شماره ۳ مشخص است که محلاتی که دارای عدد نزدیک به صفر هستند دارای اختلاط کاربری پایین و محلات که عدد نزدیک به ۱ را دارند اختلاط کاربری بالاتری دارا هستند. و همانطور که مشخص است محلات مناطق ۱۰ و ۶ دارای کمترین میزان اختلاط کاربری هستند.



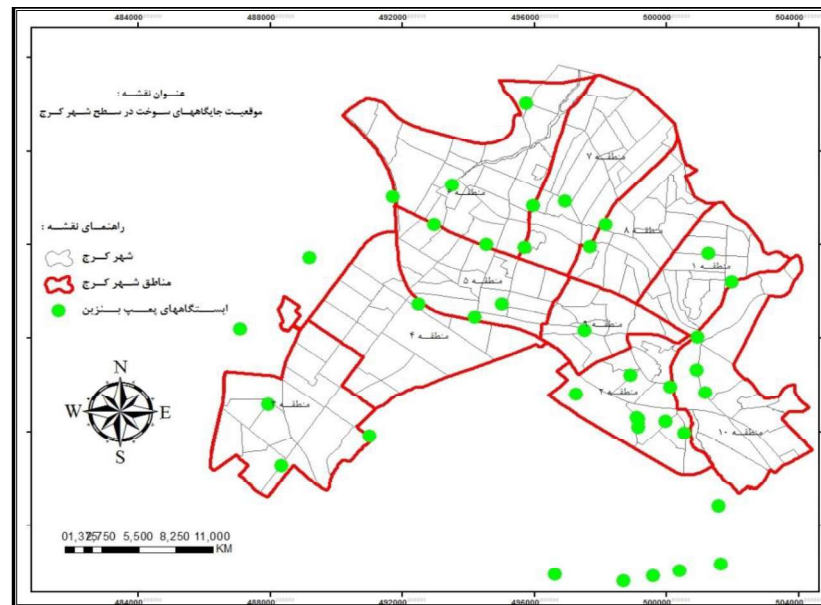
شکل شماره ۳. میزان اختلاط کاربری محلات شهر کرج

در این بخش از تحقیق آمار میزان مصرف بنزین در طی ۳ سال گذشته ۳۵ ایستگاه سوخت‌گیری شهر کرج میانگین‌گیری و ارائه گردید. ذکر این نکته ضروری است که در سال سوم (۱۳۹۹) با توجه به داده‌های موجود فقط دهم‌ماهه اول سال استفاده‌شده است.

جدول شماره ۲. میانگین مصرف سوخت بنزین در ایستگاه‌های مختلف شهر کرج در طی دوره سه ساله

ایستگاه	میانگین مصرف ۳ ساله بر حسب میلیون لیتر	ایستگاه	میانگین مصرف ۳ ساله بر حسب میلیون لیتر	ایستگاه	میانگین مصرف ۳ ساله بر حسب میلیون لیتر	ایستگاه	میانگین مصرف ۳ ساله بر حسب میلیون لیتر	ایستگاه	میانگین مصرف ۳ ساله بر حسب میلیون لیتر
A1	۲۷/۱	A8	۱۸/۴۷	A15	۲۰/۱۱	A22	۱۳/۱۲	A29	۱۴/۶۷
A2	۳۰/۱	A9	۲۵/۲	A16	۱۷/۵۶	A23	۳۶/۱۲	A30	۱۸/۲۳
A3	۲۱/۴۴	A10	۳۶/۹۱	A17	۲۰/۴۳	A24	۲۴/۲۱	A31	۲۵/۱۲
A4	۷/۷۹	A11	۲۴/۵۸	A18	۲۷/۱۲	A25	۳۳/۳۲	A32	۲۲/۱۶
A5	۳۲/۱۲	A12	۲۸/۳۴	A19	۱۲/۴۸	A26	۱/۶۵	A33	---
A6	۲۰/۴۳	A13	۱۷/۰۳	A20	۱۵/۲۳	A27	۳۴/۸۹	A34	---
A7	۲۵/۳۰	A14	۲۵/۷۵	A21	۱۴/۷۶	A28	۲۴/۶۷	A35	---
مجموع میانگین مصرف ۳ ساله شهر کرج									

۴۹۰۶۶۳۵۶۶۶۶



شکل شماره ۴. موقعیت ایستگاههای سوخت گیری (بنزین) شهر کرج

در اینجا با توجه به اینکه تعداد ایستگاههای سوخت گیری کمتر از محلات شهر کرج است برای پوشش دهی نقاط مجهول (نقاطی که دارای ایستگاههای سوخت نمی باشند) از روش پوشش دهی فضایی IDW استفاده شده است. در این روش عموماً از نقاط معلوم یک میانگین وزن دار می گیریم و نتیجه را برای نقطه مجهول ثبت می کنیم. در روش درون یابی IDW فرض ما براین است که تأثیر هر پدیده متناسب با توانی از معکوس فاصله آن است، بنابراین تأثیر پدیدهی موردنظر با افزایش فاصله، کاهش می یابد.

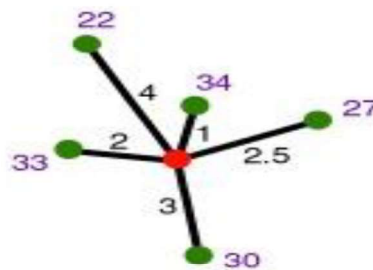
در این مدل محدودهی موردنظر تبدیل به ماتریسی با سلولهای هم اندازه می شود. مختصات مکانی ماتریس و اندازه هر پیکسل آن روشن بوده و دارای واحد اندازه گیری است.

در این شبکه سلولها به دو صورت اند:

سلولهای با مقدار متغیر معلوم (اندازه گیری شده)

سلولهای با مقدار نامعلوم (اندازه گیری نشده)

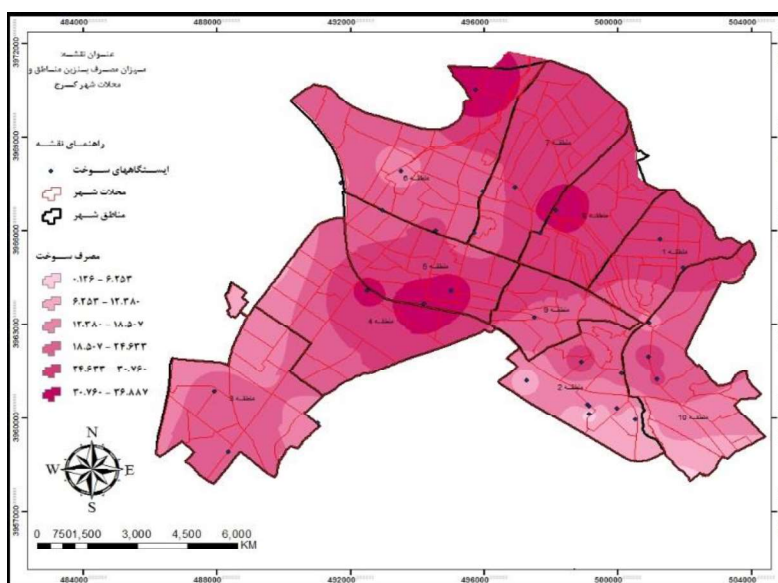
برای برآورد ارزش سلولهایی که ارزش نامعلوم دارند، با استفاده از سلولهای اطراف در یک شعاع مشخص، مطابق شکل زیر، عددی محاسبه می گردد.



شکل شماره ۵. نمودار فرضی محاسبات نقاط مجهول با استفاده از نقاط معلوم با استفاده از مدل IDW

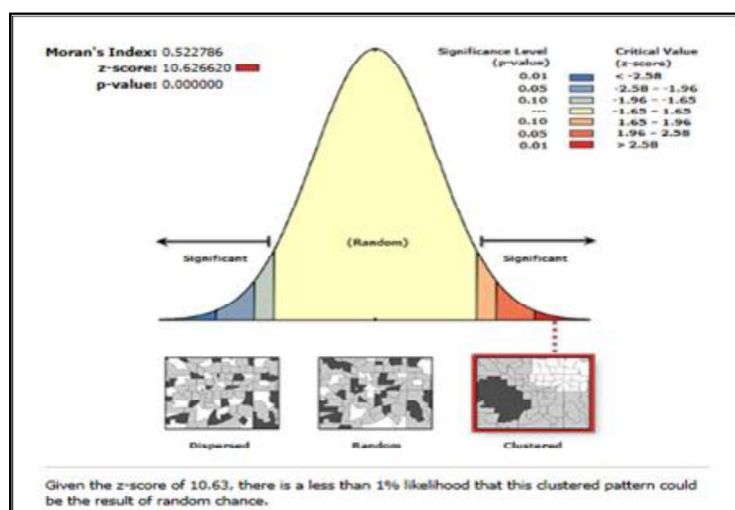


همان‌طور که از نقشه IDW به‌دست‌آمده از پراکندگی مصرف بنزین کلان‌شهر کرج به‌دست‌آمده میزان مصرف در محلات حاشیه‌ای در مناطق ۶، ۷، ۸، ۳ و محلات مناطق مرکزی ۵ و ۱ و ۸ دارای مقدار بیشتری است.



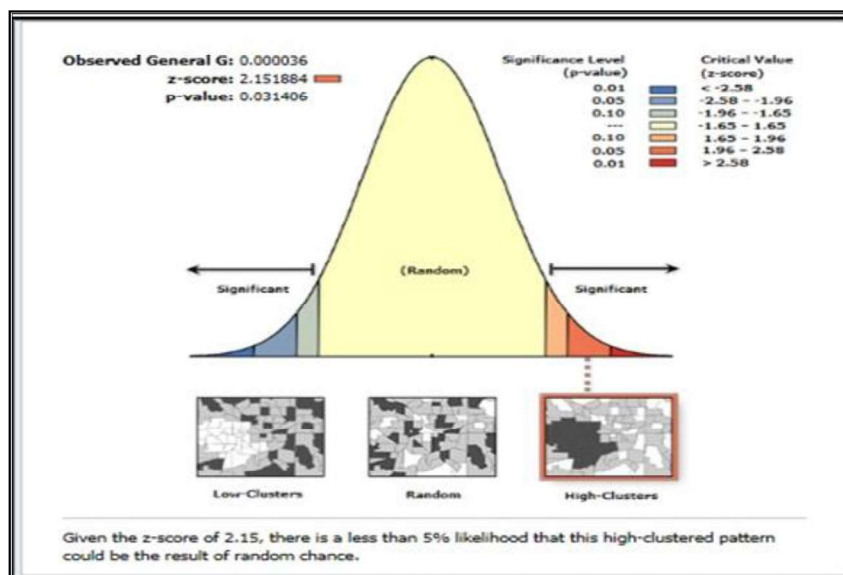
شکل شماره ۶. نقشه IDW مصرف بنزین شهر کرج

در این مرحله برای تحلیل الگوی مصرف بنزین شهر کرج از مدل موران استفاده شده است. مدل موران، یکی از شاخص‌های تحلیل فضایی است که بر دو اصل مهم توزیع مشخصی از شاخص‌ها، و متکی بودن بر ارزش‌های همسایگی دارد. نتایج حاصل از کاربرد شاخص موران در توزیع فضایی فرسودگی این شاخص،  $Morans\ Index = 0/522$  است. از آنجاکه مقدار آن مثبت و نزدیک به یک است، می‌توان گفت داده‌ها خودهمبستگی فضایی دارند همچنین:  $Z = 10/462$ ،  $Score = 0/01$  معنادار است؛ و مقدار  $P\text{-Value} = 0$  بنابراین فرضیه صفر رد می‌شود و این مقدار از این دو پارامتر نشان‌دهنده الگوی توزیع فضایی خوشه‌ای داده‌های مصرف بنزین در سطح محلات شهر کرج هستند.



شکل شماره ۷. الگوی توزیع فضایی مصرف بنزین شهر کرج براساس مدل موران

از آنجاکه در تحلیل موران نمی‌توان به شناسایی انواعی از طبقه‌بندی الگوهای فضایی پرداخت، از این‌رو برای رفع این نقص از تحلیل آماره عمومی  $G$  استفاده می‌شود. لذا در اینجا مقدار  $G = 00036$  و امتیاز  $Z\text{-Score} = ۲/۱۵۱$  است. بنابراین با توجه به اینکه مقدار  $Z$  مثبت است، می‌توان گفت الگوی مصرف بنزین از نوع خوشه‌ای با نقاط تمرکز بالا است. که نشان می‌دهد که نقاط مصرفی با تمرکز بالا در مجاورت یکدیگر قرار دارند.



شکل شماره ۸. آماره  $G$  مصرف بنزین در سطح شهر کرج

در مرحله بعدی و تحلیل لکه‌های داغ و سرد مصرف بنزین شهر کرج باید به این نکته توجه کرد که؛ برای اینکه یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند دارای مقادیر بالا باشند (عسگری، ۱۳۹۰: ۷۶). فرمول آن به شرح زیر است:

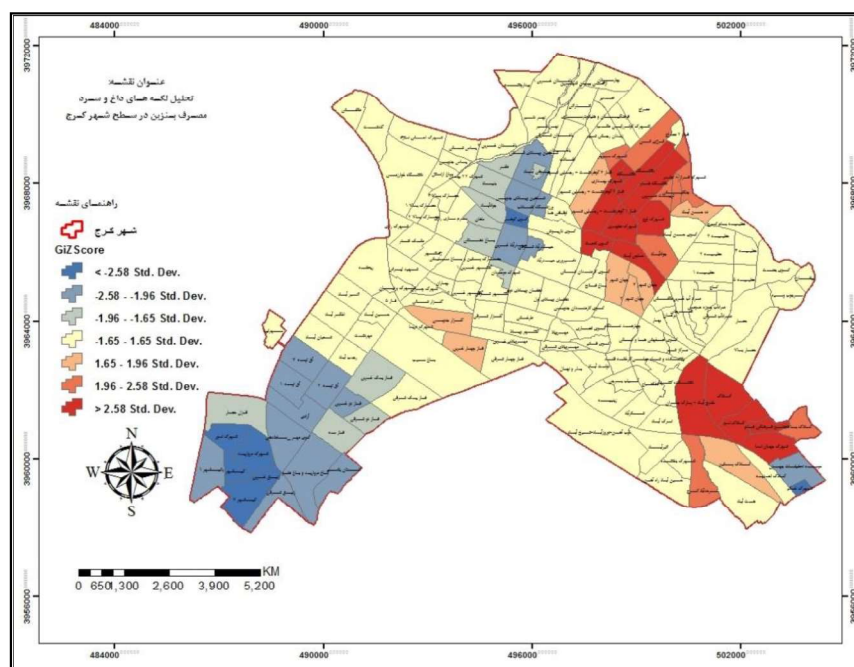
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}}$$

در این فرمول  $x_j$  مقدار خصیصه برای عارضه  $j$ ،  $w_{ij}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  و  $n$  برابر با تعداد کل عارضه‌ها می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل این دستور در ابزار GIS و همان‌طور که از (شکل ۸) مشخص است؛ بیشتر محلات شهر کرج از لحاظ مصرف بنزین دارای آماره  $Z$  بالاتر و مساوی از سطح معناداری هستند و در طیف دامنه‌ای ۱- تا ۲+ قرار گرفته‌اند. درواقع محلات مناطق ۸ که شامل محلاتی مانند؛ فاز ۱ و ۲ گوهردشت، دانشگاه هنر، کوی بعثت، شهرک اوج، شهرک مطهری، کوی اتحاد، شهرک بهداشتی، جوادآباد دارای لکه‌های قرمز و طیف آماره  $Z$  بالاتر از ۲ هستند. و در منطقه ۱۰ محلاتی مانند؛ شهرک جهان‌نما، مجتمع فرهنگی امام، کلاک، کلاک نو، خلیج آباد و



کلاک بالا دارای آماره Z بالاتر از ۱ هستند. و مناطقی مانند: موسسه تحقیقات و شهرک خاتم در منطقه ۱۰ و محلاتی مانند: کیانمهر ۱، کیانمهر ۲، باغ مروارید، زنبق شرقی، زنبق غربی، قزل حصار، کوی مهر و شهرک مروارید در منطقه ۳ شهر کرج دارای آماره Z منفی هستند و از لحاظ معناداری شاخص دارای اختلاف بالایی با سایر محلات شهر هستند. و همچنین با توجه به نتایج آزمون مناطقی مانند منطقه ده و سه شهر کرج که دارای وضعیت اسپرال و پراکندگی بالاتری هستند مصرف بنزین بیشتری دارند.



شکل شماره ۹. تحلیل لکه‌های داغ و سرد مصرف بنزین در سطح شهر کرج

در این مرحله با استفاده از آزمون رگرسیون وزنی جغرافیایی به عنوان یکی از آزمون‌های تحلیل آمار فضایی، ارتباط فضایی بین فرم محلات شهر کرج به عنوان متغیر مستقل با متغیر وابسته (میزان مصرف بنزین) محاسبه شده است. GWR تکنیک آماری فضایی محلی است. هنگامی که واحد سنجش متغیر مورد بررسی از مکانی به مکان دیگر متفاوت می‌شود، این رگرسیون برای تحلیل ناهمسانی فضایی به کار می‌رود فرمول رگرسیون وزنی به شرح زیر است:

$$\hat{y} = \beta_0(\mu_i, v_i) + \sum_k \beta_k(\mu_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad \beta_0(\mu_i, v_i)\beta_k(\mu_i, v_i)N(0, \sigma^2)$$

در این رابطه  $(\mu_i, v_i)$  مختلف هر موقعیتی از  $i$  است.  $\beta_0(\mu_i, v_i)$  محل تقاطع برای موقعیت  $i$ ،  $\beta_k(\mu_i, v_i)$  پارامتری محلی است که متغیر مستقل  $x_k$  را در موقعیت  $i$  تخمین می‌زند و  $\varepsilon_i$  خطای تصادفی با فرض  $N(0, \sigma^2)$  (فرض نرمال بودن) است. برای مجموعه داده‌های پارامتری محلی،  $\beta_k(\mu_i, v_i)$  با استفاده از مراحل حداقل مربعات وزنی تخمین زده می‌شود. وزن‌های  $w_{it}$  برای  $i=1, 2, \dots, n$  در هر موقعیت  $(\mu_i, v_i)$  به عنوان تابع پیوسته‌ای از فواصل میان موقعیت  $i$  و موقعیت دیگر به دست می‌آید. (رفعیان و زاهد، ۱۳۹۷: ۳۷۱). درواقع تحلیل رگرسیون وزنی جغرافیا خروجی‌های مختلفی را ارائه می‌دهد که در بین خروجی‌های ارائه شده، مقادیر  $R$  و  $R^2$  تعدیل شده (Adjusted  $R^2$ ) مهم‌ترین مقادیر هستند که نشان‌دهنده خوبی و دقت مدل مورد استفاده هستند و هرچه این اعداد به ۱ نزدیک‌تر

باشد نشان دهنده این است که متغیر مستقل مورد استفاده به خوبی تغییرات متغیر وابسته را شرح می دهد. لذا با استفاده از رگرسیون وزنی محلی میزان تأثیر شاخص دسترسی پذیری به عنوان شاخص مهم فرم شهر بر مصرف بنزین برآورد شده است، مقدار  $R^2$  متغیر دسترسی پذیری برابر با  $0/88$  است؛ یعنی شاخص فرم شهر با توجه به این متغیر در سطح اطمینان  $95\%$  به میزان  $88$  درصد از مصرف بنزین را توجیه می کند. همچنین مقدار  $AICc2$  عدد پایینی را نشان می دهد که این موضوع نشان دهنده انطباق بهتر مدل با داده های مشاهده ای است. آماره تو صیفی  $Pridicted$  (مقدار قابل پیش بینی) تغییرات چشمگیری را نشان می دهد به طوری که مشخصاً تغییرات فضایی بین متغیر مستقل و متغیر وابسته را به سمت مناطق حاشیه ای و تا حدودی مرکز مناطق ( $1,10,8,7,6$ ) نشان می دهد. یعنی انتظار می رود برخلاف رویه کنونی ارتباط بین دسترسی پذیری و مصرف بنزین در این مناطق و محلات به سمت این مناطق از لحاظ فضایی تغییر پیدا کند.

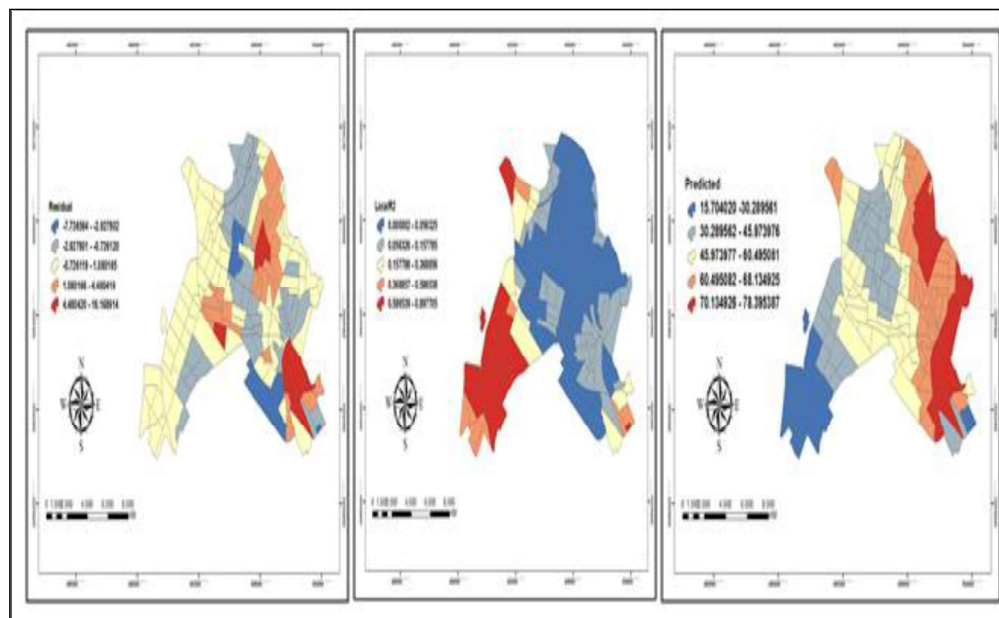
جدول شماره ۳. رگرسیون وزنی شاخص دسترسی پذیری

متغیر	$R^2$	$AICc^2$	$\Sigma^1$	Adjusted $R^2$	Squares Residual	Pridicted
دسترسی پذیری	$0/88$	$666/09$	$1/25$	$0/76$	$152/95$	$0/70$

همان طور که از نقشه شماره ۱۰ مشخص است همبستگی فضای بین شاخص دسترسی پذیری و مصرف بنزین در سطح شهر کرج بیش از  $50\%$  است و این همبستگی در محلات حاشیه شهر و مناطق ۳ و ۴ (مهر شهر) بیشتر است به طوری که در محلات؛ گلستان یکم، باغ مروارید، کیانمهر ۱، ۲ و ۳ شهرک مروارید، کوی مهر، مهر دشت، رجب آباد، اخگر آباد، شعبان آباد، آق تپه، فاز یک غربی و فاز یک شرقی، طالقانی و گلدشت به اوج خود می رسد که از دلایل این موضوع، فاصله زیاد با مرکز شهر، کمبود خدمات و امکانات در این قسمت های شهر و تجمع در مراکز شهر و کمبود ایستگاه های سوخت گیری اشاره کرد. همچنین مطابق با نقشه  $predect$  به دست آمده این میزان ضریب همبستگی در سطح  $70\%$  معنادار است و تغییرات فضایی به سمت مناطق شرقی شهر مناطق  $1,10$  پیش بینی شده است.

۱. سیگما: شاخص انحراف معیار باقی مانده هاست و کوچکتر بودن آن نشانه برتری مدل است.

۲. آکاییک: یکی از شاخص های بسیار مفید برای مقایسه مدل های رگرسیون است که مقدار پایین آن نشان دهنده انطباق بهتر مدل با داده های مشاهداتی است.



شکل شماره ۱۰. آماره‌های توصیفی (StdResid, R2, Pridicted) شاخص دسترسی پذیری

مقدار R2 متغیر اختلاط کاربری برابر با ۰/۸۷ است؛ یعنی شاخص فرم شهر با توجه به این متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ به میزان ۸۷ درصد از مصرف بنزین را توجیه می‌کند. همچنین مقدار AICc2 عدد پایینی را نشان می‌دهد که این موضوع نشان‌دهنده انطباق بهتر مدل با داده‌های مشاهداتی است. آماره توصیفی Pridicted تغییرات فضایی بین متغیر مستقل و متغیر وابسته را به سمت محلات حاشیه‌ای مناطق (۱۰ و ۱) نشان می‌دهد. یعنی انتظار می‌رود برخلاف رویه کنونی ارتباط بین اختلاط کاربری و مصرف بنزین در این مناطق و محلات به سمت این مناطق از لحاظ فضایی تغییر پیدا کند.

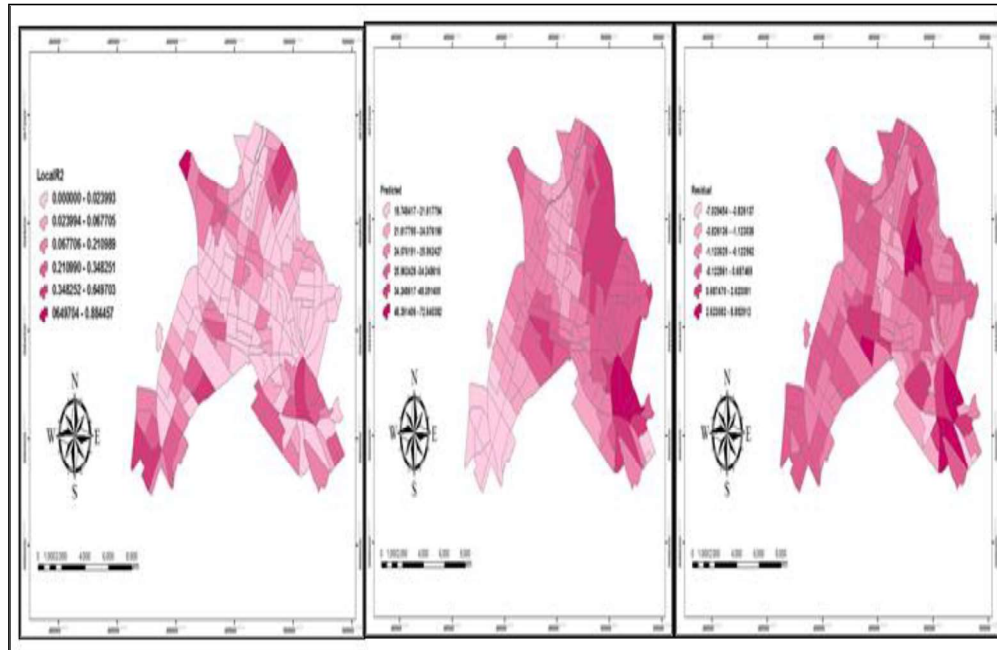
جدول شماره ۴. رگرسیون وزنی شاخص اختلاط کاربری

متغیر	R2	AICc2	Sigma\	AdjustedR2	Squares Residual	Pridicted
اختلاط کاربری	۰/۸۷	۷۸۵/۰۹	۱/۹۲	۰/۷۸	۳۸۴/۹۵	۰/۷۰

با توجه به نقشه‌های خروجی شکل ۱۱ شاخص اختلاط کاربری با مصرف بنزین دارای همبستگی فضایی بالایی است؛ یعنی فرم شهر با مصرف بنزین دارای ارتباط فضایی بیش از ۸۰٪ است. البته این موضوع در مناطق ۸، ۱۰ و ۵ دارای ارتباط بیشتری است. در خروجی Pridicted این ارتباط فضایی دارای ۷۰٪ است و تغییرات فضایی در مناطق ۱، ۹ و حاشیه ۸ و ۷ قابل انتظار است.

۱ سیگما: شاخص انحراف معیار باقی مانده‌هاست و کوچکتر بودن آن نشانه برتری مدل است.

۲- آکاییک: یکی از شاخص‌های بسیار مفید برای مقایسه مدل‌های رگرسیون است که مقدار پایین آن نشان‌دهنده انطباق بهتر مدل با داده‌های مشاهداتی است.



شکل شماره ۱۱. آماره‌های توصیفی (StdResid, R2, Pridicted) متغیر اختلاط کاربری

### نتیجه‌گیری

همچنین نتایج تحقیقات عرفانیان و همکاران در سال (۱۳۹۲) نشان داد؛ که مدل GWR یک ابزار ساده و مفید در تشخیص میزان همبستگی مختلف مکانی می‌باشد؛ بنابراین با نتایج تحقیق حاضر در بعد تحلیل مکان همخوانی دارد. نتایج پژوهش ژیان-شیانگ لی<sup>(۲۰۱۸)</sup>، در نهایت راهکارهایی از جمله فشردگی را برای کاهش مصرف مفید دانستند. همچنین نتایج تحقیق جلالی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد؛ مناسبترین راهکارها کاهش مصرف سوخت شهری نیز عبارتند از: ۱- گسترش شبکه حمل و نقل عمومی؛ ۲- تدوین و اجرای استانداردهای کاربری مصرف سوخت ناوگان؛ ۳- آگاه کردن کاربران از روشهای گوناگون حمل و نقل. همچنین روش تحقیق هادی پور و شراره پور در زمینه مصرف سوخت شهری اراک از نظر بکارگیری ابزار تحلیل در GIS و نتایج تحقیق با پژوهش حاضر همخوانی دارد. لذا با توجه به نتایج تحقیقات فوق نوآوری تحقیق حاضر را می‌توان در زمینه تحلیل فضایی در سطح کوچکترین سطح فضایی شهر یعنی محلات شهر کرج (۱۷۳)، تهیه نقشه مقدار پیش بینی شده Predicted که برای برنامه ریزی آینده شهر مهم است ذکر نمود. انتخاب فرم کالبدی شهر متناسب با الگوی مصرف انرژی، به یکی از مهم‌ترین موضوعات و مسائل برنامه‌ریزی شهری تبدیل شده است. زیرا غلبه الگوی شهر ماشینی بر سایر الگوهای شهری باعث ترویج و تشویق فرم کالبدی شهر پراکنده، حومه‌نشینی و عواقب ناشی از آن، از جمله افزایش مصرف انرژی، جدایی محل کار و زندگی، تفکیک کاربری‌ها و آلودگی زیست‌محیطی شده است. با توجه به اهمیت این موضوع، هدف تحقیق حاضر تحلیل تأثیر فرم شهر بر مصرف بنزین کلان شهر کرج است، متغیر مستقل تحقیق فرم شهر با شاخص‌های (دسترسی‌پذیری، اختلاط کاربری) و متغیر وابسته مصرف بنزین بوده است. در زمینه شاخص دسترسی پذیری محلات جنوبی تر منطقه ۱، ۷، ۸ و محلات مناطق ۵ و ۶ دارای وضعیت مناسب هستند و محلات مناطق ۳، ۱۰ و قسمتهای غربی منطقه ۶ از وضعیت مناسبی در زمینه

دست‌رسی پذیری برخوردار نیستند. همچنین در بحث اختلاط کاربری مناطق حاشیه شهر وضعیت مطلوبی دارا نیستند و محلات مرکزی دارای اختلاط کاربری بالا و تقریباً نزدیک به یک هستند. در بحث تحلیل فضایی می‌توان گفت؛ در شرایط کنونی یک همبستگی فضایی بالای ۷۰٪ بین فرم شهر کرج و مصرف بنزین وجود دارد. به‌طوری که R2 به‌دست‌آمده در هر دو شاخص فرم شهر بالای ۷۵٪ در صد بوده و درواقع سطح معناداری بالا را نشان می‌دهد. همچنین در تحلیل الگوی مصرف بنزین، آماره موران و آماره G مؤید این مطلب هستند که مصرف بنزین از یک الگوی خوشه‌ای تبعیت می‌کند. درواقع با توجه نتایج این دو آماره می‌توان گفت داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی بالایی هستند. به‌طوری که با این نتایج فرضیه صفر رد می‌شود و این مقدار از این دو پارامتر نشان‌دهنده الگوی توزیع فضایی خوشه‌ای داده‌های مصرف بنزین در سطح محلات شهر کرج هستند. همچنین مقدار Predicted به‌دست‌آمده در هر دو شاخص (دست‌رسی‌پذیری و اختلاط کاربری) همبستگی فضایی بالایی را با مصرف بنزین نشان می‌دهد و البته تغییرات فضایی از مناطق شهری؛ ۸۰،۹۰ و ۵ را به سمت مناطق و محلات حاشیه‌ای شهر قابل انتظار است. درنهایت می‌توان گفت با توجه به اینکه بین متغیر فرم شهر و مصرف بنزین رابطه معنادار تأیید شده است، لذا پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- ❖ برنامه‌ریزی در زمینه توسعه جایگاه‌های سوخت در مناطق ۳ و ۴ مهرشهر و محلات حاشیه شهر
- ❖ برنامه‌ریزی در جهت توزیع مناسب خدمات آموزشی، اداری و مکان‌های تجاری جهت دسترسی‌پذیری مناسب اکثر مناطق و محلات شهر به آن‌ها جهت کاهش مصرف سوخت بخصوص در مناطق ۶ و ۳.
- ❖ توسعه حمل‌ونقل عمومی جهت کاهش استفاده از اتومبیل شخصی و مصرف بنزین در سطح شهر به خصوص در مناطق ۱، ۸، ۹ و ۵.
- ❖ برنامه‌ریزی در جهت افزایش اختلاط کاربری در سطح محلات حاشیه شهر جهت کاهش سفر و متعاقباً مصرف بنزین؛ مناطق ۶ و ۳.
- ❖ فشرده‌سازی گام‌به‌گام محلات و مناطق شهر
- ❖ پیاده‌محوری سازی مناطق و محلات شهر جهت دسترسی به خدمات و امکانات موردنیاز شهروندان.

## تقدیر و تشکر

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

## منابع

- (۱) حاجی پور، خلیل و فروزان، نرجس. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی، نمونه موردی: شهر شیراز. نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، ۱۹ (۴)، ۲۶-۱۷.
- (۲) دیوسالار، اسداله؛ کیانژاد تجنکی، سید قاسم و عبدی بورا، محمد. (۱۳۹۸). تحلیل تطبیقی و سنجش ساخت و شکل شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). مطالعات محیطی هفت حصار، ۱ (۲۹)، ۳۹-۵۰.
- (۳) رستگاری، حمزه. (۱۳۹۵). بررسی تطبیقی تأثیر فرم شهر بر رفتار سفر شهری و مصرف سوخت وسایل نقلیه. مطالعات محیطی هفت حصار، ۶ (۱۹)، ۳۰-۱۹.
- (۴) رضازاده، مرتضی. (۱۳۹۵). تأثیر فرم شهر بر الگوی مصرف انرژی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران.
- (۵) رفیعیان، مجتبی؛ فتح جلالی، آرمان و داداشپور هاشم. (۱۳۹۰). بررسی و امکان سنجی تأثیر فرم و تراکم بلوک های مسکونی بر مصرف انرژی شهر، نمونه موردی شهر جدید هشتگرد. مجله آرمان شهر، ۴ (۶)، ۱۱۶-۱۰۷.
- (۶) رهنما، محمدرحیم و آقاجانی، حسین. (۱۳۹۲). تحلیل شاخص دسترسی در کلان شهر مشهد. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای،

- ۱۱ (۲۰)، ۵۸-۴۳.
- ۷ رهنما، محمد رحیم و عباس زاده، غلامرضا. (۱۳۸۷) / *صول، مبانی و مدل های سنجش فرم کالبدی شهر*. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی.
- ۸ سردره، علی اکبر. (۱۳۹۵). *سنجش تاثیر شاخص های فرم شهری بر رفتارهای ترافیکی و میزان مصرف انرژی ساکنین مطالعه موردی مناطق شهر تهران*. رساله دکترا، دانشگاه مازندران.
- ۹ شاهینی فر، مصطفی و حبیبی، میرسالار. (۱۳۹۵). کاربرد روش جای پای اکولوژیک در ارزیابی پایداری جغرافیای ناحیه ای (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). *آمایش محیط*، ۹ (۳۲)، ۴۱-۶۲.
- ۱۰ پورجعفر، شجاع و طبیبیان، منوچهر. (۱۳۹۸). *فراتحلیل رابطه فرم شهر و انرژی: مروری بر رویکردها، روش ها، مقیاس ها و متغیرها*. *دانش شهرسازی*، ۳ (۱)، ۸۵-۱۰۷.
- ۱۱ عبادی نیا، فهیمه؛ اجزاء شکوهی، محمد؛ رهنما، محمد رحیم و خوارزمی، امیدعلی. (۱۳۹۵). *ارزیابی سناریوهای حملونقل کم کربن شهر مشهد با استفاده از رویکرد جای پای بومشناختی. جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۹، ۱۱۵-۱۲۹.
- ۱۲ عسگری، علی. (۱۳۸۹). *تحلیل امار فضایی با GIS*. سازمان فناوری اطلاعات شهرداری کرج ۱۳۹۰.
- ۱۳ غفاریان بهرمان، محمد؛ پریزادی، طاهر؛ شمعی، علی؛ خطیبی زاده، محمد رضا و شهسوار، امین. (۱۳۹۵). *تحلیل فضایی زیست پذیری محلات شهری مورد مطالعه: منطقه ۱۸ تهران*. *پژوهش های محیط زیست*، ۷ (۴۱)، ۵۸-۴۳.
- ۱۴ قربانی، رسول. (۱۳۸۴). *تراکم و ساماندهی فضاهای شهری (مورد مطالعه: تبریز)*. پایان نامه دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز.
- ۱۵ عرفانیان، مهدی؛ حسین خواه، مریم و علیچانیور، احمد. (۱۳۹۲). *مقدمه ای بر روشهای رگرسیون چند متغیره OLS و GWR در مدل سازی مکانی اثرات کاربری اراضی بر کیفیت آب*. *نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۱ (۱)، ۵۵۳-۵۷۳.
- ۱۶ جلالی نائینی، احمد رضا؛ ممدوحی، امیررضا؛ علیمردادی، مهرداد و مجتهدزاده، مینا. (۱۳۹۰). *راهبردها و راهکارهای مدیریت مصرف سوخت در حمل و نقل شهری: اولویت بندی بر اساس روش نمودار هسه*. *فصلنامه برنامه ریزی و بودجه*، ۱۶ (۱)، ۷۵-۹۶.
- ۱۷ نیک پور، عامر؛ لطفی، صدیقه و رضازاده، مرتضی. (۱۳۹۴). *تحلیل رابطه میان فرم شهر و شاخص دسترسی (مورد مطالعه: شهر بابلسر)*. *برنامه ریزی فضایی*، ۷ (۳)، ۸۵-۱۰۶.

## References

- 1) Akande, A., Cabral, P., Gomes, P., & Casteleyn, S. (2019). The Lisbon ranking for smart sustainable cities in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 44, 475-487.
- 2) Alobaydi, D., Bakarman, M. A., & Obeidat, B. (2016). The Impact of Urban Form Configuration on the Urban Heat Island: The Case Study of Baghdad, Iraq. *Procedia Engineering*, 145, 820-827.
- 3) Asgari, A. (2011). *Spatial statistics analysis with GIS*. Karaj Municipality Information Technology Organization. [in Persian].
- 4) Banzhaf, H. S., & Kasim, M. T. (2019). Fuel consumption and gasoline prices: The role of assortative matching between households and automobiles. *Journal of environmental economics and management*, 95, 1-25.
- 5) Barakat, Y., Awad, E. N., & Ibrahim, V. (2016). Fuel consumption of gasoline ethanol blends at different engine rotational speeds. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(3), 309-315.
- 6) Divasalar, A., Kianjad, S., & Abdi Bora, M. (2020). Comparative analysis and measurement of urban construction and shape (Case study: City of Babylon). *Environmental Studies Seven Fences*, 8 (29), 39-50. [in Persian].
- 7) Ebadi Nia, F., Ajzashokuhi, M., Rahnama, M., & Kharazmi, M.A. (2015). Evaluation of low carbon transportation scenarios in Mashhad using the approach of ecological footprint. *geography and environmental hazards*, 19, 129-115. [in Persian].
- 8) Emekci, S., & Kayasü, S. (2017). Urban Form and Sustainability: The Case Study of Gaziantep in Turkey. *International Conference on Advances on Sustainable Cities*, Porto, Portugal, 15 - 17 November 2017, 95-110
- 9) Erfanian, M., Hosseinkhah, M., & Alijanpour, A. (2013). Introduction to multivariate regression

- methods OLS and GWR in spatial modeling of land use effects on water quality. *Journal of Watershed Management Promotion and Development*, 1 (1), 553-573. [in Persian].
- 10) Ghaffarian, B., Mohammad, P., Taher, S., Khatibzadeh, A., Mohammad, R., & Shahsavari, A. (2016). Spatial analysis of livability of urban areas studied: District 18 of Tehran. *Environmental Research*, 7 (41), 45 -58. [in Persian].
  - 11) Gorbani, R. (2014). *Density and organization of urban spaces (Case study: Tabriz)*. PhD thesis in Geography and Urban Planning, University of Tabriz. [in Persian].
  - 12) Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *science*, 319 (5864), 756-760.
  - 13) Hajipour, K., & Forouzan, N. (2014). The effect of city form on the amount of functional energy consumption in the residential sector, case study: Shiraz. *Journal of Fine Arts - Architecture and Urban Planning*, 19 (4), 17-26. [in Persian].
  - 14) Hsieh, S., Schüler, N., Shi, Z., Fonseca, J. A., Maréchal, F., & Schlueter, A. (2017). Defining density and land uses under energy performance targets at the early stage of urban planning processes. *Energy Procedia*, 122, 301-306.
  - 15) Hui, S. C. (2001). Low energy building design in high density urban cities. *Renewable energy*, 24(3-4), 627-640
  - 16) Jalali, N., Mamdouhi, A., & Alimoradi, M. (2012). Strategies and strategies for fuel consumption management in urban transportation: Prioritization based on Hesse diagram method. *Journal of Planning and Budgeting*, 16 (1), 75-96. [in Persian].
  - 17) Javanroodi, K., Nik, V. M., & Mahdavejad, M. (2019). A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101597.
  - 18) Jhang, S. R., Lin, Y. C., Chen, K. S., Lin, S. L., & Batterman, S. (2020). Evaluation of fuel consumption, pollutant emissions and well-to-wheel GHGs assessment from a vehicle operation fueled with bioethanol, gasoline and hydrogen. *Energy*, 209, 118436.
  - 19) Kim, K., Yi, C., & Lee, S. (2019). Impact of urban characteristics on cooling energy consumption before and after construction of an urban park: The case of Gyeongui line forest in Seoul. *Energy & Buildings*, 191, 42-51
  - 20) Lam, J.C. (2000). Shading effects due to nearby buildings and energy implications. *Energy Conversion and Management*, 47 (7):647-59
  - 21) Li, X. X. (2018). Linking residential electricity consumption and outdoor climate in a tropical city. *Energy*, 157, 734-743.
  - 22) Marique, A. F., & Reiter, S. (2011). A method to evaluate the energy consumption of suburban neighborhoods. *HVAC & R Research*, 18 (1-2), pp 88-99.
  - 23) Martin, J.C., Millington, P., Campbell, B., Barron, L., & Fisher, S. (2019). On-board generation of hydrogen to improve in-cylinder combustion and after-treatment efficiency and emissions performance of a hybrid hydrogen-gasoline engine. *Int J Hydrogen Energy*, 44(25), 12880-12889.
  - 24) Mörtberg, U., Goldenberg, R., Kalantari, Z., Kordas, O., Deal, B., Balfors, B., & Cvetkovic, V. (2017). Integrating ecosystem services in the assessment of urban energy trajectories – A study of the Stockholm Region. *Energy Policy*, 100, 338-349.
  - 25) Nikpour, A., Lotfi, S., & Rezazadeh, M. (2015). Analysis of the relationship between city form and access index (Case study: Babolsar city). *Spatial Planning*, 7 (3), 85-106. [in Persian].
  - 26) OECD., (2016). *Consumption Tax Trends 2016*. [https://read.oecd-ilibrary.org/taxation/consumption-tax-trends-2016\\_ctt-2016-en](https://read.oecd-ilibrary.org/taxation/consumption-tax-trends-2016_ctt-2016-en).
  - 27) Ogle, J., Delparte, D., & Sanger, H. (2017). Quantifying the sustainability of urban growth and form through time: An algorithmic analysis of a city's development. *Applied Geography*, 88, 1-14.
  - 28) Pourjafar, S. and Tabibian, M. (2018). Meta-analysis of the relationship between city form and energy: An overview of approaches, methods, scales and variables. *Urban Planning Knowledge*, 3 (1), 85-107. [in Persian].
  - 29) Rafieian, M., Fath, J., & Dadashpour, H. (2011). Investigation and Feasibility Study of the Effect of Form and Density of Residential Blocks on Energy Consumption of the City, Case Study of Hashtgerd New City. *Armanshahr Magazine*, 4 (6), 107-116. [in Persian].
  - 30) Rahnama, M., & Abbaszadeh, G. (2008). *Principles, Foundations and Models of Measuring the Physical Form of the City*. Mashhad: Jihaddaneshgahi Publications. [in Persian].
  - 31) Rastegari, H. (2016). A Comparative Study of the Effect of City Form on Urban Travel Behavior and Vehicle Fuel Consumption. *Haft Hesar Environmental Studies*, 6 (19), 19-30. [in Persian].
  - 32) Resch, E., Bohan, R., Kvamsdal, T., & Lohne, J. (2016). Impact of urban density and building height

- on energy use in cities. *SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep*, 5-7 October 2016.
- 33) Rezazadeh, M. (2016). *The effect of city form on energy consumption pattern*. Master Thesis, University of Mazandaran. [in Persian].
- 34) Sallee, James M., West, Sarah E., & Fan, Wei. (2016). Do consumers recognize the value of fuel economy? Evidence from used car prices and gasoline price fluctuations. *J. Publ. Econ.* 135, 61-73.
- 35) Sardreh, A. (2016). *Measuring the effect of urban form indicators on traffic behaviors and energy consumption of residents, a case study of Tehran*. PhD thesis, University of Mazandaran. [in Persian].
- 36) Shahinfar, M., & Habibi, M. (2016). Application of ecological footprint method in assessing the stability of regional geography (Case study: Kermanshah city). *Environmental Management*, 9 (32), 41-62. [in Persian].
- 37) Sikder, S. K., Nagarajan, M., Kar, S., & Koetter, T. (2018). A geospatial approach of downscaling urban energy consumption density in mega-city Dhaka, Bangladesh. *Urban climate*, 26, 10-30.
- 38) Small, Kenneth A., & Van Dender, K. (2007). Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect. *Energy J.* 28, (1), 25-52.
- 39) Surkyn, J., & Lesthaege, R. (2004). Value orientations and the second demographic transition in Northern, Western and Southern Europe: an update. *Demographic Research*, 3 (3), 45-99.
- 40) Yang, Y., Liu, J., Lin, Y., & Lin, Q. (2019). The impact of urbanization on China's residential energy consumption. *Structural Change and Economic Dynamics*, 49, 170-182.
- 41) Yin, C., Yuan, M., Lu, Y., Huang, Y., & Liu, Y. (2018). Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model. *Science of The Total Environment*, 634, 696-704.
- 42) Zhang, Y., Bert, G., & Krista S., (2016). Exploring the link between urban form and work related transportation using combined satellite image and census information: Case of the Great lakes region. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, number, 47, 139-159.