**Journal of Environmental Research**
Vol. 15, No. 29, Spring & Summer 2024

**Journal Homepage:** www.iraneiap.ir
**Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590**

# Assessment and Prioritization of Urban Development Sustainability Using a Hybrid Approach: Group Fuzzy BWM and GIS

**Document Type**
Research Paper

**Received**
2022/02/11

**Accepted**
2024/05/26

**Farzaneh Forouzesh[1], Seyed Massoud Monavari[*2], Abdolrasoul Salmanmahiny[3], Maryam Robati[4], Razieh Rahimi[5]**

1. Ph.D of Environmental Science, Department of Environmental Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
2. Professor, Department of Environmental Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
3. Professor, Department of the Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Associate Professor, Department of Environmental Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
5. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Islamic Azad University, West tehran, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2024.206231

## Abstract

Identifying and measuring sustainability through social, economic and environmental aspects is a priority in strategic decisions of policy makers. Also consideration of local context in urban sustainability assessment is important for the developing countries because of the varying stakeholder needs and priorities. The present study aimed to develop a practical framework consisting of GIS and MCDM using fuzzy logic to measure the sustainability of Karaj, a city in the west of Tehran, Iran. First, seven criteria and 24 sub-criteria of urban sustainability were identified based on literature review, interviews with experts, and Delphi technique. Then, the criteria were weighted and prioritized using Group fuzzy BWM. Fuzzy logic and Weighted Linear Combination (WLC) method in GIS were used to determine the sustainability potential of Karaj. Based on the results, the socioeconomic and employment criteria weighting 0.383 and 0.182 were the most important, and biological criteria and distance from the military lands with weight of 0.0383, 0.00337 were respectively the least important in the GF-BWM method. In terms of spatial distribution, both methods estimated that about 30% of the entire study area was highly sustainable. The integrated application of multi-criteria decision-making method and GIS provided a more flexible and cost-effective tool for decision making in urban planning and managemen.

**Key words:** Urban development, Urban sustainability, Delphi method, Group Fuzzy BWM, Socioeconomic factors

* Corresponding author: Email: masoud_monv@yahoo.com

## Introduction

The urban population accounted for 55% of the total population of the world in 2018, which is predicted to reach 65% by 2050 (Desa, 2019); Ibrahim et al. (2018). Iran, as a developing country, is witnessing a continuous growth in urbanization on a large scale. The city of Karaj in Alborz Province, located in the southern Alborz Mountain Range, has the second highest population( Alborz Statistical yearbook, 2016). It is located within the northern latitudes of 35˚ 67'-36˚ 14' and the eastern longitudes of 50˚ 56'-51˚ 42' over an approximate area of 141 $km^2$ (Fig1). The Alborz Mountain Chain bound the city in north and the elevation is decreasing from north to south. The average elevation is 1,320 m above the sea level. The climate of Karaj is semi-arid with annual rainfall, average annual temperature, average relative humidity, and annual evaporation values of 3 mm, 15 to 16 ° C, 53%, and 2184 mm, respectively(Sakieh et al., 2015b). The prevailing wind has a northwest direction. The present study uses AHP and GROUP FUZZY BWM for weighting the criteria and TOPSIS to prioritize and rank the alternatives. In order to assess the sustainability of urban development, three steps were taken based on an integrated quantitative modeling approach.

## Material and methods

In this step we Identify criteria and sub-criteria. After determining the boundaries of the study area, the SUD criteria and sub-criteria were selected based on field visits, local characteristics of Karaj, national standards, available data, experts' opinions, review of national and international resources, and SUD frameworks. A total of nine main criteria and 42 sub-criteria were identified. Finally, the experts' opinions collected by the Delphi method were used to determine the final criteria and sub-criteria. Seven criteria and 24 sub criteria with the maximum degree of importance (more than 50% of the total numerical value-) in the two-dimensional chart were recognized as the effective criteria and sub-criteria for the site selection analysis(Hasanzadeh et al., 2013; Mousavi et al., 2015). GF-BWM was used to propose a simple approach which can help decision-makers fully understand the priority of the selected criteria and sub criteria. Then, fuzzy set theory is used to fuzzify the layer in GIS. The map, standardized in the Terrset software using fuzzy functions.

## Results and Discussion

Based on the results of the Delphi questionnaire as well as the degree and percentage of importance, seven criteria out of nine criteria and 24 sub-criteria out of 42 sub-criteria., the final weight of the criteria and sub criteria was determined. Based on the results, the socioeconomic dimension and employment criteria weighting 0/383 in the GFBWM method. In sub criteria, employment and population density sub criteria from the socio-economic dimension and access to drinking water criteria of physical environment criteria had the highest priority. The final map of the factors was prepared based using the MCE approach and GF-BWM method. Then, the final Constraints map was prepared by integrating three layers, namely, military areas, flood zones, and the distance from the roads in GIS. Finally, In order to prepare the final sustainability map of Karaj (the output of the GIS model), the FMs (prepared by both methods) and CMs were overlaid using the WLC method in ArcGIS 10. 6. Higher values (close to 1) indicate the higher sustainability of land for urban development while lower values (close to zero) show lower levels of sustainability. The output maps was reclassified into five sustainability classes including very high, high, medium, low, and very low in hectares. The results showed several areas for sustainable development such as attracting new jobs in the northern part of the region, strengthening economic activities and improving access to public transport in The proposed methodology provides the opportunities for the policy makers and planner (especially the municipality of being the local authority) to formulate appropriate plans and policies and apply the required focus on measures to be implemented where there is the most need, to reflect their decisions more effectively and realistically as regards the real data for sustainable urban development site selection coupled with uncertainty. The northern and western parts, and preserving the ecological value of land in the central and older areas. The advantages associated with the current approach, presentation of model to develop based on the principles of sustainability and including seven major criteria (Including environmental, economic, and social factors), could be used for many cities by changing the input criteria, using appropriate data sets, and applying decision rules such as fuzzy logic as well as GF-BWM methods in GIS environment.

**Conclusion and future research**

In this study, combining the AHP and GFBW methods in the GIS environment increased the speed and accuracy of the results, as well as making it easier to use the results in overlay analyses. On the other hand, the finding showed this method to be efficient and applicable for solving spatial multi-criteria decision issues. Hence, the approach adopted in this study contributes to the complex process of assessing sustainability in a particular area. Generally, based on the study and analysis of the identified criteria and their weights and priorities in the city of Karaj, the results are significantly different from the widely used sustainability tools and show that global sustainability tools cannot be used directly in developing countries. Experts can design to urban development with these characteristics and considering urban facilities such as other criteria, Urban green space distribution, Educational per capita to save time and money in the urban development. In addition, a comprehensive and detailed plan could be designed to improve and enhance the process of the sustainability urban development of the city. Moreover, the finding showed this method to be efficient and applicable for solving spatial multi-criteria decision issues. Hence, the approach adopted in this study contributes to the complex process of assessing sustainability in a particular area. Generally, based on the study and analysis of the identified criteria and their weights and priorities in the city of Karaj, the results are significantly different from the widely used sustainability tools and show that global sustainability tools cannot be used directly in developing countries. The proposed approach for SUD has some limitations as well apart from its aforementioned advantages. The outcome of Delphi and these MCDM methodologies heavily relies on expert opinion, which may be biased some times because of subjectivity and transitivity of the expert (Manupati et al., 2018). In this study, out of 18 questionnaires were sent to specialists and expert. Then only 13 people including experts from Karaj Municipality with specialization in environment, urban planning, environmental graduates in master's and PhD degrees, and faculty members answered questions. Unfortunately, 6 of these questionnaires were not filled in carefully and patiently and were discarded.

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۵، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۳، از صفحه ۲۱ تا ۴۲

# ارزیابی و اولویت‌بندی پایداری توسعه شهری بر اساس رویکرد تصمیم‌گیری ترکیبی GF-BWM وGIS (مطالعه موردی: شهر کرج)

**فرزانه فروزش[۱]، سید مسعود منوری*[۲]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۳]، مریم رباطی[۴]، راضیه رحیمی[۵]**

۱. دکترای محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۳. استاد گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
۴. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۵. استادیار گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران غرب، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

**چکیده**

شناسایی و اندازه‌گیری سطح پایداری از سه بعد محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی یک اولویت در تصمیم‌گیری‌های راهبردی سیاست‌گذاران است. لذا، توجه به زمینه‌های محلی در ارزیابی پایداری شهری به دلیل متغیر بودن نیازها و اولویت‌های ذی‌نفعان برای کشورهای درحال‌توسعه حایز اهمیت ویژه است. این مطالعه باهدف ایجاد یک چارچوب عملی متشکل از GIS و تصمیم‌گیری گروهی فازی بدترین- بهترین با GF-BWM به‌منظور سنجش پایداری مناطق شهر کرج واقع در غرب تهران انجام شد. نخست با بررسی ادبیات تحقیق، مصاحبه با متخصصین و تکنیک دلفی به شناسایی و استخراج هفت معیار و ۲۴ زیر معیار پرداخته شد. سپس، بر اساس روش GF-BWM وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها به کمک نظر متخصصین صورت گرفت و در مرحله بعد با استفاده از منطق فازی و روش ترکیب خطی وزن‌دار توان بالقوه پایداری مناطق شهری تعیین شد. یافته‌ها نشان داد معیار اقتصادی و اجتماعی و زیر معیار اشتغال به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۸۳ و ۰/۱۸۲ از بیشترین اهمیت و معیار خصوصیات زیستی و زیر معیار فاصله از مناطق نظامی با وزن ۰/۰۳۸۳ و ۰/۰۰۳۳۷ از کمترین اهمیت برخوردار هستند. در مجموع از نظر توزیع مکانی، حدودا ۳۰ درصد از منطقه واقع در شمال و شمال‌غربی شهر کرج دارای بیشترین میزان پایداری بودند. در این مطالعه کاربرد هم‌زمان روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS در مناطق شهری و انعطاف‌پذیرتر شدن نتایج نشان داده شد و مدل ترکیبی ارزیابی چند معیاره به‌عنوان رویکردی موثر در مدیریت و برنامه‌ریزی شهری مورد تاکید قرار گرفت.

**کلیدواژه‌ها:** توسعه شهری، پایداری شهری، روش دلفی، روش GF-BWM، فاکتور اقتصادی و اجتماعی

* نویسنده مسئول: Email: masoud_monv@yahoo.com
DOI: 10.22034/eiap.2024.206231
DOR: 20.1001.1.20089597.1403.15.29.2.5

## سرآغاز

جمعیت جهانی شهرنشین در سال ۲۰۱۸ میزان ۵۵ درصد از کل جمعیت را به خود اختصاص داده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ این نسبت به ۶۵ درصد برسد (Desa, 2019; Ibrahim et al., 2018). در ایران به دلیل عواملی نظیر توپوگرافی کوهستانی، درجه حرارت و خشکی زیاد و دسترسی محدود به منابع‌طبیعی نظیر آب، بیشتر جمعیت در مناطق شمالی و غربی متمرکزشده است. همچنین، ایران به‌عنوان یک کشور در حال توسعه همواره شاهد افزایش پیوسته شهرنشینی همراه با تغییرات سریع اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در نیم قرن گذشته بوده است (Bihamta et al., 2015; Dadashpoor & Nateghi, 2017). به‌طور کلی شهرها درگذشته دارای شاخص‌ها و معیارهای مطلوب بوده‌اند، امّا امروزه با افزایش انفجاری جمعیت برخلاف توسعه پایدار گام برمی‌دارند و با گسترش فضایی به ضرر زیرساخت‌های اکولوژیک عمل می‌کنند (Nazarian, 2009). از این‌رو، افزایش سریع شهرنشینی فشار زیادی بر زمین‌ها و منابع وارد کرده و تغییرات قابل‌توجهی در کاربری اراضی نظیر کاهش مناطق روستایی و افزایش مناطق ساخته شده ایجاد کرده است (Malmir et al., 2016; Rafiee et al., 2009). در اوایل دهه ۱۹۷۰ اصطلاح پایداری ایجاد شد (Poveda, 2017) و در طی سال‌ها معنای آن تکامل یافت و به‌عنوان یک علم میان‌رشته‌ای مستقل ایجاد شد (Kates, 2012). پایداری شهری تعاریف مختلفی دارد و به جنبه‌های مختلفی توجه می‌کند. سازمان‌های بین‌المللی، خصوصی و دولتی و همچنین جوامع علمی تعاریف مختلفی از پایداری شهری ارایه داده‌اند (Poveda, 2017).

معانی پایداری شهری و توسعه پایدار شهری بسیار شبیه به هم هستند و اغلب در مقاله‌ها و کتاب‌های مختلف به‌صورت جایگزین استفاده می‌شوند (Robati et al., 2015). به‌عنوان یک تعریف، شهر پایدار ضمن تقویت رقابت‌پذیری، دارایی‌های محیط‌زیستی و فیزیکی خود را برای نسل‌های آینده حفظ می‌کند (Robati & Rezaei, 2021). تجزیه و تحلیل پایداری سیستم‌های پیچیده شهری، به‌منظور بررسی روابط بین پارامترها و شاخص‌های مختلف سرزمین نیاز به رویکردهای مدل‌سازی یکپارچه دارد و می‌توان بسته به هدف، مقیاس و دامنه مطالعه با رویکردهای مختلفی آن را توسعه داد (Cinelli et al., 2014). از جمله رویکردهای مدل‌سازی در مطالعات شهری می‌توان به ارزیابی چند معیاره، برنامه‌نویسی ریاضی، مدل‌های شبیه‌سازی فضایی و سیستم‌های خبره اشاره نمود (Riveira & Maseda, 2006). به‌طور کلی یکی از مناسب‌ترین ابزارها به‌منظور ارزیابی پایداری، استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌ها در یک روش ارزیابی متناسب باشد (Dadras et al., 2015). تحلیل تصمیم چند معیاره (MCDA) از جمله روش‌هایی است که کاربرد آن به‌طور گسترده‌ای در توسعه پایدار شهری و ارزیابی پایداری مطرح شده است (Boggia et al., 2018). همچنین، کاربرد گسترده سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور به‌منظور تجزیه و تحلیل مکانی و استخراج اطلاعات ارزشمند در توسعه پایدار شهری و سنجش پایداری نیز نشان داده شده است (Boggia et al., 2018; Dadras et al., 2015; Sakieh et al., 2015b).

در این پژوهش جهت ارزیابی پایداری توسعه شهری، نخست از پرسش‌نامه دلفی برای شناسایی و استخراج معیارهای پایداری شهری استفاده شد و در مرحله بعد یک مدل ارزیابی چند معیاره مکانی فازی جهت سنجش پایداری مناطق شهری به‌کار گرفته شد. دلفی یک روش تحقیقاتی است که به‌طور رسمی نظرات متخصصان را در چند دور احصا می‌کند و بازخورد آن‌ها را با هدف توسعه راه‌حل‌های آگاهانه مورد استفاده قرار می‌دهد (Jiménez Pulido et al., 2020) در پژوهش حاضر، از میان بسیاری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، از روش GF-BWM به‌منظور وزن‌دهی معیارها استفاده شده است. انتظار می‌رود کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند روش GF-BWM (Rahimi et al., 2020) و منطق فازی (Musa et al., 2019) در سنجش میزان پایداری باعث ارتقا و انعطاف روش و کمک به موضوع مورد بررسی، یعنی ارزیابی پایداری در روند توسعه شهری کرج گردد.

## مبانی نظری

امروزه به‌طور فزاینده‌ای فرصت‌ها و چالش‌های اصلی جهان در شهرها متجلی شده و رشد شتابان شهرنشینی در چند دهه گذشته و گسترش فعالیت‌های صنعتی، زیرساخت‌های شهری را کاهش و در مقابل ضایعات محیط‌زیستی را به‌شدت افزایش داده است (Zadeh et al., 2011). بنابراین، تمرکز زیاد جمعیت در مناطق شهری مشکلاتی را برای رفاه اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی ایجاد کرده و فشارهایی را بر سیستم‌ها وارد می‌آورد (Azami &

Razavian, 2013). در این میان، پایداری شهری را می‌توان بخشی از توسعه پایدار دانست که بر تعادل سه بعد پایداری محیطی، اقتصادی و اجتماعی برای بهبود رفاه و کیفیت زندگی انسان تاکید دارد (Robati & Rezaei, 2021). به‌عنوان یک تعریف، شهر پایدار شهری است که در آن بر جنبه‌های کالبدی شهر به‌ویژه در بخش مسکن توجه شده و از نظر کاربری‌های شهری هماهنگ و منسجم عمل نموده و شامل مشارکت شهروندان در حل مشکلات شهری باشد (Abbas zadeh & Akbari Motlagh, 2010). بنابراین، هدف از ارزیابی پایداری اطمینان از سهم بهینه فعالیت‌ها و طرح‌ها در توسعه پایدار است و نقشی ضروری در حفاظت از محیط طبیعی و همچنین رفاه مردم و جامعه و در سطح گسترده برنامه‌های توسعه شهری دارد (Kaur & Garg, 2019; Pope & Grace, 2006). منظور از شهر پایدار فقط شهری تمیز نیست، بلکه شهری است که انسان در آن درآمدی عادلانه، سرپناهی مناسب و احساس راحتی همراه با تلاش برای حفاظت از شهر داشته باشد. به همین دلیل، شاخص‌ها ابزاری برای شناخت دقیق‌تر شرایط موجود در جامعه در هر مقطع زمانی هستند و نیز روندها و دگرگونی‌هایی را نشان می‌دهند که طی دوره‌های مشخص در این شرایط رخ داده‌اند (Abdolahi, 2017). ارزیابی پایداری شهری به‌طور عمده با معیارهای مختلفی از جمله مکان، توپوگرافی، آب‌وهوا (اقلیم)، کاربری زمین، طرح مناسب شهری، حمل‌ونقل و میزان فضاهای باز در ارتباط است که باید به‌منظور ارتقا سطح پایداری و اطمینان از کیفیت بهتر زندگی ارزیابی گردد (Kaur & Garg, 2019). (Robati & Rezaei,

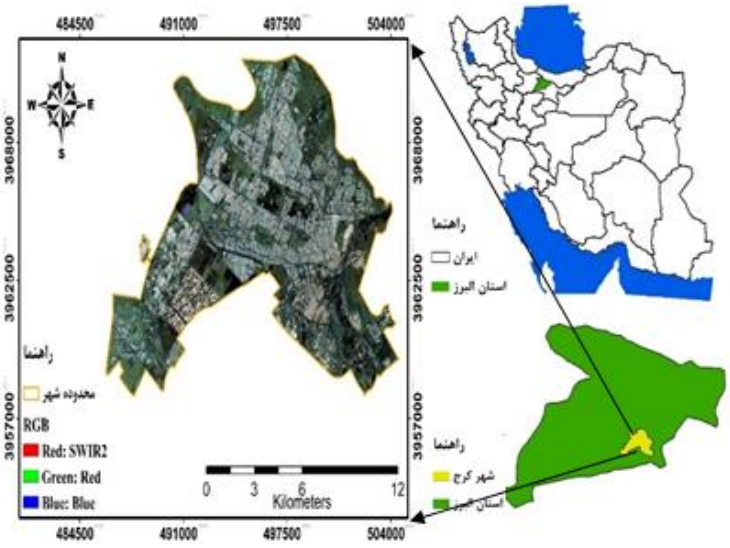
2021) پژوهشی تحت عنوان ارزیابی و رتبه‌بندی پایداری شهری فازی در سال ۲۰۲۱ انجام دادند که هدف از آن ارزیابی پایداری نواحی منطقه ۴ شهر تهران با استفاده از SAFE است. (Rahimi et al., 2019) پژوهشی در ارتباط با مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از رویکرد ترکیبی GF-BWM, FUZZY, MULTIMOORA, GIS در سال ۲۰۱۹ انجام دادند.

با در نظر گرفتن مطالب فوق و نتایج پژوهش‌ها، تمایز مطالعه حاضر از مطالعات مشابه تلاش برای کمی سازی داده‌های اقتصادی و اجتماعی، توجه به زیرساخت‌های شهری، منابع آلودگی و تلفیق این داده‌ها با سایر ابعاد پایداری است. در مطالعه حاضر یک الگوریتم تصمیم‌گیری یکپارچه متشکل از GF-BWM و GIS جهت ارزیابی میزان توان بالقوه پایداری در روند توسعه شهر کرج مورد استفاده قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

شهر کرج در استان البرز در زنجیره کوه‌های البرز جنوبی پس از شهر تهران پرجمعیت‌ترین شهر محسوب می‌شود (Management & Planning Organization, 2011). شهر کرج بین عرض‌های جغرافیایی ′۶۷ °۳۵ – ′ ۱۴ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ′۴۲ °۵۱ – ′۵۶ °۵۰ قرار گرفته و مساحت آن ۱۴۱ کیلومترمربع است (شکل ۱).




**شکل (۱): موقعیت شهر کرج**

رشته‌کوه‌های زنجیره‌ای البرز این شهر را در شمال محدود کرده و ارتفاعات از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. متوسط ارتفاع منطقه ۱۳۲۰ متر بالاتر از سطح دریا است. آب‌وهوای شهر کرج نیمه‌خشک و میزان بارندگی سالانه، میانگین دمای سالانه، میانگین رطوبت نسبی، تبخیر سالانه و جهت باد غالب به ترتیب ۳ میلی‌متر، ۱۵ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد، ۵۳ درصد، ۲۱۸۴ میلی‌متر و شمال‌غربی است (Sakieh et al., 2015b). شهر کرج به دلیل جاذبه‌های اقتصادی و اجتماعی مانند نزدیکی به تهران، حمل‌ونقل و سایر امکانات عمومی ارزان قیمت نظیر مسکن، دارای پتانسیل بالای رشد جمعیت و گسترش شهری (با رشد سالانه ۳/۱۴ درصد) است، به‌طوری‌که جمعیت آن در سال ۲۰۱۶ برابر با ۱۵۹۲۴۹۲ نفر ثبت شده است (Management & Planning Organization, 2011; Sakieh et al., 2015b).

## روش تحقیق

در این مطالعه سه‌گام بر اساس رویکرد یکپارچه و مدل‌سازی کمی به‌منظور سنجش میزان پایداری در روند توسعه شهری به شرح ذیل طی شده است:

### گام یک:

- شناسایی و استخراج کلیه ابعاد پایداری شهری (مولفه‌های اقتصادی- اجتماعی، محیط‌زیستی، زیستی، حرایم و فواصل، زیرساخت‌های شهری و کاربری اراضی) با بررسی منابع داخلی و خارجی و استفاده از پرسش‌نامه دلفی به‌منظور بومی‌سازی در طی روند توسعه شهری.

### گام دوم:

- ارایه یک الگوریتم تصمیم‌گیری یکپارچه بر اساس ساختار تصمیم‌گیری گروهی با حضور چهار متخصص با استفاده از GF-BWM جهت وزن‌دهی به معیارها و زیر معیارها.

### گام سوم:

- ایجاد نقشه تناسب بر اساس رویکرد ترکیبی MCDM (شکل ۲).

## گام یک: شناسایی و ارزیابی معیارها و زیر معیارهای توسعه شهری

در این مطالعه از سه مرحله به‌منظور ارزیابی معیارها و زیر معیارها پایداری شهری در روند توسعه شهری شامل شناسایی، استخراج و اولویت‌بندی به شرح ذیل استفاده‌شده است.

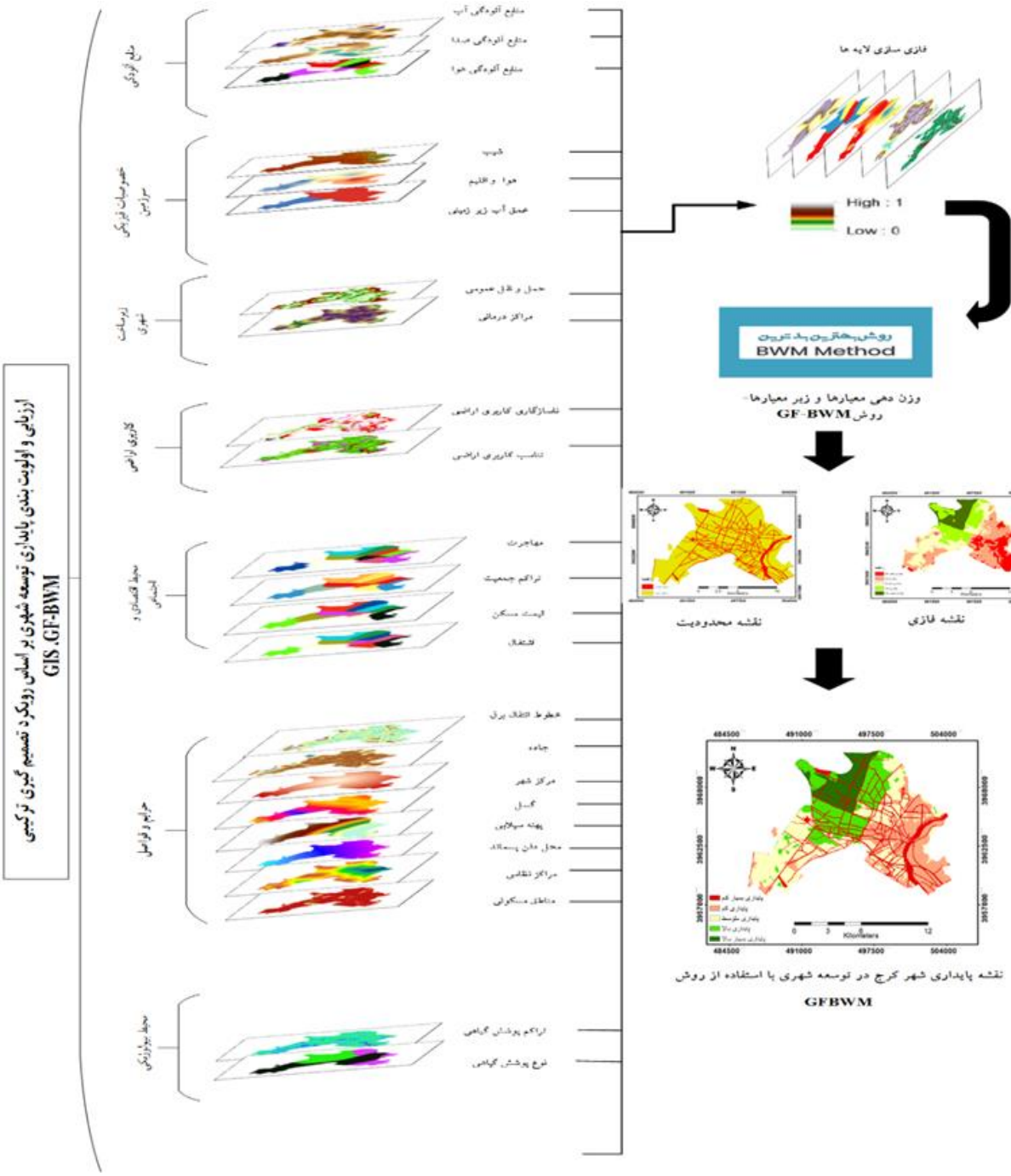
### - شناسایی معیارها و زیر معیارها

در مرحله نخست پس از تعیین مرز محدوده مطالعاتی، کلیه پارامترها و شاخص‌های پایداری شهری بر اساس بازدیدهای میدانی، ویژگی‌های بومی شهر کرج، استانداردهای ملّی و اطلاعات در دسترس، ارزیابی‌های متخصصین، بررسی منابع داخلی و خارجی و چارچوب‌های ارزیابی پایداری بررسی شد و معیارها و زیر معیارهای موثر در فرآیند مکان‌یابی مناطق پایدار شهری شناسایی و استخراج شد. در این مرحله نه دسته معیار اصلی و ۴۲ زیر معیار شناسایی شد (شکل ۳).

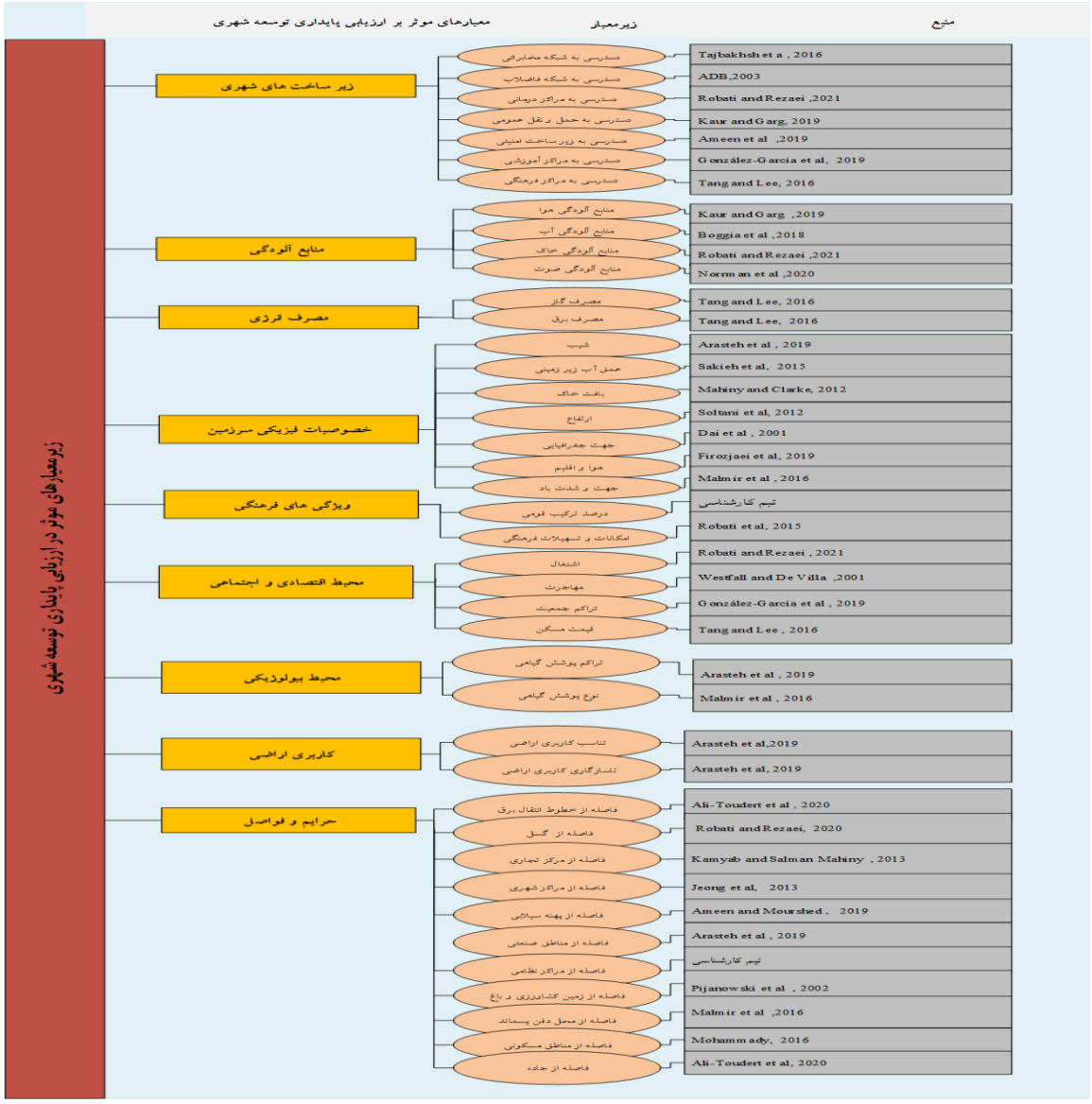
### - ترکیب گروه کارشناسی و غربال‌گری معیارها در پرسش‌نامه دلفی

در این مرحله کلیه معیارها و زیرمعیارهای پایداری شهری در قالب پرسش‌نامه دلفی تدوین شد و با استفاده از دیدگاه‌های نه متخصص اهمیت آن‌ها تعیین شد (شکل ۴).

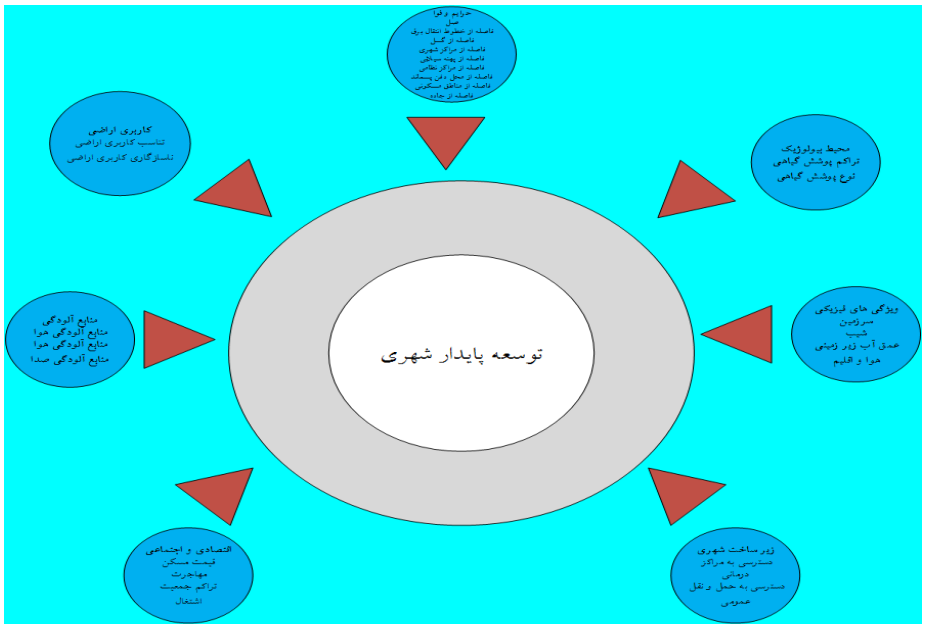
ترکیب و انتخاب پرسش‌شوندگان و گروه متخصص بر اساس تجربه و دانش درزمینه ساخت‌وساز محیط شهری، ارزیابی و توسعه پایدار شهری و محیط‌زیست صورت گرفت. در ادامه با استفاده از روش دلفی و جمع‌آوری نقطه نظرات ۹ کارشناس آشنا به موضوع درصد اهمیت و درجه اهمیت معیارها و زیر معیارها تعیین شد (روابط ۱ الی ۵). از هر یک از کارشناسان درخواست شد جهت قضاوت معیارها و زیرمعیارها از ضرایب ۱ (بی‌اهمیت)، ۳ (کم‌اهمیت)، ۵ (با اهمیت)، ۷ (اهمیت زیاد) و ۹ (اهمیت خیلی زیاد) استفاده کنند (Hasanzadeh et al., 2013).




**شکل (۲): نمودار روند ارزیابی پایداری در توسعه شهر کرج**




**شکل (۳): شناسایی معیارها و زیر معیارهای بر اساس ارزیابی توسعه شهری در کرج**




**شکل (۴): معیارهای مؤثر در فرآیند توسعه پایدار شهری**

– در ابتدا ضریب وزن تعدیل‌شده بر اساس معادله (۱) محاسبه شد:

(۱) $C = 9/\sum(1+3+5+7+9)$ ضریب وزن تعدیل

– سپس با ضرب این ضریب وزن تعدیل‌شده در مقادیر اولیه (۱، ۳، ۵، ۷ و ۹)، مقادیر تنظیم شده بر اساس معادله (۲) محاسبه شدند:

(۲)

$(Y_i)= 9/\sum(1+3+5+7+9) \times x_i$ تعدیل‌شده

$x_i$ =وزن اولیه

– مقادیر وزنی برای هر مقدار اهمیت (۱، ۳، ۵، ۷ و ۹) بر اساس معادله (۳) محاسبه شد:

$(Z_i)= y_i \times n$ (۳)

n= تعداد افرادی که به هر درجه اهمیت رأی داده‌اند (امتیاز)

– اهمیت کلیه معیارها و زیرمعیارها با جمع‌بندی مقادیر وزنی بر اساس معادله (۴) تعیین شد.

(۴) $\sum Z_i/A \times 100$ = درصد اهمیت هر معیار

$(A) = N \times 9$ حداکثر امتیاز قابل حصول

N= تعداد کل پرسش‌شوندگان

– درجه اهمیت هر معیار بر اساس معادله (۵) مشخص شد.

(۵) $\sum[X_I \times n]/N$ = حداکثر امتیاز قابل حصول

پس از محاسبه درجه و درصد اهمیت همه معیارها، معیارهای نامناسب شناسایی شدند و زیر معیارهایی که از حداکثر درصد و درجه اهمیت (بیش از ۵۰ درصد ارزش عددی) در نمودار دوبعدی برخوردار بودند، به‌عنوان زیر معیارهای موثر در فرآیند مکان‌یابی مناطق پایدار شناسایی شدند (Hasanzadeh et al., 2013; Mousavi et al., 2015).

## – تعیین وزن و اولویت‌بندی معیارها

در این پژوهش از روش GF-BWM به‌منظور ارایه یک رویکرد ساده استفاده شد که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا اولویت معیارهای انتخاب‌شده را جهت برآورد میزان پایداری شهری درک کنند. به‌طور کلی در بسیاری از مطالعات از منطق فازی با موفقیت برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها استفاده شده است (Çalık, 2019). از این‌رو، به‌منظور غلبه بر عدم اطمینان و ابهام در ارزیابی‌ها در هنگام اولویت‌بندی معیارها، تئوری مجموعه فازی با روش (BWM) ادغام شد.

## – تئوری مجموعه فازی

در نظریه مجموعه‌های فازی از یک تابع عضویت در محدوده صفر (با عضویت کامل) تا یک (عضویت کامل) استفاده می‌شود (Maués et al., 2020). در این پژوهش از اعداد مثلثی فازی استفاده شد و با توجه به نوع داده و شرایط تحقیق داده‌های فازی

به روش مرکز ثقل به داده‌های غیر فازی تبدیل شدند.

- **Group FUZZY BWM**

روش گروهی بهترین بدترین فازی برای اولین بار توسط حافظ الکتب و همکاران ارایه شده است (Hafezalkotob & Hafezalkotob, 2017). در این روش بهترین و بدترین معیار توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو شاخص و دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد؛ سپس یک مسئله حداکثر- حداقل برای مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف فرموله و حل می‌شود. در روش BWM فازی ارایه شده، اولویت قطعی BWM به‌منظور نشان دادن ابهام اصلی قضاوت‌کننده در مسایل واقعی تصمیم‌گیری، به اعداد فازی مثلثی تبدیل (Hafezalkotob & Hafezalkotob, 2017; Rahimi et al., 2020) شدند. مراحل روش گروهی بهترین و بدترین فازی مورد استفاده در این تحقیق بر اساس رابطه (۶) به شرح زیر است:

- تعیین مجموعه معیارهای تصمیم $\{C_1, C_2, ..., C_J, ...C_n\}$

- تعیین بهترین و بدترین معیار: در این مرحله تصمیم‌گیرنده بهترین و بدترین معیار را به‌طور کلی مشخص می‌نماید. هیچ مقایسه‌ای در این مرحله انجام نمی‌شود.

- تعیین درجه اهمیت بهترین معیار $B$ در مقایسه با معیار $j$ با استفاده از اعداد فازی مثلثی $\tilde{a}_{Bj}^{[p]}=(a_{Bj}^{L}, a_{Bj}^{M}, a_{Bj}^{U})^{[p]}$ (از دیدگاه کارشناسان) اگر $a_{Bj}^{U} - a_{Bj}^{L} = 0$ آنگاه اهمیت و قضاوت غیرفازی می‌شود (Rezaei, 2015). بهترین بردار فازی $\tilde{A}_B^{[p]} = (\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \ldots, \tilde{a}_{Bn})^{[p]}$. همچنین واضح است $\tilde{a}_{BB}^{[p]}=(1, 1, 1)$.

- تعیین درجه اهمیت فازی هر معیار $j$ در مقایسه با بدترین معیار $W$ با استفاده از اعداد فازی مثلثی $\tilde{a}_{jW}^{[p]}=(a_{jW}^{L}, a_{jW}^{M}, a_{jW}^{U})$ بردار سایر معیارها به بدترین حالت: $\tilde{A}_W^{[p]}=(\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \ldots, \tilde{a}_{nW})^{T,[p]}$. همچنین واضح است که $\tilde{a}_{WW}^{[p]}=(1, 1, 1)$:

- محاسبه وزن بهینه معیارها بر اساس رابطه (۶):

$$\min z = \sum_p \lambda_p \varepsilon_p \qquad (۶)$$

$$\left.\begin{array}{l} \left|W_B - \tilde{a}_{Bj}^{[p]} W_J\right| \le \varepsilon_p, \text{ for all j} \\ \left|W_j - \tilde{a}_{jw}^{[p]} W_W\right| \le \varepsilon_p, \text{ for all j} \end{array}\right\} \text{ for all p,}$$
$$\sum_j W_j = 1,\ W_j \ge 0, \text{ for all j}$$

که در آن $\alpha$ $(0 \le \alpha \le 1)$ است که نشان‌دهنده سطح احتمال تعریف شده توسط تصمیم‌گیرنده است. در این تحقیق از $\alpha$=۰/۹ و میزان $\lambda$ = ۰/۲۵ استفاده شد. در این فرآیند وزن هر یک از چهار متخصص برابر با یکدیگر در نظر گرفته شده است (Rahimi et al., 2020).

## - گام دوم: تعیین نقشه تناسب سرزمین و شناسایی پهنه‌های مناسب

به‌منظور تهیه و آماده‌سازی و پردازش لایه‌های ورودی در سیستم اطلاعات جغرافیایی از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸ در سال ۲۰۱۶ و نقشه‌های رقومی ۱:۵۰۰۰۰ کاربری اراضی و پوشش گیاهی، داده‌های سازمان آب منطقه‌ای البرز استفاده شد. پس از تهیه نقشه معیارها، لایه‌های نقشه به دو دسته فاکتور[۱] و محدودیت[۲] تقسیم شد. گروه اول شامل لایه‌های فاکتور مربوط به ۲۴ زیر معیار است که از پرسش‌نامه دلفی به دست آمد. نقشه‌ها با استفاده از توابع فازی متقارن، J شکل، خطی و تعریف شده توسط کاربر در محیط نرم‌افزار Terrset استانداردسازی شدند. فازی‌سازی به‌منظور متحد کردن مقیاس‌های اندازه‌گیری و تبدیل آن‌ها به واحدهای اندازه‌گیری قابل مقایسه صورت می‌گیرد. در ادامه کلیه لایه‌های فاکتور که وزن آن‌ها به روش BWM به‌دست آمده است با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (رابطه۷) ترکیب شدند (Arasteh et al., 2019; M Malmir et al., 2016). گروه دوم لایه‌های نقشه رقومی مورد استفاده محدودیت‌ها بودند که در این پژوهش شامل مراکز نظامی، پهنه سیلابی، حریم جاده‌ها و رودخانه کرج هستند. این لایه‌ها از نوع بولین هستند که در آن‌ها سلول‌های حاوی مقادیر صفر (۰) یا یک (۱) به ترتیب عدم امکان و امکان توسعه شهری را نشان می‌دهند (Myagmartseren et al., 2017). در نهایت با استفاده از رابطه (۸) هم‌پوشانی لایه محدودیت و لایه فازی وزن‌دار در محیط GIS با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار انجام شد و نقشه نهایی تناسب پایداری سرزمین به دست آمد.

$$\text{Fuzzy map} = \sum_{i=1}^{n} WiXi \qquad (۷)$$

$$\text{MCE} = \sum_{i=1}^{n} WiXi \Pi\, Ci \qquad (۸)$$

که در آن $W_i$ وزن نسبی اهمیت برای لایه فاکتور $i$، $X_i$ لایه استاندارد شده (عامل فازی) $i$، $\Pi$ عملگر ضرب و $C_i$ محدودیت $i$ است. لایه حاصل از روش MCE یک لایه مرکب واحد با مقادیر

پیکسل پیوسته است که بین ۰ و ۱ یا ۰ و ۲۵۵ متغیر است. مقادیر بالاتر در این لایه نشان‌دهنده پتانسیل بالاتر پایداری برای شهر است.

## نتایج

### ارزیابی معیارها و زیر معیارها

نتایج نهایی پرسش‌نامه دلفی نشان داد ۲۴ زیر معیار از میان ۴۲ معیار بر اساس درصد و درجه اهمیت به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای موثر در مکان‌یابی مناطق پایدار هستند. نتایج نشان داد معیارهای اشتغال، تراکم جمعیت، عمق آب زیرزمینی، فاصله تا منطقه مسکونی، دسترسی به خدمات بهداشتی و درمانی و حمل نقل عمل عمومی به ترتیب با درصد اهمیت به ترتیب ۲۷، ۲۶/۵، ۲۶/۲۲، ۲۳/۵۵ و ۲۲/۶۶ از بیشترین اولویت برخوردار بودند. به‌منظور تعیین صحت و پایایی نتایج پرسش‌نامه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS میزان آلفای کرونباخ محاسبه شد که ضریب اعتماد به‌دست آمده در حدود ۰/۹۱۴ نشان از قابل قبول بودن نتایج است.

### نتایج روش وزن‌دهی معیارها و زیر معیارها نتایج روش GF-BWM

امتیازدهی معیارها و زیر معیارها با استفاده از نقطه نظرات چهار کارشناس متخصص بر اساس عبارات زبانی و اعداد فازی مطابق با جدول (۱) صورت گرفته است. کلیه محاسبات بر اساس $\alpha$ =۰/۹ و میزان $\lambda$ = ۰/۲۵ انجام شده است. برای جلوگیری از طولانی شدن بحث، در این بخش فقط محاسبات نهایی در جدول (۲) ارایه شده است.

**جدول (۱): عبارات زبانی و اعداد فازی مربوط به آن‌ها**

| ردیف | عبارت زبانی | اعداد فازی مرتبط با عبارات زبانی |
|---|---|---|
| ۱ | اهمیت بسیار بسیار بالا | (۹,۹,۹) |
| ۲ | اهمیت بسیار بالا | (۵,۷,۹) |
| ۳ | اهمیت بالا | (۳,۵ ,۷) |
| ۴ | اهمیت متوسط | (۱,۳,۵) |
| ۵ | اهمیت برابر | (۱,۳,۳) |

## نقشه تناسب پایداری شهری کرج

### تهیه نقشه فازی

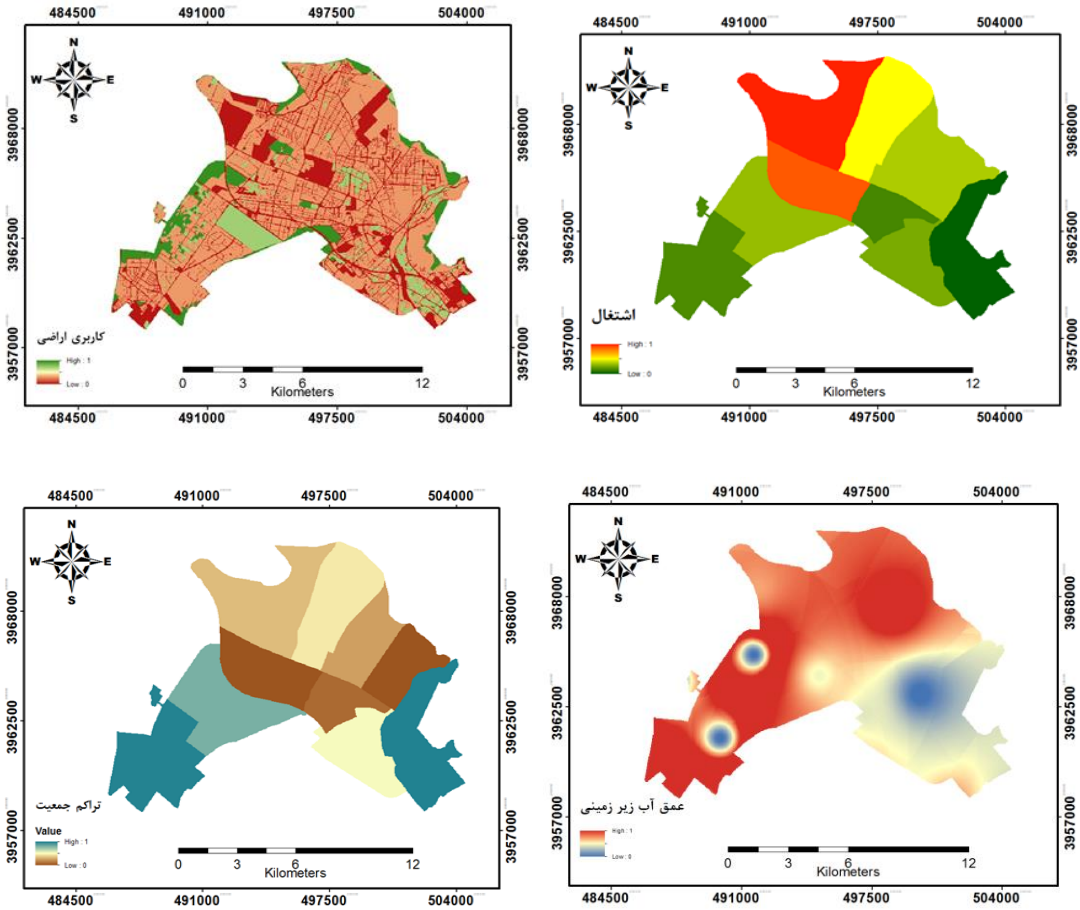
با استفاده از روش GF-BWM نقشه نهایی فاکتورها به دست آمد. حد آستانه مورد استفاده معیارها به‌منظور فازی‌سازی بر اساس نظرات کارشناسی، بررسی استانداردهای موجود در کشور، بررسی منابع داخلی و خارجی موجود صورت گرفت که در جدول (۳) ارایه شده است. در شکل (۵) تعدادی از نقشه‌های استاندارد شده زیر معیارها ارایه شده است. نقشه نهایی محدودیت از ترکیب سه لایه شامل مناطق نظامی، پهنه سیلابی و فاصله از جاده در محیط GIS تهیه شد.

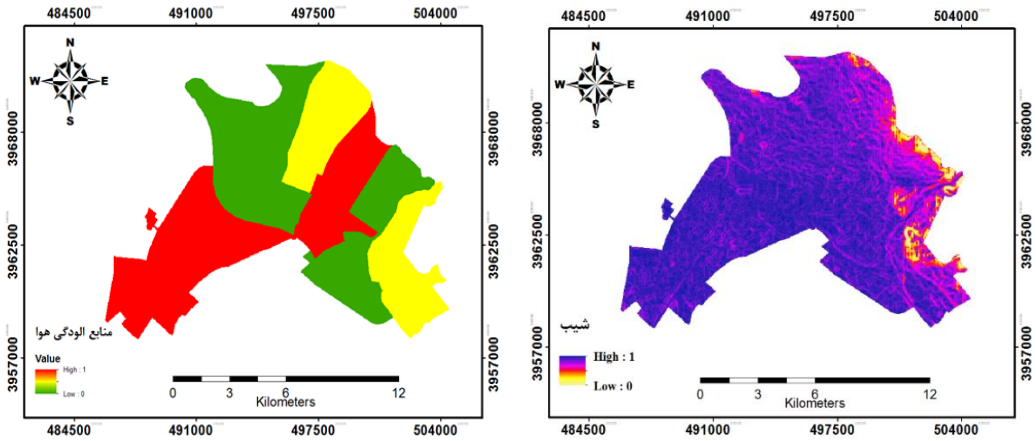
**جدول (۲): وزن کل زیر معیارهای به‌دست آمده با استفاده از روش GF-BWM و نوع تابع فازی**

| ردیف | معیار | زیر معیار | GF- BWM | نوع تابع | منبع |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | خصوصیات فیزیکی سرزمین | شیب | ۰/۰۰۸۸۵ | خطی کاهشی | سازمان نقشه‌برداری ایران |
| | | عمق آب زیرزمینی | ۰/۰۴۷۴ | سیمتریک | شرکت آب منطقه‌ای البرز |
| | | هوا و اقلیم | ۰/۰۰۶۵۴ | سیمتریک | اداره هواشناسی البرز |
| ۲ | حرایم و فواصل | فاصله از خطوط انتقال برق | ۰/۰۱۷۱ | خطی کاهشی | شرکت برق منطقه‌ای |
| | | فاصله از لندفیل | ۰/۰۰۶۰۰ | خطی افزایشی | شهرداری کرج |
| | | فاصله از مناطق مسکونی | ۰/۰۳۸۳ | خطی کاهشی | گوگل ارث |
| | | فاصله از جاده | ۰/۰۱۷۱ | سیمتریک | شهرداری کرج |
| | | فاصله از مراکز نظامی | ۰/۰۰۳۴۰ | خطی افزایشی | شهرداری کرج |
| | | فاصله از پهنه سیلابی | ۰/۰۰۷۶۶ | خطی افزایشی | شهرداری کرج |
| | | فاصله از گسل | ۰/۰۱۰۶ | شکل S | گوگل ارث |
| | | فاصله از مرکز شهر | ۰/۰۱۰۶ | خطی کاهشی | تصاویر ماهواره‌ای لندست |

**ادامه جدول (۲): وزن کل زیر معیارهای به‌دست آمده با استفاده از روش GF-BWM و نوع تابع فازی**

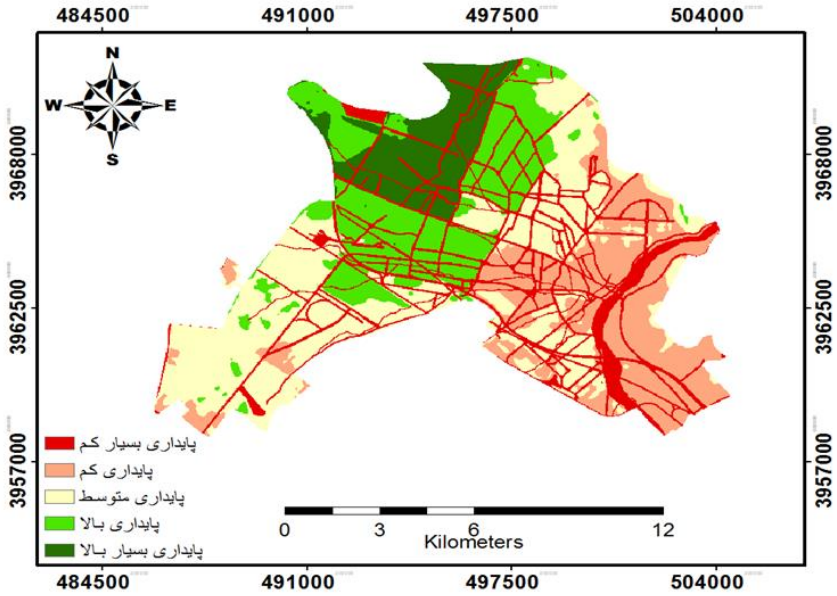
| ردیف | معیار | زیر معیار | GF- BWM | نوع تابع | منبع |
|---|---|---|---|---|---|
| ۳ | زیرساخت شهری | دسترسی به بیمارستان | ۰/۰۴۱۸ | خطی کاهشی | گوگل ارث |
| | | دسترسی به حمل‌ونقل عمومی | ۰/۱۲۱ | خطی کاهشی | تصاویر ماهواره‌ای لندست |
| ۴ | منبع آلودگی | منابع آلودگی صدا | ۰/۰۰۷۵۹ | خطی افزایشی | گوگل ارث |
| | | منابع آلودگی هوا | ۰/۰۴۷۴ | خطی افزایشی | شهرداری کرج |
| | | منابع آلودگی آب | ۰/۰۱۷۸ | خطی افزایشی | شهرداری کرج |
| ۵ | اقتصادی و اجتماعی | مهاجرت | ۰/۰۸۶۳ | خطی کاهشی | طرح تفصیلی کرج |
| | | تراکم جمعیت | ۰/۰۸۶۳ | خطی کاهشی | طرح تفصیلی کرج |
| | | قیمت زمین | ۰/۰۳۲۸ | سیمتریک | شهرداری کرج |
| | | اشتغال | ۰/۱۸۲ | خطی افزایشی | طرح تفصیلی کرج |
| ۶ | کاربری اراضی | تناسب کاربری زمین | ۰/۱۳۴ | تعریف شده توسط کاربر | شهرداری کرج |
| | | نرخ ناسازگاری کاربری اراضی | ۰/۰۲۸۶ | تعریف شده توسط کاربر | تصاویر ماهواره‌ای |
| ۷ | محیط بیولوژیک | نوع پوشش گیاهی | ۰/۰۰۹۸۲ | تعریف شده توسط کاربر | شهرداری کرج |
| | | تراکم پوشش گیاهی | ۰/۰۲۸۴ | تعریف شده توسط کاربر | شهرداری کرج |






**شکل (۵): برخی از نقشه‌های استاندارد مورد استفاده در ارزیابی پایداری کرج در توسعه شهری**

جهت تهیه نقشه نهایی تناسب پایداری شهر کرج نقشه فاکتورها و محدودیت‌هـا با استفـاده از روش ترکیبی خطی وزنی در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترکیب شدند (شکل ۶).




**شکل (۶): نقشه تناسب پایداری در روند توسعه شهر کرج**

هر چه اعداد به‌دست آمده در نقشه نهایی به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده پایداری بیشتر و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده پایداری کمتر برای توسعه است. نقشه نهایی تناسب سرزمین به پنج طبقه تقسیم شده است که مساحت هر کدام به هکتار در جدول (۴) آورده شده است.

**جدول (۳): معیارها و استانداردهای زیر معیارهای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل پایداری در روند توسعه شهری کرج (نگارنده، ۱۳۹۸)**

| معیار | زیر معیار | استانداردسازی معیارها | | | | | منبع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خصوصیات فیزیکی سرزمین | شیب | ۰٪<br>بسیار مناسب | ۵–۱۰٪<br>نسبتاً مناسب | ۱۰–۱۵٪<br>تناسب کم | ۱۵–۲۰٪<br>نامناسب | ≥۲۰٪<br>کاملاً نامناسب | Makhdom (2003); Arnous (2013); 20-year vision plan 2016); Soltani et al. (2013); Sakieh et Maryam Malmir et al. (2016); al. (2015a); Sakieh et al. (2015b); Mahiny and Clarke (2012) |
| | عمق آب زیرزمینی (شرب) | ۰–۱۰<br>نامناسب | ≥۱۰<br>مناسب | ۱۰۰<br>کاملاً نامناسب | | | Arnous (2013); Mahiny and Clarke (2012); Maryam Malmir et al. (2016) |
| | هوا و اقلیم | خشک | نیمه‌خشک | مرطوب | نیمه مرطوب | | Mahiny and Expert group from Meteorological Organization; Clarke (2012) |
| محیط بیولوژیکی | تراکم پوشش گیاهی | ≤۳۰٪ پوشش درختی<br>مناسب | ۳۰–۶۰٪ پوشش درختی<br>≤۵۰٪ پوشش علفی<br>نیمه مناسب | ≥۳۰% پوشش درختی<br>≥ ۵۰ %پوشش علفی<br>نامناسب | | | Expert group, Makhdom (2003) |
| فواصل و حرایم | فاصله از گسل | ۰–۱۰۰۰<br>نامناسب | ۱۰۰۰–۳۰۰۰<br>نسبتاً نامناسب | ۳۰۰۰–۷۰۰۰<br>نسبتاً مناسب | ۷۰۰۰–۱۰۰۰۰<br>مناسب | ≥۱۰۰۰۰<br>بسیار مناسب | Maryam Malmir et al. Lotfi et al. (2009); Xu et al. (2011); Mahiny Sakieh et al. (2015a); Sakieh et al. (2015b); (2016); and Clarke (2012) |
| | فاصله از مراکز نظامی | ۰–۱۵۰<br>کاملاً نامناسب | ۱۵۰–۳۵۰<br>نسبتاً نامناسب | ≥۳۵۰<br>کاملاً مناسب | | | Ministry of Roads and Urban Development (2019); Makhdom (2003) |
| | فاصله از پهنه سیلابی | ۰–۳۰۰<br>نامناسب | ۳۰۰–۳۰۰۰<br>نسبتاً مناسب | ≤۳۰۰۰<br>بسیار مناسب | | | Maryam Malmir et al. (2016)<br>Bathrellos et al. (2012) |
| کاربری اراضی | ناسازگاری کاربری اراضی | ناسازگاری زیاد (لندفیل، صنعت، آرامگاه و ...) | ناسازگاری کم (باغ و فضای سبز) | سازگار (مرتع و بایر) | | | Mahiny and Clarke (2012); Expert group |
| | تناسب کاربری اراضی | آبخیز (بسیار مناسب) | مرتع (مناسب) | کشاورزی (باغ و فضای سبز) نیمه مناسب | ساخته شده (مسکونی، تجاری، آموزشی) نامناسب | | Expert group |
| محیط اقتصادی و اجتماعی | تراکم جمعیت | کمتر از ۴۰ نفر در هکتار (بسیارکم) | ۴۱–۸۰<br>کم | ۸۱–۱۲۱<br>متوسط | ۱۲۱–۱۶۰<br>بالا | | Expert group from Karaj Municipality |

در این پژوهش نقشه نهایی تناسب پایداری سرزمین در توسعه شهری کرج در محیط نرم‌افزار GIS بر اساس روش محدوده‌های شکست طبیعی به ۵ طبقه تقسیم شد که مساحت هرکدام به هکتار ارایه شده است. همچنین نقشه نهایی ناشی از هم‌پوشانی نقشه فازی و محدودیت‌ها در روش GF-BWMنشان می‌دهد که ۹ درصد از منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۳۰۵ هکتار دارای بیشترین پایداری، ۱۸ درصد از منطقه با مساحت ۲۴۵۵ هکتار داری پایداری بالا، ۳۴ درصد از منطقه با مساحت ۴۸۰۷ هکتار دارای پایداری متوسط، ۲۱ درصد از منطقه با مساحت ۲۹۳۷ هکتار دارای پایداری پایین و ۱۸ درصد از منطقه با مساحت ۲۴۵۳ هکتار دارای پایداری کاملا نامناسب است. بیشترین مناطقی که دارای بالاترین میزان پایداری است در شمال، شمال‌غربی قرار گرفته است. همچنین، بخش شمال‌شرقی، شرقی و بخشی از غرب منطقه دارای پایداری بالایی است. جدول (۴) ویژگی‌های کلاس‌های پایداری برای توسعه شهری در شهر کرج نشان می‌دهد که شامل اطلاعات توصیفی مربوط به ورودی‌های موثر برای تعیین کلاس پایداری مدل را ارایه می‌دهد.

**جدول (۴): برخی از ویژگی‌های کلاس‌های پایداری در توسعه شهری کرج**

| کلاس | تراکم پوشش گیاهی(%) | | (m) فاصله از جاده | | دسترسی به حمل‌ونقل عمومی (m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار |
| پایداری بسیار کم | ۰/۵۹ | ۰/۹۰ | ۱۰۷ | ۲۱۰ | ۸۶۶ | ۵۸۵ |
| پایداری کم | ۰/۶۱ | ۰/۱۱ | ۲۵۹ | ۲۲۷ | ۱۲۱۲ | ۶۷۳ |
| پایداری متوسط | ۰/۶۱ | ۰/۱۰ | ۳۸۴ | ۳۴۸ | ۱۱۳۶ | ۶۴۶ |
| پایداری بالا | ۰/۶۰ | ۰/۰۹ | ۲۸۰ | ۲۹۱ | ۹۱۷ | ۶۰۶ |
| پایداری بسیار بالا | ۰/۵۸ | ۰/۰۷۷ | ۳۴۲ | ۳۶۸ | ۱۰۰۵ | ۶۶۶ |
| کلاس | عمق آب زیرزمینی (آب شرب) (m) | | مهاجرت (نفر) | | تراکم جمعیت (نفر در هکتار) | |
| | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار |
| پایداری بسیار کم | ۸۱ | ۲۷ | ۱۱۹۸۷ | ۴۹۰۴ | ۱۰۷ | ۴۱/۴۵ |
| پایداری کم | ۹۶ | ۲۵ | ۷۹۳۷ | ۱۶۴۸ | ۸۵ | ۴۶ |
| پایداری متوسط | ۶۱ | ۳۰ | ۱۰۲۳۲ | ۱۲۹۹ | ۹۲ | ۳۲ |
| پایداری بالا | ۶۴ | ۱۶ | ۱۵۵۸۸ | ۳۴۶۹ | ۱۳۰ | ۴۰ |
| پایداری بسیار بالا | ۷۰ | ۴ | ۲۱۳۷۹ | ۱۰۵ | ۱۲۰ | ۲/۵ |
| پایداری بسیار کم | ۸۱ | ۲۷ | ۱۱۹۸۷ | ۴۹۰۴ | ۱۰۷ | ۴۴/۴۵ |

## بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی پایداری شهری ابزاری مفید جهت نظارت بر توسعه پایدار شهری و نشان‌دهنده درک ما از پایداری شهری است (Kaur & Garg, 2019b). به‌طور کلی از کاستی‌های اصلی ابزارها و روش‌های ارزیابی پایداری شهری می‌توان به در نظر گرفتن جنبه‌های محدود یا معدود پایداری اشاره کرد (Ameen et al., 2015). به همین دلیل نیاز به ادغام ابعاد پایداری اضافی نظیر ابعاد اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و نهادی است که متاسفانه در بیشتر ابزارها گنجانده نشده‌اند یا وزن کمی به آن‌ها داده شده است. از سوی دیگر، ابزارهای ارزیابی پایداری جهانی به‌طور مستقیم در کشورهای در حال توسعه قابل استفاده نیست (Arasteh et al., 2019).

ارزیابی تناسب و سنجش پایداری ساخت‌وسازهای شهری مستلزم ترکیب بسیاری از عوامل موثر در طول زمان است (Sakieh et al., 2015b). از این‌رو، ادغام MCDM و GIS در تصمیم‌گیری‌های مکانی در توسعه پایدار شهری به دلیل ترکیب عوامل و فاکتورهای مختلف گسترده و رو به رشد است (Branch et al., 2012). در این پژوهش به کمک تحلیل چند معیاره بر اساس GIS به بررسی اهمیت کلیه معیارها و زیر معیارهای شناسایی‌شده با روش وزن‌دهی GF-BWM پرداخته شده است. به‌منظور انجام این روش‌ها نیاز به همسان‌سازی معیارهاست که با استفاده از استانداردسازی معیارها انجام‌گرفته است. روش‌های

یکپارچه امکان استفاده از تعدادی از شاخص‌ها را با استفاده از یک رویکرد جغرافیایی فراهم می‌آورند و نتایج حاصل از مطالعات پایداری را بهبود می‌بخشند .در مقایسه با مفاهیم توسعه‌یافتگی در چارچوب ارزیابی جهانی، ابعاد اقتصاد، اجتماعی و فرهنگی در کشورهای در حال توسعه نسبت به سایر ابعاد پایداری نظیر اثرات اکولوژیک و انرژی اهمیت بیشتری دارند (Mourshed & Ameen 2019). نتایج این پژوهش نشان داد ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی از جمله عوامل موثر پایداری در روند توسعه شهر کرج هستند. شهر کرج و نواحی پیرامون آن شاهد تنوع آداب و رسوم و مهاجرت اقوام مختلف و حاشیه‌نشینی به دلیل دسترسی سریع به تهران و استقرار بخش مهمی از کارخانه‌ها و فعالیت‌های پایه‌ای (ذوب‌آهن، صنایع شیمیایی و صنایع غذایی) در پیرامون و مهاجرت نیروی کار و جذب جمعیت شده است. با بررسی شبکه ارتباطی، نقش جاده‌ها به‌عنوان یکی از عوامل موثر در توسعه و جذب جمعیت و بازارهای بزرگ و صنایع مشهود است که حمل‌ونقل آسان‌تر در مسیر غرب و شمال کشور را به همراه دارد. پژوهش (Boggia et al., 2018) تحت عنوان تحلیل چند معیاره مکانی به‌منظور ارزیابی پایداری نشان داد که ادغام MCDA-GIS یک ابزار مفید در ارزیابی پایداری فراهم می‌کند. (Abdolahi, 2017) پژوهشی تحت عنوان سنجش و ارزیابی پایداری شهری با استفاده از فنون Saw، Topsis و ANP در شهر کرمان صورت داد. نتایج پژوهش وی نشان داد معیارهای اقتصادی با وزن ۰/۲۵۴، زیربنایی با وزن ۰/۲۵۱، اجتماعی با وزن ۰/۱۶۲، زیستی با وزن ۰/۱۲۵ و کالبدی با وزن ۰/۳۵ به ترتیب بالاترین اولویت را از نظر سطوح پایداری به خود اختصاص داده‌اند که با نتایج این پژوهش مشابهت داشت. Ameen و Mourshed در سال ۲۰۱۹ به ارایه چارچوبی جهت ارزیابی پایداری محلّی در مناطق شهری کشور عراق پرداختند و نشان دادند شاخص‌های آب، ایمنی، حمل‌ونقل و زیرساخت به ترتیب دارای امتیازات وزنی ۸/۵، ۷/۹ و ۷/۸ درصد بودند. همچنین، نتایج پژوهش ایشان نشان داد شاخص‌های عمق چاه (دسترسی به آب شرب) و دسترسی به حمل‌ونقل عمومی (زیرساخت) نیز به ترتیب با وزن ۰/۰۶۵ و ۰/۰۴۵ در اولویت بالا قرار داشتند.

به‌طور کلی تحقیق حاضر با تاکید بر لزوم توجه به اهمیت محلّی ابعاد پایداری و شناسایی شاخص‌های پایداری شهری انجام گرفته است. در تحلیل و ارزیابی اثرات فاکتورهای اقتصادی و اجتماعی با بررسی نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن شهرستان کرج، مطالعات برنامه آمایش استان البرز، برنامه راهبردی و طرح ساختاری (جامع) و طرح چشم‌انداز، مشخص شد شهر کرج به‌عنوان قطب اصلی مهاجرت بعد از شهر تهران است که در طی سال‌های ۱۳۴۵ الی ۱۳۷۵ شاهد مهاجرت به میزان ۶۰ درصد بوده و این میزان در سال ۱۳۹۰ به میزان ۱۱/۹۵ درصد از کل جمعیت شهر کاهش یافته است که حاکی از تغییرات چشمگیر و نامتعادل است. میزان اشتغال در شهر کرج در بخش کشاورزی از ۶ درصد کل شاغلین در سال ۱۳۵۵ به میزان ۱/۷ درصد در سال ۱۳۶۵ رسیده است، ولی میزان شاغلین شهری با افزایش تقریبی ۷۵ درصد روبه‌رو بوده است که این آمار ناشی از تغییر ساختار اشتغال و کاسته شدن اشتغال در بخش کشاورزی به دلیل کاهش پتانسیل‌های موجود در این بخش و تخریب زمین‌های کشاورزی است. بیشترین میزان مهاجرت و اشتغال به ترتیب در منطقه شش، پنج، هفت و یک (باغستان، حصارک، گوهردشت) صورت گرفته است (طرح تفصیلی شهرستان کرج، ۱۳۹۵). از طرفی در این شهر به دلیل افزایش جمعیت و مهاجرت از شهر تهران و جوان بودن جمعیت، لزوم تهیه مسکن پایدار و مناسب برای آحاد اقشار جامعه مهم و ضروری است. همچنین، بیشترین افزایش قیمت مربوط به منطقه‌های ۸ (جهان‌شهر کرج)، ۴ (بلوار ارم) و منطقه ۱ (عظیمیه) و کمترین میزان قیمت مربوط به منطقه ۱۰ (کلاک)، منطقه ۳ (کیانمهر) و منطقه ۵ (گلشهر) است (طرح تفصیلی شهر کرج، ۱۳۹۵). وجود زیرساخت‌ها نظیر دسترسی به حمل‌ونقل عمومی در بخش‌های شرقی، جنوب‌شرقی، شمال و مرکزی شهر کرج بسیار مناسب است. معیار حرایم و فواصل پس از معیار زیرساخت شهری بیشترین نقش را در پایداری شهر بر عهده دارد. از آنجایی که رودخانه کرج از مناظر طبیعی شهر است و تصرف حریم زهکشی‌های اصلی و طبیعی در محدوده شهر به دلیل توسعه مناطق مسکونی و فضاهای خدماتی شهری امکان بروز سیل در محدوده شهری را افزایش داده است، از این‌رو رعایت فاصله از بستر رودخانه و حفظ حریم پهنه سیلابی در میزان پایداری و توسعه شهری بسیار موثر است. فاصله از زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها از دیگر عوامل مهم در توسعه شهری است که به علت داشتن نقش اساسی در معیشت و اقتصاد منطقه و نیز سیمای اراضی پیرامون شهر بسیار حایز اهمیت است. با این حال، در سالیان گذشته روند توسعه و رشد شهر با تخریب این اراضی

صورت گرفته است. از طرفی به دلیل دسترسی به شبکه ارتباطی و رعایت حریم مناسب جهت توسعه پایدار شهر کرج در شمال‌شرقی نظیر عظیمیه، گوهردشت، فردیس و مهرشهر شرایط پایداری بسیار مناسب و در سایر مناطق مانند اسلام‌آباد، حصارک و حسن‌آباد نامناسب است. پارامتر عمق آب زیرزمینی از جمله فاکتورهای طبیعی است که به دلیل بالا بودن آب در جنوب و جنوب‌شرقی کرج روند توسعه پایدار فیزیکی را کند نموده است. همچنین، در بخش شمال و شمال‌شرقی بیشترین محدودیت ساخت‌وساز از نظر فاکتور شیب وجود دارد و به دلیل وجود ارتفاعات حاشیه‌ای و وجود شیب زیاد معابر، مشکل دفع آب‌های سطحی و شبکه فاضلاب جهت توسعه مناسب نمی‌باشد. به‌طور کلی وضعیت شهر کرج و روند توسعه پایدار آن در سال‌های اخیر بر مبنای فاکتورهای اقتصادی و اجتماعی در نظر گرفته شده است و تاکنون مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی پایداری محیط‌زیستی و بررسی کلیه ابعاد پایداری توسعه شهری در شهر کرج صورت نگرفته است.

در این پژوهش رویکرد تصمیم‌گیری مکانی با هدف شناسایی و اولویت‌بندی مناطق پایدار بر اساس معیارهای پایداری مطابق با ویژگی‌های یک منطقه شهری ارایه شده است. شناسایی معیارها و گزینه‌ها با استفاده از رویکرد فوق این امکان را به سیاست‌مداران و برنامه‌ریزان (دولت‌های محلی) خواهد داد تا با شناسایی مناطق مورد نیاز اقدامات لازم را درجایی که بیشترین نیاز را دارد صورت دهند و ایشان را به‌منظور اجرای سیاست‌های شهری توسعه پایدار شهرها یاری می‌دهد.

پژوهش حاضر نشان داد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره رویکردی موثر و مشخص در مکان‌یابی مناطق شهری با پتانسیل پایداری فراهم می‌کنند. استفاده از رویکرد ترکیبی یاد شده در مکان‌یابی مناطق پایدار دارای مزایای بسیار زیادی است که از جمله آن می‌توان به عملیات ترکیب نقشه‌ها به شکل ساده در زمان کوتاه اشاره نمود. این روش می‌تواند توسط مسئولین و سیاست‌مداران کشورهای در حال توسعه جهت کاهش هزینه و زمان به کار گرفته شود. کاربرد روش GF-BWM در مکان‌یابی به‌صورت فردی اهمیت نسبی هر معیار را بر اساس قضاوت زبانی ارزیابی می‌کند و در نهایت با ادغام نظرات گروه کارشناسی وزن بهینه معیارها محاسبه می‌شود. بنابراین، ساختار گروهی و مختلف تصمیم‌گیرندگان در این روش می‌تواند به‌عنوان نقطه قوت مطالعاتی از این دست در نظر گرفته شود.

## تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از پایان‌نامه دکترای فرزانه فروزش است که از نظر مالی مورد حمایت شهرداری کرج در ایران قرار گرفته است. از آقای دکتر مظاهر معینی‌الدینی برای تهیه و جمع‌آوری اطلاعات تشکر می‌شود. همچنین از آقای مهندس سیدحسن موسوی و دکتر مصطفی قلی‌پور جهت تهیه و جمع‌آوری اطلاعات، تهیه و تکمیل پرسش‌نامه و کمک‌های فنی در طی انجام مطالعه قدردانی می‌شود.

## یادداشت‌ها

1. Factor map
2. Exclusion map

## منابع

Abbaszadeh, G. & Akbari Motlagh, M. 2010. Evaluation of urban development trends according to sustainability criteria The first urban development conference, Tehran.

Abdolahi, A. A. 2017. Measuring and evaluating urban sustainability using techniques ANP, Topsis, Saw (Case study: Kerman city). Regional Planning, 7(28): 107-120(In persian).

Ameen, R.; & Mourshed, M. 2019. Urban sustainability assessment framework development: The ranking and weighting of sustainability indicators using analytic hierarchy process. Sustainable Cities and Society, 44: 356-366.

Ameen, R.F.M.; Mourshed, M. & Li, H. 2015. A critical review of environmental assessment tools for sustainable urban design. Environmental Impact Assessment Review, 55: 110-125.

Arasteh, R.; Abbaspour, R.A. & Salmanmahiny, A. 2019. A modeling approach to path dependent and non-path dependent urban allocation in a rapidly growing region. Sustainable Cities and Society, 44: 378-394.

Arnous, M.O. 2013. Geotechnical site investigations for possible urban extensions at Suez City, Egypt using GIS. Arabian Journal of Geosciences, 6(5): 1349-1369.

Azami, A.S. & Razavian, M. 2013. Analysis moving towards sustainable development of a city with emphasis on the quality of urban life: The case of Noor. Environment and Urbanization ASIA, 4(1): 31-56.

Bathrellos, G.D.; Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H. D., Papanastassiou, D., & Chousianitis, K. G. (2012). Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological–geomorphological parameters. Environmental earth sciences, 66(2): 537-548.

Bihamta, N.; Soffianian, A.; Fakheran, S. & Gholamalifard, M. 2015. Using the SLEUTH urban growth model to simulate future urban expansion of the Isfahan metropolitan area, Iran. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 43(2): 407-414.

Branch, S.; Yusuff, R.M.; & Afshari, A.R. 2012. A review of Spatial Multi Criteria Decision Making. Khavaran Institute of Higher Education: Kuala Lumpur, Malaysia.

Çalık, A. 2019. Comparison of decision-making approaches to prioritization of clean air action plans for sustainable development. Environmental Health Engineering and Management Journal, 6(4): 257-268.

Cinelli, M.; Coles, S.R.; & Kirwan, K. 2014. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. Ecological indicators, 46: 138-148.

Dadashpoor, H. & Nateghi, M. 2017. Simulating spatial pattern of urban growth using GIS-based SLEUTH model: a case study of eastern corridor of Tehran metropolitan region, Iran. Environment, Development and Sustainability, 19(2): 527-547.

Dadras, M.; Shafri, H. Z.; Ahmad, N.; Pradhan, B. & Safarpour, S. 2015. Spatio-temporal analysis of urban growth from remote sensing data in Bandar Abbas city, Iran. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(1): 35-52.

Desa, U.N. 2019. World population prospects 2019: Highlights. New York (US): United Nations Department for Economic and Social Affairs.

Hafezalkotob, A. & Hafezalkotob, A. 2017. A novel approach for combination of individual and group decisions based on fuzzy best-worst method. Applied Soft Computing, 59: 316-325.

Hasanzadeh, M.; Danehkar, A. & Azizi, M. 2013. The application of Analytical Network Process to environmental prioritizing criteria for coastal oil jetties site selection in Persian Gulf coasts (Iran). Ocean & coastal management, 73: 136-144.

Ibrahim, M.; El-Zaart, A. & Adams, C. 2018. Smart sustainable cities roadmap: Readiness for transformation towards urban sustainability. Sustainable cities and society, 37: 530-540.

Jiménez-Pulido, C.; Jiménez-Rivero, A. & García-Navarro, J. 2020. Sustainable management of the building stock: A Delphi study as a decision-support tool for improved inspections. Sustainable cities and society, 61: 102184.

Kates, R.W. 2012. From the unity of nature to sustainability science: ideas and practice. In Sustainability Science (pp. 3-19). Springer.

Kaur, H. & Garg, P. 2019a. Measuring Sustainability of Development in Planned Hill Towns: A Case of New Tehri Town. In Research into Design for a Connected World (pp. 369-379). Springer.

Kaur, H. & Garg, P. 2019b. Urban sustainability assessment tools: A review. Journal of cleaner production, 210: 146-158.

Lotfi, S.; Habibi, K. & Koohsari, M.J. 2009. An analysis of urban land development using multi criteria decision model and geographical information system (a case study of Babolsar city). American Journal of Environmental Sciences, 5(1): 87-93.

Mahiny, A.S. & Clarke, K.C. 2012. Guiding SLEUTH land-use/land-cover change modeling using multicriteria evaluation: towards dynamic sustainable land-use planning. Environment and planning B: planning and design, 39(5): 925-944.

Makhdom, M. 2003. Fundamental of land-use planning. Tehran university.

Malmir, M.; Zarkesh, M.M.K.; Monavari, S.M.; Jozi, S.A. & Sharifi, E. 2016. Analysis of land suitability for urban development in Ahwaz County in southwestern Iran using fuzzy logic and analytic network process (ANP). Environmental monitoring and assessment, 188(8): 1-23.

Malmir, M.: Zarkesh, M.M.K.; Monavari, S.M.; Jozi, S.A. & Sharifi, E. 2016. Analysis of land suitability for urban development in Ahwaz County in southwestern Iran using fuzzy logic and analytic network process (ANP). Environmental monitoring and assessment, 188(8): 447.

Management & Planning Organization, S. C. o. I. T. 2011. Iran statistical yearbook 2011.

Maués, L.M.F.; do Nascimento, B.D.M.O.; Lu, W. & Xue, F. 2020. Estimating construction waste generation in residential buildings: A fuzzy set theory approach in the Brazilian Amazon. Journal of Cleaner Production, 265: 121779.

Mousavi, S.H.; Danehkar, A.; Shokri, M.R.; Poorbagher, H. & Azhdari, D. 2015. Site selection for artificial reefs using a new combine Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) tools for coral reefs in the Kish Island–Persian Gulf. Ocean & Coastal Management, 111: 92-102.

Musa, H.D.; Yacob, M.R. & Abdullah, A.M. 2019. Delphi exploration of subjective well-being indicators for strategic urban planning towards sustainable development in Malaysia. Journal of urban management, 8(1): 28-41.

Myagmartseren, P.; Buyandelger, M. & Brandt, S.A. 2017. Implications of a spatial multicriteria decision analysis for urban development in Ulaanbaatar, Mongolia. Mathematical Problems in Engineering, 2017.

Nazarian, A. 2009. Dynamics of Iran's urban system. Publication of Mobtakeran, Tehran.

Pope, J. & Grace, W. 2006. Sustainability assessment in context: Issues of process, policy and governance. Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 8(03): 373-398.

Poveda, C.A. 2017. Sustainability Assessment: a Rating System Framework for Best Practices. Emerald Group Publishing.

Rafiee, R.; Mahiny, A.S.; Nematolah, Darvishsefat, A. A. & Danekar, A. 2009. Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM). Cities, 26(1): 19-26.

Rahimi, S.; Hafezalkotob, A.; Monavari, S. M.; Hafezalkotob, A. & Rahimi, R. 2020. Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. Journal of Cleaner Production, 248: 119186.

Riveira, I.S. & Maseda, R. 2006. A review of rural land-use planning models. Environment and Planning B: Planning and Design, 33(2): 165-183.

Robati, M.; Monavari, S. M. & Majedi, H. 2015. Urban environment quality assessment by using composite index model. Environmental Progress & Sustainable Energy, 34(5): 1473-1480.

Robati, M. & Rezaei, F. 2021. Evaluation and ranking of urban sustainability based on sustainability assessment by fuzzy evaluation model. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-26.

Sakieh, Y.; Amiri, B.J.; Danekar, A.; Feghhi, J. & Dezhkam, S. 2015a. Scenario-based evaluation of urban development sustainability: an integrative modeling approach to compromise between urbanization suitability index and landscape pattern. Environment, Development and Sustainability, 17(6): 1343-1365.

Sakieh, Y.; Amiri, B.J.; Danekar, A.; Feghhi, J. & Dezhkam, S. 2015b. Simulating urban expansion and scenario prediction using a cellular automata urban growth model, SLEUTH, through a case study of Karaj City, Iran. Journal of Housing and the Built Environment, 30(4): 591-611.

Soltani, S.R.; Mahiny, A.S.; Monavari, S.M. & Alesheikh, A.A. 2013. Sustainability through uncertainty management in urban land suitability assessment. Environmental Engineering Science, 30(4): 170-178.

Xu, K.; Kong, C.; Li, J.; Zhang, L. & Wu, C. 2011. Suitability evaluation of urban construction land based on geo-environmental factors of Hangzhou, China. Computers & Geosciences, 37(8): 992-1002.