

EXTENDED ABSTRACT

Application of Roughs' Theory in Multi-Criteria Decision-Making Methods to Assess the Applications of Building Information Modeling in Iran's Construction Projects

Alireza Aminrad^a, Mohammad Mirhosseini^{b,*}, Mohammad Ehsanifar^c, Ehsanollah Zeighami^b

^a PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

^b Associate Professor, Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

^c Department of Industrial Engineering, Technical and Engineering Faculty, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Received: 03 September 2022; **Reviewed:** 30 July 2023; **Accepted:** 19 August 2023

Keywords:

Building Information Modeling (BIM), Building Information Modeling capabilities, Iranian construction projects, Roughs' theory, Analysis Hierarchy Process (AHP), VIKOR.

1. Introduction

Recently, Building Information Modeling (BIM) has emerged as a new technology in the architecture industry, which is gradually gaining popularity among stakeholders. The literature review shows a significant gap in measuring the capabilities of BIM in Iran's construction projects. Therefore, the goal is to measure BIM capabilities and efforts have been made to select the best BIM capabilities in such a way as to increase the level of confidence in the use of this new technology. Since the evaluation of the most appropriate option is a multi-criteria decision-making problem. Therefore, decision makers use preferences that are uncertain when weighing options. Therefore, in the present study, rough's theory, which is efficient in such conditions, is used. In fact, he first used Delphi to identify criteria and decision-making options, and then used rough's theory to convert experts' preferences into interval numbers and the new combined method of Analytical Hierarchy Process (AHP) and VIKOR of rough to measure capabilities. BIM is used. It should be mentioned that in the current study, the VIKOR-AHP method was developed with rough data. The results showed that the use of rough's theory along with multi-criteria decision-making methods can help the stakeholders in decision-making under conditions of uncertainty and is a starting point for research based on BIM and its management perspectives in providing the correct insight to use it in Iran's construction projects.

2. Methodology

The main goal of the current research is to apply roughs' theory in multi-criteria decision-making methods to measure BIM. To achieve this goal, a mixed research method will be used; Because this method is one of the most practical research methods in the field of management, which results from the combination of qualitative and quantitative methods. For this purpose, a qualitative-quantitative procedural plan that consists of

conducting a preliminary qualitative study to apply and plan the findings of a quantitative approach (as the main method) is implemented. The working method is as follows: First, in the qualitative section, by reviewing the research literature and experts' opinions, the key performance indicators and applications of building information modeling are identified. Then, after identifying key performance indicators and building information modeling applications, a hierarchical structure is formed. In the next step, using the Delphi method, the key indicators, and applications of building information modeling will be evaluated. After confirming the research criteria, a pairwise comparison matrix of the criteria was formed. The pairwise comparison matrix of the experts was converted into interval numbers using roughs' theory, and then the weights of the criteria were obtained with the help of the Rough hierarchical analysis process. After determining the weight of the criteria, the decision matrix of the problem was formed and the data of the decision matrix was converted into distance numbers using roughs' theory, and then using the VIKOR rough method, the application of building information modeling was measured. Therefore, before presenting the results of the research, it was proposed to present two quantitative-qualitative procedures, which consist of conducting a preliminary qualitative study for use and the findings of a subsequent quantitative approach.

2.1. Qualitative stage

This stage covered the customization of key construction project management criteria and the initial list of BIM performance dimensions in the construction stage (taken from the subject literature) within the context and structure of Iran. The key performance criteria in the field of construction are highly text-oriented and should be adopted according to the text and related structure. In addition, the technical benefits of BIM should be examined from the perspective of local and technological competencies. Therefore, the Delphi method was chosen for this purpose, which is an organized procedure to achieve consensus and agreement among an expert panel through frequent discussions in the form of interviews or questionnaires. In general, the number of relevant meetings varies from two to seven and the number of participants varies from three to fifteen people. With the launch of each round of the meeting, the answers are analyzed, and based on the evaluation, interviews or semi-structured questionnaires are prepared and sent to the experts of the next meeting. The repetitive nature of this method provides feedback from the panel and new information from different perspectives. This opportunity allows them to review their ideas in the previous meeting and revise and modify them based on new suggestions.

2.2. Quantitative stage (new combined method of Analysis Hierarchy Process (AHP) and (VIKOR))

This stage includes the quantification of the level of importance of key performance indicators in the field of construction through the AHP method and the benefits of BIM in the construction phase of construction projects. In general, measuring building information modeling capabilities includes two parts:

- 1) Determining the relative importance of the evaluation index;
- 2) Ranking decision-making options.

Since we are usually faced with insufficient and incomplete information in the real world, therefore, due to the lack of proper and complete information and data in the real world, we must use methods that can work in such environments. One of the concepts used in such environments is the roughs' theory, which can work well in the absence of sufficient and complete information. In this regard, the current research proposes an integrated approach by introducing rough numbers to the AHP-VIKOR technique to eliminate ambiguity in the decision-making process. In the first step, to calculate the relative importance of the evaluation indices, rough numbers are combined with AHP and the results are obtained. Then the research provides a rough VIKOR to measure the decision options. By combining AHP Ruff and VIKOR Ruff, both the relative importance of evaluation indicators and the ranking of decision options are determined without any auxiliary information. Therefore, the proposed method can effectively reflect the real perception of decision-makers and strengthen the objectivity of the evaluation of the design concept.

3. Results and discussion

The results showed that the project coordination option (A3) and project time planning and construction sequence (A9) are chosen as the best option. Then, in the order of conflict detection and collision (A7), integration of sub-contractor and supplier data (A2), safety (A5), cost estimation and estimation (A8), site layout planning (A1), pre-construction (A6), and construction supervision (A5) are other ranking options by VIKOR method. The overall findings of the importance of evaluation indicators, according to the relative importance of each key performance indicator compared to others, show that quality improvement has

received the highest level of attention among all indicators. The descending order of other classes according to the level of importance is as follows: reduction of construction cost, sustainable construction, improvement of construction capability, and delivery of the building in terms of time efficiency. This result is confirmed with a weight of 0.365 for the quality improvement class, which is much higher and more important than other indicators that are evaluated according to BIM technology and the construction stage of the project life cycle. It has been confirmed that BIM has a significant capacity and potential to improve the construction quality management process by changing the way project participants interact with each other and maintaining information in an integrated database. The next important indicator is the reduction of construction costs. The reduction of construction costs is mainly known as a key asset in the financial turnover of the construction industry and it seems that the importance of this indicator is more in the context of Iran because the Iranian construction industry has a low profitability rate and high failure rate due to irregularity of customer payments. This problem is aggravated due to the recent recession and national economic crisis, which is caused by the widespread recession resulting from international sanctions. The first relevant application of BIM for this indicator is the estimation and cost estimation, which can be done through the driving force of the powerful five-dimensional modeling of building information, meters, and automatic estimation. Five-dimensional modeling of building information projects the exact form of output values of the required quantities using a specialized measurement tool and strong solutions to maintain homogeneity of cost data. The next key performance indicator that helps to improve the usability of BIM in the construction industry is the sustainable construction key indicator. BIM promotes the key performance indicators of sustainable construction at the design stage, especially where advanced techniques such as energy-efficient development can be developed and incorporated. The technological aspect of BIM helps the team involved in each project to observe and examine what will be built in a simulated environment and to identify possible problems in the construction design and operation in advance. The process-oriented aspect of BIM enables and encourages the close cooperation of different involved groups and makes the flow of information between them simple and possible. The key indicator of the next performance, namely "buildability", is defined as "the plan of efforts that can be used in the construction phase and allows the contractors to carry out the activities easily and smoothly". Based on this definition, the designer must have an understanding of construction, but due to the lack of communication and coordination in the local context, the designer usually lacks this feature. In the end, the building delivery index has a lower degree of importance than others in terms of time efficiency. BIM four-dimensional simulation technique; The integration of project scheduling and planning with the 3D model reduces the construction project delivery time through the automatic identification of delays and collaborative space between the contractor and subcontractors. This technique visualizes and visualizes the structure of the work failure of the construction process in the planning and scheduling of all components of the 3D model, and makes the optimal decision based on the correct sequence and time management of construction projects. Facilitates Also, the application of roughs' theory along with multi-criteria decision-making methods can help the stakeholders in making decisions under conditions of uncertainty and is a starting point for research based on BIM and its management perspectives in presenting It is the right insight to use it in Iran's construction projects.

4. Conclusions

The current research creates a basis for filling the gap in the knowledge structure, that is, the lack of studies in the field of applications based on BIM in line with the key performance indicators in the construction phase of the project life cycle in Iran. Also, it is the first research that uses roughs' theory to assess BIM's capabilities. Since measuring the most appropriate option is a multi-criteria decision-making problem. Therefore, decision-makers use preferences that are uncertain when weighing options. In the present study, roughs' theory, which is efficient in such conditions, is used. first used Delphi to identify criteria and decision-making options and then used roughs' theory to convert experts' preferences into interval numbers and the new combined method of the Analytical Hierarchy Process (AHP) and VIKOR. Rough is used to measure BIM capabilities. It should be mentioned that in the present study, the VIKOR-AHP method was developed with rough data. In the end, to show the applicability of the proposed method, it was used in a case study. The results showed that the application of roughs' theory along with multi-criteria decision-making methods can help the stakeholders in making decisions under conditions of uncertainty and is a starting point for research based on BIM and its management perspectives to provide the correct insight for its application in Iran's construction projects. In this regard, the findings of this research showed interesting results that reflect the perception of building design and construction executives in Iran regarding the benefits of BIM for the performance indicators of construction projects. That is, they assigned the main roles to the indicators of quality improvement and sustainable construction, and relatively lesser roles to the indicators of reducing the cost of construction and delivering the building in terms of time efficiency. This is in contrast to the construction industry in Iran because it leads to low profitability and high failure, construction companies adopt new methods and change

their traditional approaches such as CAD until they return the money. and benefit from proven investment returns, which give priority to monetary values instead of the principles of quality and sustainability. Based on this, the current research is the starting point of research based on building information modeling and its management perspectives, which shows insight into the direction of using BIM in Iran's construction projects. Although some applications of BIM may be idealistic in the current conditions of this country, in general, it is important from the practical and analytical point of view because the presented model can improve the expert's ability to identify the most effective aspects of BIM in key performance indicators. and increase the instrument.

به کارگیری تئوری راف در روش های تصمیم گیری چندمعیاره برای سنجش کاربدهای مدل سازی اطلاعات ساختمان در پروژه های ساخت ایران

علیرضا امین راد¹، محمد میرحسینی هزاوه^{2*}، محمد احسانی فر³، احسان الله ضیغمی⁴

¹ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

² دانشیار گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

³ دانشیار گروه مهندسی صنایع، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

⁴ استادیار گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

دریافت: 1401/6/12، بازنگری: 1402/5/8، پذیرش: 1402/5/28، نشر آنلاین: 1402/5/28

چکیده

اخیراً مدل سازی اطلاعات ساختمان (Building Information Modeling (BIM)) به عنوان یک فناوری جدید در صنعت معماری پدید آمده است که به تدریج در حال کسب محبوبیت بین ذینفعان می باشد. مرور ادبیات، نشانگر یک شکاف چشم گیر در سنجش قابلیت های مدل سازی اطلاعات ساختمان در پروژه های ساخت و ساز ایران می باشد. لذا هدف، سنجش قابلیت های BIM می باشد و تلاش شده است تا بهترین قابلیت های BIM به گونه ای انتخاب شود که سطح اطمینان در به کارگیری این فناوری جدید افزایش دهد. از آنجایی که سنجش مناسب ترین گزینه یک مسئله تصمیم گیری چندمعیاره است، بنابراین تصمیم گیرندگان در سنجش گزینه ها از ترجیحاتی استفاده می کنند که غیرقطعی است. از این رو، در پژوهش حاضر از تئوری راف ('Roughs theory) که در چنین شرایطی کارآمد می باشد، استفاده می شود. درواقع، ابتدا با استفاده از دلفی (Delphi) به شناسایی معیارها و گزینه های تصمیم گیری پرداخته و سپس از تئوری راف برای تبدیل ترجیحات خبرگان به اعداد فاصله ای و از روش ترکیبی جدید فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process (AHP)) و ویکور (Vikor) راف برای سنجش قابلیت های BIM استفاده می شود. قابل ذکر است که در پژوهش حاضر، روش AHP-VIKOR با داده های راف توسعه داده شده است. نتایج نشان داد که به کارگیری تئوری راف به همراه روش های تصمیم گیری چندمعیاره می تواند به ذینفعان در امر تصمیم گیری در شرایط عدم قطعیت کمک نماید و نقطه آغازی برای پژوهش مبتنی بر BIM و دیدگاه های مدیریتی آن در ارائه بینش صحیح جهت به کارگیری آن در پروژه های ساخت و ساز ایران باشد.

کلیدواژه ها: مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، قابلیت های مدل سازی اطلاعات ساختمان، پروژه های ساخت و ساز ایران، تئوری راف، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ویکور.

1- مقدمه

یک سیستم کارآمد و سازمان یافته مدیریت، نظارت، اجرا، گردآوری و توزیع اطلاعات پروژه در میان بخش های دخیل در پروژه است، اما طراحی های نرم افزاری AutoCAD بر این حرکت سایه افکنده است (Banihashemi و همکاران، 2011).

این گونه کاستی و کمبود به ویژه در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، جایی که بهره وری پایین، سطح بالای ضایعات، میزان قابل توجه هزینه های تکراری، تأخیرهای عمده و مزمن در تکمیل

یکی از مسئولیت های اصلی یک تیم مدیریت پروژه در صنعت ساخت و ساز، اتمام پروژه در قالب زمان، بودجه و کیفیت مندرج در اسناد قرارداد است (Wang و همکاران، 2004).

با گذر زمان، فرآیند ساخت و ساز پیچیده تر می شود، لذا کنترل همه ابعاد پروژه نیازمند یک دید کلی نسبت به چرخه حیات آن است. اگرچه اصول اساسی موفقیت در تحقق این هدف، داشتن



Vikor توسط Opericovich (1988) و Opericovich و Zeng (2002) روشی بهینه‌ساز چندمعیاره برای سیستم‌های پیچیده توسعه یافته است. در اینجا جواب سازشی نزدیکترین جواب موجه به جواب ایده‌آل است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد و درنهایت اولویت‌بندی گزینه‌ها ارائه می‌گردد. اما این روش به‌تنهایی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد زیرا روش Vikor به‌تنهایی قادر به محاسبه وزن معیارها نیست بر این اساس، بهتر است ابتدا با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از شناخته شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره اوزان معیارها را محاسبه کرده و سپس به‌عنوان ورودی روش Vikor داده شود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توسط Saaty در سال 1988 معرفی شد. در طی سالیان اخیر، در تحقیقات گوناگونی از تحقیقات ساختمانی نظیر شناسایی و ارزیابی ریسک (Lyu و همکاران، 2020)، ارزیابی پایداری (Banihashemi و همکاران، 2019).

شاخص‌های کلیدی عملکرد (Ugwu و Haupt، 2007) به‌کار گرفته شده است. هرچند ناتوانی روش ترکیبی مورد نظر، در حداقل‌سازی ذهنیت و عدم اطمینان ذاتی در کمی‌سازی قضاوت یک کارشناس در قالب یک عدد دقیق، تلفیق این روش را با روش‌های پیشرفته‌تر ضروری می‌سازد. لذا به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری تکنیک راف در درون ساختار فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و Vikor یک رویکرد امیدبخش برای مواجهه با این چالش باشد (Sabet Motlagh، 2018).

بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که تاکنون هیچ پژوهشی توانمندی‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مرحله ساخت‌وساز چرخه حیات پروژه‌های ساختمانی در ایران را مورد بررسی قرار نداده و پیوندی با شاخص‌های کلیدی عملکرد از طریق یک رویکرد قوی و یکپارچه ایجاد نکرده است. توانمندی‌های گوناگون مدل‌سازی اطلاعات ساختمان از لحاظ توسعه عملکرد و بهره‌وری به‌طور آشکار در مطالعات اصلی و کلیدی مرتبط با ساخت‌وساز مورد تصدیق و تأیید قرار گرفته است (Azhar، 2011؛ Sun و همکاران، 2015). از این رو، تمایل روزافزون نسبت به اتخاذ و اجرای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در کل صنعت ساخت‌وساز و در سطح جهانی مشاهده شده است. این تمایل و گرایش، طیف وسیعی از کشورها در خاورمیانه را در بر می‌گیرد که در تلاش بوده‌اند تا اجرای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های ساختمانی خود را ارتقاء بخشند (Hosseini و همکاران، 2015). باوجود آن‌که شواهد مبتنی بر واقع‌نگاری، گواه این حقیقت است که ایران از لحاظ اتخاذ روش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های ساختمانی دچار عقب‌ماندگی است، هیچ پژوهشی

پروژه‌های ساخت‌وساز هنوز در زمره مسائل عمده است، تشدید می‌شود (Ghoddousi و همکاران، 2015).

روش متداول مدیریت پروژه که در اکثر شرکت‌های ساخت‌وساز ایران به‌کار گرفته می‌شود، رویکردی سنده‌محور است که به‌موجب آن، وظیفه کسب داده‌های بخش‌های مختلف دخیل در مرحله ساخت‌وساز به افراد محول می‌شود. درنتیجه، طیف وسیعی از داده‌های ساختمانی به‌طور معمول در این زمینه و با ماهیتی گسسته بدون لحاظ پیامدهای کلی آن‌ها در جهت مدیریت کارآمد فرآیند ساخت‌وساز گردآوری می‌شوند. در سال‌های اخیر، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به‌عنوان یک مفهوم جامع از فرآیندها و ابزارهای انسجام‌بخش و یکپارچه‌ساز همه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز پروژه‌ها پدید آمده است. از جریان کار اطلاعات جدید پشتیبانی کرده و آن‌ها را به‌شکل دقیق‌تر از طریق ابزارهای موجود شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل که مورد استفاده مشاوران و پیمانکاران است، تلفیق می‌کنند (Eastman و همکاران، 2011).

از آنجایی که اکثر فرآیندها در مدل‌سازی اطلاعات ساختمان خودکار هستند و مشارکت منابع انسانی حداقل است، ادعا می‌شود که از طریق به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، کارایی نظارت، کنترل و مدیریت در چرخه حیات پروژه‌های ساخت‌وساز به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Golparvar-Fard و همکاران، 2015). اما علی‌رغم مزایای مورد تأیید به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های ساخت‌وساز و روند مشاهده شده در کاربرد جهانی آن، نرخ و میزان اجرای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بسیار پایین‌تر از سطح پتانسیل‌های فعلی در ایران و به‌ویژه در مرحله ساخت‌وساز است (Hosseini و همکاران، 2016). ریشه و علت این حقیقت ممکن است فقدان مطالعات و پژوهش‌های ذریع در ادبیات موضوع در زمینه بررسی کاربرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مرحله ساخت‌وساز پروژه‌ها در ایران و کمک آن به شاخص‌های کلیدی مدیریت این پروژه‌ها باشد. در واقع فقدان آشکار مطالعات در زمینه شناسایی حوزه‌های کاربرد بالقوه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و ارتباط آن با شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز وجود دارد. در مقابل این پیش‌زمینه، ارزیابی معیارهای تصمیم برای آن دسته از ابعاد ساختمانی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و اهمیت نسبی آن‌ها با توجه به شاخص‌های کلیدی و بنیادین عملکرد نظیر زمان، هزینه و کیفیت می‌تواند دستاوردی مهم برای مجریان و سیاستگذاران پروژه‌های ساختمانی باشد. با این اوصاف، معیارهای مناسب تصمیم‌گیری مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و شاخص‌های کلیدی عملکرد باید تهاتر و ارزیابی موقعیتی و پیچیده‌ای از فرآیندهای مختلف را در برگیرد که نیازمند لحاظ هم‌زمان ارزیابی و اولویت‌بندی همه گزینه‌ها است.

دومین اقتصاد بزرگ در خاورمیانه و منطقه آفریقای شمالی، پس از عربستان قرار دارد که از این میزان، بازار ساخت‌وساز در ایران رقم بزرگ 154 میلیارد دلار را به خود اختصاص داد (Ghoddousi و همکاران، 2015) و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده این رقم به 196 میلیارد دلار افزایش یابد. به همین منظور، اندازه پروژه‌های ساختمانی کشور دو برابر شده و بسیاری از مگا پروژه‌ها برای توسعه سدها، تونل‌ها و دارایی‌های صنعتی اعلام و مطرح شده‌اند. در اصل انتظار می‌رود که مدیران پروژه‌های ساختمانی در متن جهانی و محلی، پروژه‌ها را در قالب اهداف مدیریتی ارائه کنند، هرچند بهره‌وری پایین و گسستگی حاکم بر صنعت ساخت‌وساز ایران نیازمند یک تغییر پارادایم جدی در لحاظ شاخص‌های کلیدی عملکرد ساخت‌وساز با توجه به روش‌ها و فناوری‌های نوظهور است. برای بیان این نوع چالش، مطالعات پیشین اصولاً شاخص‌های عمده را برای تلفیق با اقدامات مدیریت پروژه‌های ساختمانی عنوان کرده‌اند. ادبیات موضوع نشان می‌دهد که آگاهی از این شاخص‌ها نقش مهم‌تری را در مقایسه با محرک‌های اجتماعی و فرهنگی، در تلفیق آن‌ها با عملیات مدیریت پروژه ایفا می‌کنند (Zhang و همکاران، 2014). در این راستا، با بررسی مطالعات اصلی و کلیدی صورت گرفته مشخص شد که زمان، هزینه و کیفیت پایه‌های اصلی شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز را تشکیل می‌دهند.

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به دلیل توانایی برتر در هماهنگی و انسجام فرآیند پروژه‌های ساختمانی قادر است نقش مهم و حیاتی را با بهره‌مندی از شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز ایفا کند. لذا، در راستای اهداف این تحقیق، کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با توجه به شاخص‌های کلیدی عملکرد پروژه‌های ساختمانی، از طریق بررسی جامع ادبیات موضوع با تمرکز بر مرحله ساخت‌وساز چرخه حیات پروژه‌های ساختمانی مورد کاوش و شناسایی واقع شد. این اقدام منتج به فهرستی از ابعاد 15 گانه‌ای شد که به جهت رعایت اختصار، یافته‌های این بررسی در جدول (1) خلاصه شده‌اند.

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، درگیر گردآوری، به‌کارگیری و حفظ نمایش دیجیتال همه اطلاعات ساختمانی برای فازهای مختلف چرخه حیات پروژه در قالب یک مخزن یا منبع داده است؛ همچنین یک مفهوم جامع را به‌عنوان چتری برای فرآیندها و ابزارها فراهم می‌سازد که همه داده‌های مورد نیاز پروژه‌ها را از طریق لحاظ اطلاعات مورد نیاز در فازها و مراحل خاص چرخه حیات ساختمان (زمانبندی، تجزیه و تحلیل، ارزیابی هزینه و نظایر آن) تلفیق می‌کند (Khanzadi و همکاران، 2019).

تصویری از کاربرد بالقوه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران ارائه نکرده است.

مطالعات فعلی در خاورمیانه (نظیر پژوهش بیلیدینگ اسمارت¹، 2011) دارای سوگیری در جهت کشورهای خلیج فارس بوده و همه کشورهای خاورمیانه (مانند ایران، اسرائیل و ترکیه) را پوشش نداده‌اند. سایر مطالعات مرتبط با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در کشورهای در حال توسعه، بر کشورهای غیراز ایران نظیر مالزی، سریلانکا (Rogers و همکاران، 2011) و هند (Mukherjee و Kumar، 2009) تمرکز کرده‌اند.

عوامل تعیین کننده کاربردها و اقدامات مرتبط با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان از طریق بافت و متن صنعت شکل می‌گیرند و باید در درون متن طبیعی یک کشور یا شرکت مورد بررسی قرار گیرند (Aranda-Mena و همکاران، 2008؛ Poirier و همکاران، 2015). همچنین، یافته‌های مطالعات حاصل از سایر کشورها به‌طور مستقیم در متن و ساختار ایرانی قابل استفاده نیستند. به‌علاوه، مطالعات و پژوهش‌های منتشر شده و در دسترس پیرامون مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران، نظیر پژوهش Kiani و همکارانش (2015)، صرفاً بر کاربرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای زمان‌بندی و برنامه‌ریزی پروژه‌ها تمرکز داشتند و لذا وضعیت مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران ناشناخته مانده است. این پژوهش به دنبال بیان این مطالب است. هدف اول، کشف شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز در متن ایران است. سپس، ابعاد بالقوه کاربرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مرحله طراحی، ساخت‌وساز و بهره‌برداری پروژه‌های ساختمانی از دیدگاه کارشناسان و متخصصان ایرانی شناسایی می‌شوند. درنهایت، پیوندهای میان شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز با معیارهای توانمندی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سنجش آن‌ها از طریق به‌کارگیری تئوری مجموعه راف در یک رویکرد ترکیبی مطرح می‌شوند. این فرآیند سنجش به بهبود عملکرد پروژه و میزان تکمیل موفقیت‌آمیز پروژه‌های ساخت‌وساز پیچیده در ایران کمک می‌کند.

2- ادبیات تحقیق

در طی سال‌های اخیر، رشد اقتصادی ایران منجر به افزایش تقاضای پروژه‌های ساختمانی، تعریف و تمجید از کوشش‌های صورت گرفته جهت مدیریت مطلوب این پروژه‌ها شده است. در نتیجه، مدیران پروژه در ایران هنوز در پذیرش و درک مفهوم بهره‌وری و موفقیت در مدیریت پروژه‌ها ناکام هستند (Ghoddousi و همکاران، 2015). در سال (2016)، تولید ناخالص داخلی ایران رقم 412/2 میلیارد دلار برآورد شد که این کشور را در جایگاه

جدول 1- ابعاد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مرحله

ساخت‌وساز (Khanzadi و همکاران، 2019)

کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان
ایمنی
پیش‌سازی
هماهنگی پروژه
قابلیت ساخت
تشخیص تضاد و برخورد
زنجیره عرضه پروژه
برنامه‌ریزی چیدمان سایت
زمان‌بندی پروژه و توالی ساخت
تخمین و برآورد هزینه
نظارت بر ساخت‌وساز
تلفیق داده‌های پیمانکار جز و تأمین‌کننده
تغییرات منعطف پروژه
بهینه‌سازی لجستیک پروژه
بررسی خودکار سازگاری و انطباق
کاهش دوباره کاری

حاکم بر صنعت غلبه کند و به‌عنوان یک کاتالیزور تغییر در صنعت ساخت‌وساز، دربرگیرنده یک تجدید ساختار ریشه‌ای از مدل‌سازی دوبعدی به سه‌بعدی و یک تغییر جدید به‌شکل چهاربعدی (در تلفیق با عامل زمان‌بندی پروژه)، پنج‌بعدی (تلفیق با عامل هزینه پروژه) و شش‌بعدی (تلفیق با عامل مدیریت تأسیسات)، با بهره‌گیری از تکنیک‌های هوشمندتر تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌منظور دستیابی به عملکرد برتر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با استفاده از نقشه‌های ازبیلت/چون⁵ ساخت می‌باشد.

ارزش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، در کشورهای در حال توسعه به‌عنوان یک حوزه تحقیقاتی پویا به‌طور کامل شناخته نشده است و مطالعات و پژوهش‌های اندکی در این زمینه وجود دارد. پژوهش صورت گرفته توسط Building SMART (2016) در شماری از کشورهای خاورمیانه، نشان داد که علی‌رغم علاقه و خوش‌بینی نسبت به مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، صنعت ساخت‌وساز هنوز در مراحل اولیه حرکت خود در جهت بهره‌گیری از مزایای آن است. بر اساس پژوهش Building SMART (2012)، یافته‌ها به‌طور کلی نشانگر بازاری هستند که خوش‌بین و آگاه است اما در زمینه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بی‌تجربه است. در همین راستا، بر خلاف اقدامات مختلف و معمول برای ارتقای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران نظیر طراحی دستورالعمل راهنمای اجرای آن، طرفدار نوآوری و ابتکار در صنعت ساخت‌وساز ایرانی است. لذا، یافته‌های حاصل از مرور ادبیات موضوع، بحث‌های مرتبط با ضرورت انجام تحقیقات اکتشافی در زمینه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران را مورد تأیید و تصدیق مجدد قرار می‌دهد (Aboushady و Elbarkouky، 2015).

بدین‌ترتیب در پژوهش حاضر، قصد بر آن است که با به‌کارگیری مفهوم تئوری مجموعه راف، به بررسی کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در راستای عوامل کلیدی عملکرد پروژه‌های ساختمانی در ایران پرداخته و به کشف شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز در متن ایران بپردازد. سپس، ابعاد بالقوه کاربرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مرحله ساخت‌وساز پروژه‌های ساختمانی، از دیدگاه کارشناسان و متخصصان ایرانی شناسایی شده. درنهایت، پیوندهای میان شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز با معیارهای توانمندی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سنجش آن‌ها از طریق به‌کارگیری تئوری راف در یک رویکرد ترکیبی بررسی نماید.

باین حال، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، چیزی بیش از یک ظرف داده برای مدل ساختمان است و یک مدل خاص ساخت‌وساز و طراحی ساختمان شیء محور برای کمک به پیشرفت تبادل و تعامل متقابل داده‌ها به‌شکل دیجیتال است. مزیت اصلی به‌کارگیری آن در فاز طراحی و ساخت‌وساز یک پروژه، قابلیت آن در مدل‌سازی و آزمودن قابلیت ساخت طرح در درون مدل قبل از ورود به سایت پروژه می‌باشد. همچنین به‌عنوان یک پارادایم مدیریت می‌تواند از طریق زنجیره‌هایی از فناوری اطلاعات و ارتباطات مشتمل بر ابزارهای نگارش و طراحی نظیر رویت¹، آرچیکد²، میکروستاشن³، ناویسورکس⁴ اجرا شود (Banihashemi و همکاران، 2012).

اجرای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به اجتناب از خطا و نیز بهبود بهره‌وری، زمان‌بندی، ایمنی، هزینه و کیفیت پروژه‌های ساخت‌وساز کمک می‌کند. یک فرآیند سریع و مؤثر است که به‌موجب آن، اطلاعات مربوط به یک پروژه می‌تواند در هر مرحله از پروژه و از طریق هر واحد یا بخش (مانند واحد مهندسی) به‌روز شود (Hosseini و همکاران، 2016). بر این اساس، به‌دلیل کارایی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در اتخاذ و انتشار تغییرات در مدل، ویرایش اشیاء و بارگذاری مجدد لینک‌های به‌روز شده، کل مدل پروژه بر اساس تغییرات یک جنبه از پروژه به‌روز خواهد شد. ادعا می‌شود که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان قادر است تا ضمن افزایش عملکرد درون صنعت، بر مشکلات ناشی از ساختار گسسته

4. Navisworks
5. As/built

1. Revit
2. ArchiCad
3. Microstation

3- روش پژوهش

هدف اصلی پژوهش حاضر، به‌کارگیری تئوری راف در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای سنجش کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران است. در راستای تحقق این هدف، یک روش تحقیق ترکیبی به‌کار گرفته خواهد شد. زیرا این روش به‌عنوان یکی از کاربردی‌ترین روش‌های تحقیق در زمینه مدیریت است که از ترکیب روش‌های کیفی و کمی حاصل می‌شود. بدین منظور، طرح رویه‌ای کیفی - کمی که متشکل از انجام یک مطالعه کیفی مقدماتی برای به‌کارگیری و طرح یافته‌های یک رویکرد کمی (به‌عنوان روش اصلی) است پیاده‌سازی می‌گردد. نحوه کار بدین‌صورت است که ابتدا در بخش کیفی، با بررسی ادبیات تحقیق و نظر خبرگان به شناسایی شاخص‌های کلیدی عملکرد و کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پرداخته می‌شود. سپس بعد از شناسایی شاخص‌های کلیدی عملکرد و کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، ساختار سلسله‌مراتبی تشکیل می‌گردد. در گام بعد با استفاده از روش دلفی، به ارزیابی شاخص‌های کلیدی و کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پرداخته می‌شود. پس از تأیید معیارهای پژوهش ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل شد. ماتریس مقایسه زوجی خبرگان با استفاده از تئوری راف به اعداد فاصله‌ای تبدیل شد و سپس به کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی راف وزن معیارها به‌دست آمد. پس از تعیین وزن معیارها ماتریس تصمیم مسئله تشکیل و داده‌ها ماتریس تصمیم نیز با استفاده از تئوری راف به اعداد فاصله‌ای تبدیل و سپس با استفاده از روش Vikor راف به سنجش کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان پرداخته شد. براین اساس، پیش از ارائه نتایج حاصل از پژوهش به ارائه دو طرح رویه کیفی - کمی که متشکل از انجام یک مطالعه کیفی مقدماتی برای به‌کارگیری و طرح یافته‌های یک رویکرد کمی متعاقب مطرح گردید.

3-1- مرحله کیفی

این مرحله، سفارشی‌سازی معیارهای کلیدی مدیریت پروژه ساخت و فهرست اولیه ابعاد عملکرد BIM در مرحله ساخت‌وساز (برگرفته از ادبیات موضوع) را درون متن و ساختار ایران پوشش داد. معیارهای کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز به‌شدت متن محور بوده و باید با توجه به متن، ساختار مرتبط به خود را اتخاذ شوند. به‌علاوه، مزایای فنی BIM باید از زاویه شایستگی‌های محلی و تکنولوژیکی بررسی شوند. لذا، روش دلفی برای این هدف انتخاب شد که یک رویه سازمان یافته برای دستیابی به اجماع و توافق میان یک پنل کارشناسی از طریق راه‌اندازی بحث‌های مکرر در قالب مصاحبه یا پرسش‌نامه است. به‌طور کلی تعداد نشست‌های مربوطه بین دو تا هفت مورد و تعداد شرکت کنندگان از سه تا

پانزده نفر متغیر است. با راه‌اندازی هر دور نشست، پاسخ‌ها تجزیه و تحلیل می‌شوند و بر مبنای ارزیابی، مصاحبه‌ها یا پرسشنامه‌های نیمه ساختاریافته طراحی، تنظیم و برای کارشناسان نشست بعدی ارسال می‌شود. ماهیت تکرار شونده این روش موجب فراهم‌سازی بازخورد از پنل و اطلاعات جدید از منظرهای مختلف می‌شود. این فرصت به آن‌ها امکان می‌دهد تا ایده‌های خود را در نشست پیشین را مجدداً بررسی نموده و آن‌ها را بر مبنای پیشنهادات جدید بازبینی و اصلاح کنند.

3-2- مرحله کمی (روش ترکیبی جدید فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ویکور راف)

این مرحله شامل کمی‌سازی سطح اهمیت شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز از طریق روش AHP و مزایای BIM در گام ساخت‌وساز پروژه‌های ساختمانی می‌باشد. به‌طور کلی، سنجش قابلیت‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان شامل دو بخش است: 1) تعیین اهمیت‌های نسبی شاخص ارزیابی؛ 2) رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری. از آنجایی که معمولاً در دنیای واقعی ما با اطلاعات ناکافی و ناقص روبه‌رو هستیم، بنابراین به‌علت عدم وجود اطلاعات و داده‌های مناسب و کامل در دنیای واقعی، باید از روش‌هایی استفاده نمود که توانایی کار در چنین محیط‌هایی را داشته باشند. یکی از مفاهیم به‌کار گرفته شده در چنین محیط‌هایی، تئوری راف می‌باشد که به‌خوبی می‌تواند در شرایط عدم وجود اطلاعات کافی و کامل عمل نماید. در این راستا، پژوهش حاضر به‌منظور از بین بردن ابهام در فرآیند تصمیم‌گیری یک رویکرد یکپارچه با معرفی اعداد راف به تکنیک AHP-Vikor پیشنهاد می‌کند.

در مرحله اول، برای محاسبه اهمیت نسبی شاخص‌های ارزیابی اعداد راف با AHP ترکیب شده و نتایج حاصل می‌شود. سپس پژوهش ویکور راف برای سنجش گزینه‌های تصمیم‌گیری ارائه می‌کند. با ترکیب AHP راف و ویکور راف، هر دو اهمیت نسبی شاخص‌های ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری بدون هیچ‌گونه اطلاعات کمکی تعیین می‌گردد. بنابراین، روش پیشنهادی می‌تواند به‌طور مؤثر ادراک واقعی تصمیم‌گیرندگان را منعکس کند و عینیت ارزیابی مفهوم طراحی را تقویت کند (Sabet Motlagh, 2018).

در ادامه، پیش از ارائه نتایج حاصل از پژوهش به ارائه مفاهیم و روابط ضروری مورد نیاز درباره تئوری مجموعه راف و روش‌های تصمیم‌گیری راف مورد استفاده در این پژوهش پرداخته شده است تا در درک بهتر نتایج ارائه شده کمک کند.

3-2-1- تئوری مجموعه راف

مجموعه‌های راف که نخستین بار توسط Pawlak در سال 1982 معرفی شد، ابزار ریاضی با ارزشی در شرایط ابهام و عدم اطمینان است. راف رویکردی در حوزه هوش مصنوعی است که شامل علوم شناختی، یادگیری ماشینی، کسب دانش، تجزیه و تحلیل تصمیم، کشف دانش، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم، استدلال استنتاجی و تشخیص الگو می‌شود. پس از تئوری مجموعه راف، Zhai و Khoo (2008) اعداد راف را مطرح کردند. یک عدد راف معمولاً شامل حد پائین و بالا و فاصله مرزی راف می‌شود که فقط به داده‌های اصلی وابسته است. بنابراین نیازی به اطلاعات کمکی نیست و می‌تواند مفاهیمی مدنظر خبرگان را بهتر دریافت کند و عینیت تصمیم‌گیری را بهبود بخشد. فرض کنید U یک مجموعه مرجع شامل تمام اعضا، Y یک عضو دلخواه از مجموعه U و R یک مجموعه از t کلاس است $(R = \{G_1, \dots, G_t\})$ که تمام اعضای U را پوشش می‌دهد. اگر این کلاس‌ها به صورت ترتیبی همانند $G_1 < G_2 < \dots < G_t$ باشند، آنگاه $\forall y \in U, G_q, 1 \leq q \leq t$ ، تقریب پایین $(\underline{Apr}(G_q))$ ، تقریب بالا $(\overline{Apr}(G_q))$ و ناحیه مرزی $(Bnd(G_q))$ از کلاس G_q به صورت زیر تعریف می‌شوند (Sabet Motlagh, 2018):

$$\underline{Apr}(G_q) = U \{ (Y \in U | R(Y) \leq G_q) \} \quad (1)$$

$$\overline{Apr}(G_q) = U \{ (Y \in U | R(Y) \geq G_q) \} \quad (2)$$

$$Bnd(G_q) = U \{ (Y \in U | R(Y) \neq G_q) \} = \{ (Y \in U | R(Y) > G_q) \} \cup \{ (Y \in U | R(Y) < G_q) \} \quad (3)$$

سپس G_q می‌تواند به وسیله یک عدد راف $RN(G_q)$ در حدهای پایین و بالای متناظر آن ارائه شود (رابطه‌های (4) تا (6)).

$$\underline{Lim}(G_q) = \frac{1}{M_L} \sum R(y) | Y \in \underline{Apr}(G_q) \quad (4)$$

$$\overline{Lim}(G_q) = \frac{1}{M_U} \sum R(y) | Y \in \overline{Apr}(G_q) \quad (5)$$

$$RN(G_q) = [\underline{Lim}(G_q), \overline{Lim}(G_q)] \quad (6)$$

که M_U و M_L به ترتیب مقادیر اعضای $\underline{Apr}(G_q)$ و $\overline{Apr}(G_q)$ می‌شوند. واضح است که حدهای پایین و بالا، به ترتیب مقدار میانگین عناصری را که در ارتباط با تقریب بالا و پایین است، مشخص می‌کند و تفاوت آن‌ها فاصله مرزی راف تعریف می‌شود.

$$IRBnd(G_q) = \overline{Lim}(G_q) - \underline{Lim}(G_q) \quad (7)$$

فاصله مرزی راف، ابهام G_q را بیان می‌کند، به صورتی که عدد بزرگتر آن به معنای ابهام بیشتر است، درحالی که عدد

کوچک‌تر دقت بیشتری دارد. بنابراین اطلاعات ذهنی می‌تواند با اعداد راف بیان شود. از آنجا که اعداد راف ایجاد شده مشابه اعداد فاصله‌ای هستند، قوانین محاسباتی اعداد فاصله‌ای می‌تواند در اعداد راف نیز استفاده شود.

3-2-2- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از شناخته شده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توانایی اندازه‌گیری میزان سازگاری ترجیحات و در نظر گرفتن معیارهای ملموس و غیرملموس را دارا می‌باشد. در این پژوهش به علت ذهنی و مبهم بودن قضاوت‌های خبرگان از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف استفاده شده است. در ادامه مراحل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف ارائه شده است (Zhu و همکاران، 2015):

گام 1 شناسایی هدف، معیارها و گزینه‌های پژوهش و تشکیل ساختار سلسله مراتبی.

گام 2 تهیه پرسشنامه مقایسه زوجی و جمع‌آوری نظرات خبرگان.

گام 3 استفاده از مفهوم تئوری راف برای تبدیل ترجیحات خبرگان به اعداد فاصله‌ای و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فاصله‌ای همانند رابطه (8):

$$\begin{bmatrix} [1,1] & [x_{12}^L, x_{12}^U] & \dots & [x_{1m}^L, x_{1m}^U] \\ [x_{21}^L, x_{21}^U] & [1,1] & \dots & [x_{2m}^L, x_{2m}^U] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [x_{m1}^L, x_{m1}^U] & \dots & \dots & [1,1] \end{bmatrix} \quad (8)$$

در این رابطه، x_{ij}^L حد پائین و x_{ij}^U حد بالای اعداد فاصله‌ای هستند. قبل از محاسبه اعداد فاصله‌ای باید نرخ ناسازگاری پرسشنامه‌های مقایسه زوجی را محاسبه نمود و در صورتی که میزان ناسازگاری آن‌ها قابل قبول بود (کمتر از 0/1) به محاسبه اعداد فاصله‌ای پرداخت.

گام 4 محاسبه وزن هر یک از معیارهای پژوهش با استفاده از روابط (9) و (10):

$$w_i = \left[\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m x_{ij}^L}, \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m x_{ij}^U} \right] \quad (9)$$

$$\hat{w}_i = w_i / \max(w_i^u) \quad (10)$$

در رابطه (10)، $\hat{w}_i$ شکل نرمالیز شده است که با این کار سرانجام وزن معیارهای پژوهش به دست می‌آید.

3-2-3- روش ویکور راف

روش ویکور، توسط Opricovic (1998) و Opricovic و Tzeng (2002) برای بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های پیچیده توسعه یافته است. در اینجا، جواب سازشی نزدیک‌ترین جواب موجه به جواب ایده‌آل است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد. مفروضات و گام‌های روش پیشنهادی، به صورت زیر هستند (Zhu و همکاران، 2015):

مفروضات:

- ✓ k فرد تصمیم گیرنده وجود دارند که اهمیت نظرات آن‌ها در تصمیم نهایی یکسان است ($k=1, 2, \dots, k$)
- ✓ m گزینه برای انتخاب وجود دارد ($i=1, 2, \dots, m$)
- ✓ N معیار/ شاخص برای تصمیم‌گیری وجود دارند ($j=1, 2, \dots, n$)
- گام 1) تشکیل ماتریس تصمیم فاصله‌ای به دست آمده از تئوری راف.

$$D = \begin{bmatrix} [f_{11}^L, f_{11}^U] & [f_{12}^L, f_{12}^U] & \dots & [f_{1m}^L, f_{1m}^U] \\ [f_{21}^L, f_{21}^U] & [f_{22}^L, f_{22}^U] & \dots & [f_{2m}^L, f_{2m}^U] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [f_{n1}^L, f_{n1}^U] & [f_{n2}^L, f_{n2}^U] & \dots & [f_{nm}^L, f_{nm}^U] \end{bmatrix} \quad (11)$$

گام 2) شناسایی بهترین مقدار f_j^* و بدترین مقدار f_j^- در هر معیار ماتریس D . برای معیار مثبت (با ماهیت سود)، بزرگ‌ترین عدد گویای بهترین مقدار و کوچک‌ترین عدد نشان‌دهنده بدترین مقدار است:

$$f_j^* = \max_i f_{ij}^U, f_{ij}^- = \min_i f_{ij}^L \quad (12)$$

برای معیار منفی (با ماهیت هزینه)، برعکس است:

$$f_j^* = \min_i f_{ij}^L, f_{ij}^- = \max_i f_{ij}^U \quad (13)$$

به طور کلی بهترین و بدترین مقدار به صورت زیر به دست می‌آید:

$$f_j^* = \{(\max_i f_{ij}^U | j \in B) \text{ or } (\min_i f_{ij}^L | j \in C)\} \quad (14)$$

$$f_j^- = \{(\min_i f_{ij}^L | j \in B) \text{ or } (\max_i f_{ij}^U | j \in C)\} \quad (15)$$

که B مجموعه معیارهای مثبت و C مجموعه معیار منفی است.

گام 3) محاسبه مقادیر $[s_i^L, s_i^U]$ و $[R_i^L, R_i^U]$.

$$s_i^L = \sum_{j \in B} w_j^L \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^U}{f_j^* - f_{ij}^-} \right) + \sum_{j \in C} w_j^L \left(\frac{f_{ij}^L - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right) \quad (16)$$

$$s_i^U = \sum_{j \in B} w_j^U \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^U}{f_j^* - f_{ij}^-} \right) + \sum_{j \in C} w_j^U \left(\frac{f_{ij}^L - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right) \quad (17)$$

$$R_i^L = \max_j = \begin{cases} w_j^L \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^U}{f_j^* - f_{ij}^-} \right) & | j \in B \\ w_j^L \left(\frac{f_{ij}^L - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right) & | j \in C \end{cases} \quad (18)$$

$$R_i^U = \max_j = \begin{cases} w_j^U \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^U}{f_j^* - f_{ij}^-} \right) & | j \in B \\ w_j^U \left(\frac{f_{ij}^L - f_j^*}{f_j^- - f_j^*} \right) & | j \in C \end{cases} \quad (19)$$

که w_j^L حد پائین و w_j^U حد بالای وزن معیار است.

گام 4) محاسبه مقادیر $[Q_i^L, Q_i^U]$

$$Q_i^L = v \left(\frac{S_i^L - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1-v) \left(\frac{R_i^L - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (20)$$

$$Q_i^U = v \left(\frac{S_i^U - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1-v) \left(\frac{R_i^U - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (21)$$

$R^* = \min_i R_i^L$ $S^- = \max_i S_i^U$ $S^* = \min_i S_i^L$
 $R^* = \max_i R_i^U$ و Q یک شاخص تجمیعی است. همچنین v معرف وزن سیاست حداکثر معیار و به صورت $v = 0/5$ $usually: v \in [0,1]$ است.

گام 5) رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس S و R و Q .

4- یافته‌های تجربی

در پژوهش حاضر، سعی شده است تا با به کارگیری تئوری راف در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به سنجش کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران بپردازد. بدین منظور، باید به پیاده‌سازی هر یک از مراحل کیفی و کمی پرداخته شود. در مرحله کیفی از روش دلفی فازی به منظور، ترکیب شاخص‌های کلیدی عملکرد ساخت‌وساز و ویژگی‌های مرتبط BIM در مرحله ساخت‌وساز چرخه حیات پروژه‌های ساختمانی در متن ایران استفاده شده است. حوزه‌های دانش مورد نیاز در روش دلفی شامل معماری، مهندسی عمران و مدیریت پروژه ساختمانی است. برای مجزا کردن مصاحبه شوندگان بالقوه، استراتژی «نمونه‌گیری هدفمند» برای کنترل سطح پراکندگی مصاحبه شوندگان به کار گرفته شد. بدین سبب، ایجاد یک نمونه پیمایشی که پوشش دهنده این حوزه‌های تخصصی با لحاظ معیارهای استخدامی زیر است، مدنظر بود:

- ✓ مدرک تحصیلی حداقل لیسانس معماری و مهندسی عمران و 15 سال تجربه کاری در راه‌اندازی پروژه‌های ساختمانی؛
- ✓ مدرک تحصیلی حداقل فوق لیسانس معماری و مهندسی عمران و 5 سال تجربه کاری در مدیریت پروژه‌های ساختمانی؛

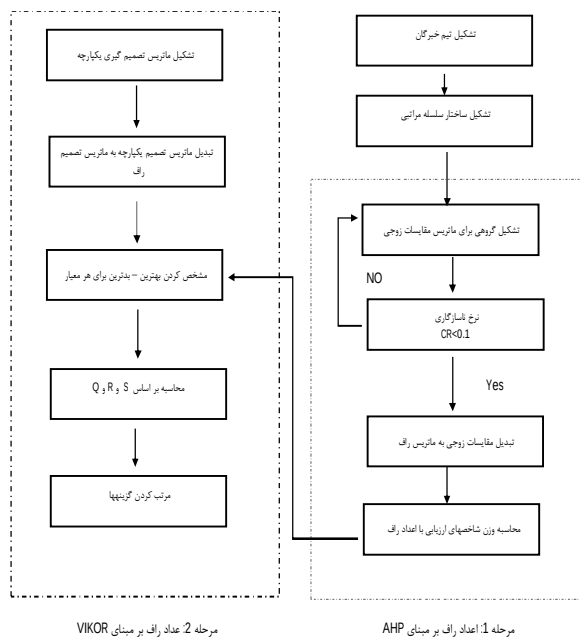
✓ درجه دکتری و اجرای طرح‌های برجسته تحقیق و توسعه در حوزه‌های یاد شده.

به‌همین دلیل، برای دستیابی به یکپارچه‌ترین نتایج، فقط دانشگاهیان و یا متخصصان واجد شرایط که دارای حداقل یکی از معیارهای استخدام بودند، برای مشارکت در این پژوهش دعوت شدند. تعداد کل پاسخ‌دهندگان دعوت شده 15 نفر بود که 8 نفر آن‌ها دعوت را پذیرفتند. به دلیل آن که شرکت‌کنندگان در پژوهش دلفی عموماً بین 3 تا 15 نفر هستند، اندازه نمونه می‌توانست کافی قلمداد شود. خوشبختانه، شرکت‌کنندگان مدعو دارای مدارک گوناگون دانشگاهی مشتمل بر مهندسی عمران و معماری و از حوزه‌های تخصصی یا حرفه‌ای مختلف بودند. این تنوع مشارکت، اختیاری یا تصادفی نبود و به شکل هدفمند جهت انعکاس طیف وسیعی از دیدگاه‌ها در خصوص سؤالات انتخاب شد. انتقال اطلاعات پایه (درباره مسئله تحقیق) به پاسخ‌دهندگان، یک رویه عادی طی هر تحقیق دلفی است. بدین ترتیب، چکیده مطالعه به‌همراه یافته‌های اصلی حاصل از مرور ادبیات موضوع، به‌صورت آنلاین برای شرکت‌کنندگان جهت آگاه‌سازی آن‌ها نسبت به هدف و مقاصد مطالعه، ادبیات موضوع و دامنه این تحقیق ارسال شد. این مطالعه متشکل از یک تحقیق و تفحص دو مرحله‌ای و یک مرحله سوم جهت تأیید بود که از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته حضوری با شرکت‌کنندگان اجرا شد. منطق اجرای این نشست‌های سه مرحله‌ای در روش دلفی آن بود که دور اول به بحث پیرامون شاخص‌های عملکرد پروژه‌های ساختمانی، دور دوم به تجزیه و تحلیل کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مرحله ساخت‌وساز با توجه به شاخص‌های کلیدی عملکرد به‌دست آمده و دور سوم به تأیید نتایج از طریق ضریب هم‌خوانی کندال اختصاص داشت. در دور اول، پنج معیار کلیدی عملکرد پروژه یعنی زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی و پایداری محیطی که برگرفته از ادبیات موضوع بودند به پاسخگویان ارائه شد. سه سطح از اصلاحات به بخش‌های موافق، مخالف و توصیه اصلاحات مشروح که شامل افزودن، حذف یا ترکیب عوامل بود، طبقه‌بندی شد که مبتنی بر توصیه‌های کارشناسان بود. بر اساس پیشنهادات، زمان، هزینه و کیفیت به‌عنوان شاخص‌های کلیدی باقی‌ماند، هرچند دو کارشناس، ترکیب دو شاخص ایمنی و پایداری محیطی را در قالب یک طبقه به نام ساخت‌وساز پایدار توصیه کردند. به‌علاوه، یک پاسخ‌دهنده، گنجانیدن عامل قابلیت ساخت در مرحله ساخت‌وساز را نیز به‌عنوان شاخص منحصر به فرد یک پروژه موفق پیشنهاد کرد. به‌دنبال یک بحث سازنده در میان کارشناسان، توافق و اجماع آنان حاصل شد و دو شاخص تحویل ساختمان با لحاظ کارآیی زمانی، کاهش هزینه ساخت و ساز، بهبود کیفیت، بهبود قابلیت ساخت و ساخت‌وساز پایدار، برای دور بعدی تعیین شدند. در دور دوم، ابعاد بیست و دو گانه کارکرد BIM در

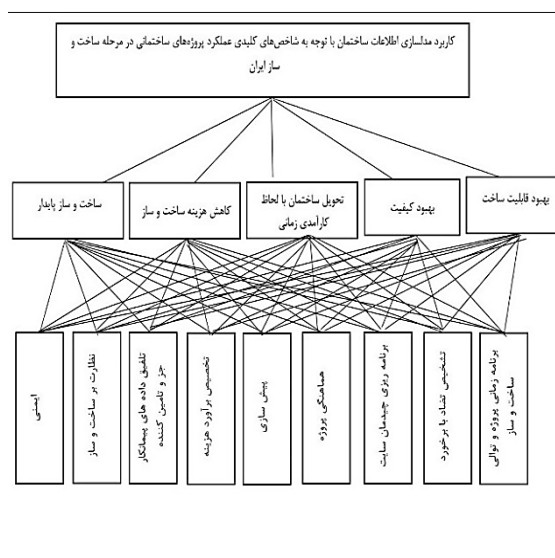
مرحله ساخت‌وساز که از ادبیات موضوع استخراج شدند. به اعضای پنل ارائه شدند و آن‌ها وظیفه داشتند تا با توجه به نتایج حاصل از دور قبلی و پتانسیل‌های تکنولوژیکی ایران، اقلام این فهرست را علامت‌گذاری کنند. نخست، از آنجایی که عامل قابلیت ساخت قبلاً در فهرست اول شاخص‌های کلیدی عملکرد تحت عنوان بهبود قابلیت ساخت وجود داشت، از فهرست دوم با توجه به اهمیت آن به‌عنوان شاخص عملکرد پروژه حذف شد. سپس از طریق یک روش ارزیابی هنجاری و مقایسه هر عنصر در میان همتایان خود، تنها عواملی که مورد تأیید 50 درصد کارشناسان یا بیش از آن بودند، برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. نهایت مشخص شد که پنج متغیر، مشمول تأیید بر اساس معیار 50 درصدی مذکور نشدند و بنابه دلایلی همچون وضعیت نابالغ فناوری BIM در ایران که توسط پنل ذکر شد، برای مطالعه و بررسی بعدی انتخاب نشدند. در دور سوم، به‌منظور فراهم‌سازی مقیاس پایایی، تجزیه و تحلیل آماری برای محاسبه ضریب هم‌خوانی کندال پاسخ‌های هشت کارشناس انجام شد. آزمون رتبه‌ای دلیو کندال که شکل نرمال شده آزمون فریدمن می‌باشد، می‌تواند برای ارزیابی توافق پاسخ‌دهندگان بر سر رتبه‌ها به‌کارگرفته شود. اگر ضریب هم‌خوانی کندال برابر با 1 باشد، همه امتیازدهندگان هم رأی بوده و متغیرها را به‌صورت یکسان رتبه‌بندی می‌کنند. بر عکس، اگر این ضریب آزمون صفر باشد، به معنای آن است که هیچ روند کلی اجماع و اتفاق نظر در میان ارزیابان وجود ندارد و آن‌ها کار رتبه‌بندی را به‌شکل کاملاً متفاوت انجام می‌دهند. در این مورد مشخص شد که هیچ تغییری در رتبه‌بندی کاربردهای BIM وجود ندارد و پایایی و ثبات رتبه‌های کارشناسان از 0/121 در دور دوم به 0/217 در دور سوم بهبود یافت و از لحاظ آماری در سطح معناداری یک درصد، معنادار بود. به‌طور دقیق‌تر، این ضریب هم‌خوانی طی بهبود شاخص عملکرد در دورهای دوم و سوم، در رقم 79/3 درصد تثبیت شده است. نتایج دلفی فازی، در شکل (2) به‌صورت کامل ارائه شده است.

مرحله دوم، به پیاده‌سازی مرحله کمی پژوهش پرداخته می‌شود. در این مرحله، جامعه آماری در میان متخصصان و خبرگان مجرب شرکت‌هایی که در زمینه کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران فعالیت دارند، بوده است. با توجه به شرکت‌های همکاری کننده، 90 پرسشنامه جهت مشارکت در پژوهش به‌شکل حضوری یا از طریق ایمیل برای اعضای شرکت‌ها به انضمام خلاصه‌ای از تحقیق ارسال گردید. پیگیری‌های متعدد منجر به دریافت 60 پرسشنامه کامل بود. نسبت پاسخ‌دهندگان برحسب سابقه کار بدین شرح بود: 5 تا 10 سال (52 درصد)، 10 تا 15 سال (20 درصد)، و بیش از 15 سال (28 درصد). لذا نیمی از پاسخ‌دهندگان دارای سابقه بین 5 تا 10 سال سابقه کار در تحویل پروژه ساختمانی بودند. نسبت‌های پاسخ‌دهندگان برحسب نقش

معیارهای ماتریس تصمیم است.



شکل 1- چارچوب پیشنهادی برای سنجش قابلیت مدل سازی اطلاعات ساختمان



شکل 2- ساختار سلسله مراتبی پژوهش

جدول 2- نتایج تجمیع نظرات خبرگان در ماتریس مقایسات زوجی

	C5	C4	C3	C2	C1
C1	[2/346 .4/93]	[1/979 .2/263]	[1/62 .3/488]	[۱/۲۸۶ ، ۳/۱۷۳]	[1.1]
C2	[1/616 .3/091]	[1/259 .3/131]	[3/015 .4/421]	[1.1]	[0/315 .0/777]
C3	[2/827 .4/71]	[1/242 .2/174]	[1.1]	[0/226 .0/332]	[0/287 .0/617]
C4	[2/85 .5/679]	[1.1]	[0/46 .0/805]	[0/319 .0/794]	[0/306 .0/505]
C5	[1.1]	[0/176 .0/351]	[0/212 .0/354]	[0/324 .0/619]	[0/203 .0/426]

شرکت آن‌ها در صنعت ساخت‌وساز به این شرح بود: 45 درصد شرکت‌های پیمانکار، 33 درصد شرکت‌های مشاوره‌ای و 22 درصد در شرکت‌های طراح یا توسعه‌دهنده شاغل بودند. به علاوه، 50 درصد دارای مدرک تحصیلی فوق لیسانس، 40 درصد دارای مدرک لیسانس و 10 درصد دارای مدرک دکتری بودند. پروفایل پاسخ‌دهندگان بیانگر وسعت دانش در مورد سطوح استراتژیک و عملیاتی در صنعت ساخت‌وساز ایران (با توجه به سوابق کاری، تنوع نقش‌ها و مدارج تحصیلی در نمونه) است. لذا پاسخ‌دهندگان به اندازه کافی در زمینه موضوع تحقیق مطلع و آگاه بودند. بعد تشکیل تیم خبرگان، حال باید به تشکیل ساختار سلسله مراتبی در پژوهش پرداخت. برای این پژوهش، یک مدل سه سطحی AHP طراحی گردید که در آن، بالاترین سطح کانون مسئله بود: سطوح میانی نمایانگر طبقات تعریف شده شاخص‌های کلیدی عملکرد در حوزه ساخت‌وساز و پایین‌ترین سطح شامل معیارهای قابلیت به کارگیری BIM در مرحله ساخت‌وساز با توجه به سطح بالاتر بود. شکل (2)، ساختار سلسله مراتبی شاخص‌های کلیدی عملکرد و کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را نشان می‌دهد. در ادامه، کلیه مراحل به منظور به کارگیری تئوری راف در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای سنجش کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های ساخت ایران به صورت مرحله به مرحله در شکل (1)، ارائه گردید. پس از تأیید معیارهای پژوهش ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل و ماتریس مقایسه زوجی خبرگان با استفاده از مفهوم تئوری راف به اعداد فاصله‌ای تبدیل شده و سپس به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی راف وزن معیارها حاصل می‌شود. نتایج حاصل از ماتریس مقایسات زوجی خبرگان و وزن نهایی به ترتیب در جداول (2) و (3) ارائه شده است. گام بعدی پس از محاسبه وزن معیارهای پژوهش، تشکیل ماتریس تصمیم مسئله است. برای تشکیل ماتریس تصمیم فاصله‌ای، ابتدا نظر خبرگان درباره وضعیت هریک از گزینه‌ها در هر یک از معیارها با استفاده از پرسشنامه ویکور جمع‌آوری شد که نتایج آن در جدول (4) ارائه شده است. با تشکیل جدول تصمیم مسئله با استفاده از روابط ویکور راف به بررسی و ارزیابی گزینه‌های پژوهش می‌پردازیم. گام اول در روش ویکور راف بعد از تشکیل ماتریس تصمیم، مقادیر ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی در هر یک از

جدول 3- نتایج محاسبه وزن معیارها

رتبه	وزن نرمال	وزن قطعی	وزن راف
1	0/365	0/779	[0/558 .1]
2	0/262	0/560	[0/4050 .0/715]
3	0/158	0/338	[0/264 .0/411]
4	0/149	0/318	[0/2350 .0/401]
5	0/067	0/143	[0/1070 .0/179]

جدول 4- ماتریس تصمیم فاصله‌ای به‌دست آمده از تئوری راف

	C5	C4	C3	C2	C1
A1	[1/224 .2/195]	[4/62 .4/98]	[5/413 .6/169]	[6.6]	[2/15 .2/875]
A2	[1/1.113/917]	[2/01 .2/19]	[6/86 .7/94]	[5/05 .5/928]	[6/62 .6/98]
A3	[7/67 .8/93]	[4/28 .4/92]	[2 .2]	[4/96 .7/051]	[7/62.7/98]
A4	[7/81 .7/99]	[3/41 .3/959]	[9 .9]	[2/02 .2/38]	[8 .8]
A5	[2/01 .2/19]	[3 .3]	[4/81 .4/99]	[6.6]	[2 .2]
A6	[6 .6]	[8 .8]	[1/367 .2/767]	[1/17 .2/06]	[3/01 .3/19]
A7	[5/43 .5/97]	[6/24 .6/96]	[5/43 .5/97]	[4/62 .4/98]	[5/41 .5/959]
A8	[7 .7]	[5 .5]	[6.6]	[4/01 .4/19]	[3/98 .4/82]
A9	[2/09 .2/51]	[3/01 .3/19]	[7 .7]	[7/24 .7/96]	[6 .6]

جدول 5- ایده‌آل‌های مثبت و منفی

	C5	C4	C3	C2	C1
f^*	[8/93 .8/93]	[8 .8]	[9 .9]	[7/96 .7/96]	[8 .8]
f_-	[1/113 .1/113]	[2/01 .2/01]	[1/367 .1/367]	[1/17 .1/17]	[2 .2]

جدول 6- شاخص‌های به‌دست آمده از روش ویکور راف

رتبه	قطعی Q	Q	قطعی R	R	قطعی S	S
7	0/618	[0/328 .0/907]	0/726	[0/477 .0/975]	1/340	[0/902 .1/777]
4	0/228	[0/073 .0/383]	0/314	[0/228 .0/401]	0/904	[0/577 .1/231]
2	0/170	[0/033 .0/308]	0/310	[0/242 .0/377]	0/726	[0/419 .1/034]
5	0/276	[0/1150 .0/437]	0/479	[0/333 .0/625]	0/731	[0/504 .0/958]
9	0/705	[0/441 .0/969]	0/779	[0/558 .1]	1/514	[1/102 .1/925]
8	0/627	[0/357 .0/896]	0/640	[0/448 .0/832]	1/540	[1/055 .2/025]
3	0/214	[0/043 .0/385]	0/311	[0/19 .0/432]	0/864	[0/554 .1/174]
6	0/403	[0/175 .0/631]	0/483	[0/296 .0/67]	1/130	[0/769 .1/492]
1	0/154	[0/035 .0/272]	0/261	[0/189 .0/334]	0/769	[0/532 .1/007]

شاخص‌ها، به محاسبه شاخص اصلی ویکور، یعنی شاخص Q برای هر گزینه پرداخته می‌شود. برای این کار از رابطه‌های (20) و (21) استفاده شده است. نتایج حاصل این محاسبات در جدول (6) آورده شده است. با توجه به شرایط روش ویکور، گزینه A9 کمترین مقدار Q را دارد از طرفی برای این که رتبه برتر شناخته شود باید رابطه زیر چک شود رابطه $Q(A3) - Q(A9) \geq \frac{1}{9-1} \Rightarrow 0.17 - 0.154 < 0.125$

براین اساس، اگر معیار جنبه مثبت داشته باشد ایده‌آل مثبت برابر با بزرگ‌ترین حدبالا و ایده‌آل منفی برابر با کوچک‌ترین حد پایین هر ستون معیار ماتریس تصمیم است و برای معیارهای منفی بالعکس. در پژوهش حاضر، تمامی معیارها جنبه مثبت جدول (5)، نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

گام بعد با استفاده از روابط (16-19) به محاسبه شاخص‌های سودمندی و تأسف پرداخته می‌شود. با مشخص شدن این

برقرار نیست لذا هر دو گزینه هماهنگی پروژه (A3) و برنامه‌ریزی زمانی پروژه و توالی ساخت‌وساز (A9) به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند. سپس به‌ترتیب تشخیص تضاد و برخورد (A7)، تلفیق داده‌های پیمانکار جزو تأمین‌کننده (A2)، ایمنی (A5)، تخمین و برآورد هزینه (A8)، برنامه‌ریزی چیدمان سایت (A1)، پیش‌سازی (A6) و نظارت بر ساخت‌وساز (A5) به‌عنوان سایر گزینه‌های رتبه‌بندی توسط روش ویکور هستند.

کل یافته‌های اهمیت‌سنجی شاخص‌های ارزیابی، با توجه به اهمیت نسبی هر شاخص کلیدی عملکرد در مقایسه با سایرین، نشان می‌دهد که بهبود کیفیت، بالاترین سطح توجه را در بین همه شاخص‌ها کسب کرده است. ترتیب نزولی سایر طبقات برحسب سطح اهمیت به این شرح است: کاهش هزینه ساخت‌وساز، ساخت‌وساز پایدار، بهبود قابلیت ساخت و تحویل ساختمان با لحاظ کارآمدی زمانی این نتیجه با وزن 0/365 برای طبقه بهبود کیفیت تأیید می‌شود که بسیار بالاتر و مهم‌تر از سایر شاخص‌هایی است که با توجه به فناوری BIM و مرحله ساخت‌وساز چرخه عمر پروژه ارزیابی می‌شوند. این موضوع که BIM ظرفیت و پتانسیل قابل توجهی برای بهبود فرآیند مدیریت کیفیت ساخت‌وساز از طریق تغییر مسیر تعامل شرکت‌کنندگان پروژه با یکدیگر و حفظ اطلاعات در یک بانک اطلاعاتی یکپارچه دارد، مورد تأیید قرار گرفته است.

شاخص مهم بعدی، کاهش هزینه ساخت‌وساز است. کاهش هزینه ساخت‌وساز عمده‌تاً به‌عنوان یک دارایی کلیدی در گردش مالی صنعت ساخت‌وساز شناخته می‌شود و به‌نظر می‌رسد اهمیت این شاخص در متن ایران بیشتر است زیرا صنعت ساخت‌وساز ایران دارای نرخ سودآوری پایین و ناکامی بالا به‌دلیل بی‌نظمی پرداخت‌های مشتری است. این معضل به‌دلیل رکود و بحران اخیر اقتصادی ملی که ناشی از رکود گسترده حاصل از تحریم‌های بین‌المللی است، بیشتر تشدید می‌شود. بدیهی است که اولین کاربرد مرتبط BIM برای این شاخص، برآورد و تخمین هزینه است که می‌تواند از طریق نیروی محرک و قدرتمند مدل‌سازی پنج‌بعدی اطلاعات ساختمان، متره و برآورد خودکار، انجام شود. مدل‌سازی پنج‌بعدی اطلاعات ساختمان، صورت دقیق مقادیر خروجی کمیت‌های مورد نیاز را با استفاده از یک ابزار تخصصی سنجش و راهکارهای قوی برای حفظ همگونی داده‌های هزینه را طرح می‌کند. شاخص کلیدی عملکرد بعدی که به بهبود قابلیت به‌کارگیری BIM در صنعت ساخت‌وساز کمک شایانی می‌نماید، شاخص کلیدی ساخت‌وساز پایدار است. BIM، شاخص کلیدی عملکرد ساخت‌وساز پایدار را در گام طراحی به‌ویژه جایی که تکنیک‌های پیشرفته نظیر توسعه کارآمد انرژی می‌توانند ایجاد و تلفیق گردند، ارتقاء می‌دهد. جنبه تکنولوژیک BIM به تیم دخیل در هر پروژه کمک می‌کند تا آنچه که ساخته خواهد شد در یک

محیط شبیه‌سازی شده مشاهده و بررسی نموده و مشکلات محتمل در طراحی ساخت و بهره‌برداری را از قبل شناسایی می‌نماید. جنبه روند محور BIM همکاری نزدیک گروه‌های مختلف دخیل را ممکن و ترغیب کرده و گردش اطلاعات را بین آن‌ها ساده و ممکن می‌نماید. شاخص کلیدی عملکرد بعدی یعنی «قابلیت ساخت»، به‌معنی «طرح تلاش‌هایی که قادر است در مرحله ساخت‌وساز به‌کار گرفته شود و امکان اجرای آسان و روان فعالیت‌ها را به پیمانکاران می‌دهد» تعریف می‌شود. بر مبنای این تعریف، طراح باید دارای درک از ساخت‌وساز باشد ولی به‌دلیل فقدان ارتباطات و هماهنگی کافی در متن محلی، طراح به‌طور معمول فاقد این ویژگی است. در پایان، شاخص تحویل ساختمان با لحاظ کارآمدی زمانی از درجه اهمیت پائین‌تری نسبت به سایرین برخوردار است. بدیهی است که تکنیک شبیه‌سازی چهاربعدی BIM؛ تلفیق زمان‌بندی و برنامه‌ریزی پروژه با مدل سه‌بعدی، زمان تحویل پروژه ساختمانی را از طریق شناسایی خودکار تأخیر و فضای مشارکتی میان پیمانکار و پیمانکاران جزء کاهش می‌دهد. این تکنیک، ساختار شکست کار فرآیند ساخت‌وساز را در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی همه اجزای مدل سه‌بعدی، تصویرسازی و مجسم می‌سازد و تصمیم‌گیری مطلوب بر اساس توالی صحیح و مدیریت زمان پروژه‌های ساختمانی را تسهیل می‌کند.

5- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، مبنایی برای پرکردن شکاف موجود در ساختار دانش، یعنی فقدان مطالعات در زمینه کاربردهای مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در راستای شاخص‌های کلیدی عملکرد در مرحله ساخت‌وساز چرخه حیات پروژه در ایران، ایجاد می‌نماید. همچنین، اولین پژوهشی است که از تئوری راف به‌منظور راف برای سنجش قابلیت‌های BIM استفاده می‌شود. از آنجایی که سنجش مناسب‌ترین گزینه یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره است. بنابراین تصمیم‌گیرندگان در سنجش گزینه‌ها از ترجیحاتی استفاده می‌کنند که غیرقطعی است. از این‌رو، در پژوهش حاضر از تئوری راف که در چنین شرایطی کارآمد می‌باشد استفاده می‌شود. در واقع، ابتدا با استفاده از دلفی به شناسایی معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری پرداخته و سپس از تئوری راف برای تبدیل ترجیحات خبرگان به اعداد فاصله‌ای و از روش ترکیبی جدید فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ویکور (Vikor) راف برای سنجش قابلیت‌های BIM استفاده می‌شود. قابل ذکر است که در پژوهش حاضر، روش AHP-Vikor با داده‌های راف توسعه داده شده است. در پایان به‌منظور نشان دادن قابلیت کاربردی بودن روش مطرح شده، آن‌را در شرکت‌هایی که در زمینه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ایران فعالیت می‌نمودند پیاده‌سازی گردید.

- <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.01.014>
 Banihashemi S, Shourangiz E, Hassanabadi MS, "Flexibility of BIM towards design change", In Construction and Project Management, ICCPM 2011. Vol. 15. Singapore: IACSIT Press. 2011. 79-83. (International Proceedings of Economics Development and Research).
- Eastman CM, Eastman C, Teicholz, P, Sacks, R, Liston, K, "BIM handbook: A guide to building information modeling for owners", Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley & Sons, 2011. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Ghoddousi P, Poorafshar O, Chileshe N, Hosseini MR, "Labour productivity in Iranian construction projects", International Journal of Productivity and Performance Management, 2013. 811-830. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2013-0169>
- Golparvar-Fard M, Pena-Mora F, Savarese S, "Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models", Journal of Computing in Civil Engineering, 2015, 29 (1), 04014025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000205](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000205)
- Hosseini MR, Azari E, Tivendale L, Chileshe N, "Barriers to adoption of building information modeling (BIM) in Iran: Preliminary results", In The 6th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM2015), Gold Coast, Australia, 2015, September <https://doi.org/10.32738/CEPPM.201509.0038>
- Khanzadi M, Sheikhhoshkar M, Banihashemi S, "BIM applications toward key performance indicators of construction projects in Iran", International Journal of Construction Management, 2019, 20 (4), 305-320. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484852>
- Kumar JV, Mukherjee M, "Scope of building information modeling (BIM) in India", Journal of Engineering Science and Technology Review, 2009, 2 (1), 165-169. <https://doi.org/10.25103/jestr.021.30>
- Lyu HM, Sun WJ, Shen SL, Zhou AN, "Risk assessment using a new consulting process in fuzzy AHP", Journal of Construction Engineering and Management, 2020, 146 (3), 04019112. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001757](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001757)
- Opricovic S, "Multicriteria optimization of civil engineering systems", Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 1998, 2 (1), 5-21.
- Opricovic S, Tzeng GH, "Multicriteria planning of post-earthquake sustainable reconstruction", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2002, 17 (3), 211-220. <https://doi.org/10.1111/1467-8667.00269>
- Pawlak Z, "Rough sets", International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11 (5), 341-356.
- Poirier E, Staub-French S, Forgues D, "Embedded contexts of innovation: BIM adoption and implementation for a specialty contracting SME", Construction Innovation, 2015. <https://doi.org/10.1108/CI-01-2014-0013>
- Rogers J, Chong, HY, Preece C, Lim, CC, Jayasena, HS, "BIM development and trends in developing

نتایج نشان داد که به کارگیری تئوری راف به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند به ذینفعان در امر تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت کمک نماید و نقطه آغازی برای پژوهش مبتنی بر BIM و دیدگاه‌های مدیریتی آن در ارائه بینش صحیح جهت به کارگیری آن در پروژه‌های ساخت‌وساز ایران باشد. در همین راستا، یافته‌های این پژوهش نشانگر نتایج جالبی بود که انعکاس‌دهنده ادراک از طراحی ساختمان و مجریان ساخت‌وساز در ایران با توجه به مزایای BIM برای شاخص‌های عملکرد پروژه‌های ساختمانی است. یعنی آن‌ها نقش‌های اصلی را به شاخص‌های بهبود کیفیت و ساخت‌وساز پایدار و نقش‌های نسبتاً کمتری را به شاخص کاهش هزینه ساخت‌وساز و تحویل ساختمان با لحاظ کارآمدی زمانی، اختصاص دادند. این امر در تضاد با صنعت ساخت‌وساز در ایران است چراکه منجر به سودآوری پایین و ناکامی بالا، شرکت‌هایی ساختمانی که روش‌های جدید را اتخاذ نموده و رویکردهای سنتی خود نظیر CAD را تغییر می‌دهند، تا زمانی که آن‌ها از بازگشت پول و بازده سرمایه‌گذاری اثبات شده بهره‌مند شوند که این امر موجب اولویت بخشی به ارزش‌های پولی به جای اصول کیفیت و پایداری می‌شود. بر این اساس، پژوهش حاضر، نقطه آغاز تحقیقات مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و دیدگاه‌های مدیریتی آن است که بیانگر بینشی در جهت به کارگیری BIM در پروژه‌های ساختمانی ایران است. اگرچه بعضی از کاربردهای BIM ممکن است در شرایط فعلی این کشور ایده‌آل‌گرایانه باشد، اما به‌طور کلی از نقطه نظر کاربردی و تحلیلی حائز اهمیت است زیرا مدل ارائه شده می‌تواند استطاعت کارشناسان را در شناسایی تأثیرگذارترین ابعاد BIM در شاخص‌های کلیدی عملکرد ساخت‌وساز افزایش دهد.

6- مراجع

- Aboushady AM, Elbarkouky, MMG, "Overview of building information modeling applications in construction projects", In AEI 2015, 445-456. <https://doi.org/10.1061/9780784479070.039>
- Aranda-Mena G, Crawford J, Chevez, A, Froese, T, "Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM?", International Journal of Managing Projects in Business, 2009. <https://doi.org/10.1108/17538370910971063>
- Azhar S "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry", Leadership and Management in Engineering, 2011, 11 (3), 241-252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Banihashemi S, Hosseini, MR, Golizadeh H, Sankaran S, "Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries", International Journal of Project Management, 2017, 35 (6), 1103-1119.

- countries: Case Studies (Bentham Science Publishers)", 2015.
<https://doi.org/10.2174/97816810801781150101>
- Sabet Motlagh M, "Applying concept of rough set theory with multi-criteria decision-making methods to evaluate and select the most appropriate maintenance strategy", Strategic Management Research, 2018, 24 (70), 65-89.
<https://doi.org/20.1001.1.22285067.1397.24.70.3.1>
- Sun C, Jiang S, Skibniewski MJ, Man Q, Shen, L, "A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry", Technological and Economic Development of Economy, 2017, 23 (5), 764-779.
<https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1087071>
- Ugwu O, Haupt TC, "Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability a South African construction industry perspective", Building and Environment, 2007, 42 (2), 665-680.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.018>
- Zhai LY, Khoo LP, Zhong ZW, "A rough set enhanced fuzzy approach to quality function deployment", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 37 (5), 613-624.
<https://doi.org/10.1007/s00170-007-0989-9>
- Zhu GN, Hu J, Qi J, Gu CC, Peng YH, "An integrated AHP and Vikor for design concept evaluation based on rough number", Advanced Engineering Informatics, 2015, 29 (3), 408-418.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.010>