Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 56(1) (2024) 19-22
DOI: 10.22060/ceej.2024.22095.7902

Determining the main criteria and presenting a mathematical model in the evaluation of new construction technologies

R. Ahmadi

Department of Structural Engineering and Technical Building - Road, Housing and Urban Development Research Center

ABSTRACT: Evaluating new construction technologies based on quantitative analysis before applying the technology in the construction industry can minimize the risk of using a technology. The research method in this article is experimental-theoretical. The experimental part includes the review of the information on 45 types of implemented technologies, their field impressions, and pathology, and in the theoretical part, the author designs 330 quantitative evaluation questions and receives the opinions of prestigious universities of the country regarding the proposed questions and finally presents the mathematical model of the evaluation criteria. The questions are designed to meet the two goals of safety and competition. The mathematical model presented for the first time by the author is presented in this article under the title of the triangle of evaluation criteria of new construction technologies. The length of the sides of this triangle is equal to the score obtained from each of the questions related to the quality, cost, and speed of construction for each technology, which are the three main criteria for the quantitative evaluation of a technology. The evaluation triangle shows that if the length of the quality side becomes zero in the evaluation of a technology, it is a deterrent and ban on the use of that technology. Presenting the normalized triangle model for evaluation criteria was aimed at achieving a competitive goal. The length of each of the sides of this triangle can be between zero and 0.5 (except zero and 0.5), provided that the sum of the sides does not exceed one. In this model, if the length of one of the sides approaches zero, the result will be a skinny triangle. which indicates the high risk of that technology in relation to that criterion.

Review History:

Received: Jan. 11, 2023
Revised: Dec. 18, 2023
Accepted: Feb. 03, 2024
Available Online: Feb. 29, 2024

Keywords:

new technology
risk
evaluation criteria
safety
exploitation
industrialization

1- Introduction

In developed countries, the history of industrialization and the use of modern construction technologies began in the 18th century with the beginning of the Industrial Revolution and has grown significantly in the 19th century. Today, due to the culture, environment, and geographical extent of the countries, we see the use of modern technologies. We are an innovative construction company in high-rise construction projects and quick-build one- and two-story buildings. In developing countries, due to the ever-increasing growth of the urban population, the need for mass housing in the form of short- and medium-rise buildings is felt. For example, in most Asian countries, South America, and Africa, mass housing is mainly provided with 2-15-story buildings, and to achieve this goal, they consider the use of new construction technologies in an industrial production manner. While developed countries mainly use They prefer high-rise buildings. Although the type of housing needed in developed and developing countries is different, but both of them use the solution of using modern construction technologies in the industrial production method and are almost the same in terms of the main and effective indicators and have minor differences.

The basic challenge in using construction technology is the feasibility of using the technology before construction and operation. Nowadays, evaluation is done only for existing buildings and on a case-by-case basis. This type of evaluation does not help construction industry workers in the feasibility stage of mass housing supply projects. Many researchers have tried to use the experiences of the developed technologies for future projects. In 2021, Edward et al. [1] studied an important industrialization project with printing technology in the Czech Republic in order to minimize project costs in terms of construction and service life, for this purpose, the indicators And the parameters of the factors affecting the project costs have been determined, which include the equivalent costs related to investment stagnation, operational costs, repair and maintenance, renovation in the future and recycling. They have tried to check the impact of the above cost indicators on the economy of the project, they have done their analysis based on the assumption of linear relationships and finally, they have concluded: the analysis of energy consumption during operation, the implementation mechanism of printed building technology and updating Costs in different stages of construction and engineering costs have a significant

*Corresponding author's email: r.ahmadi@bhrc.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

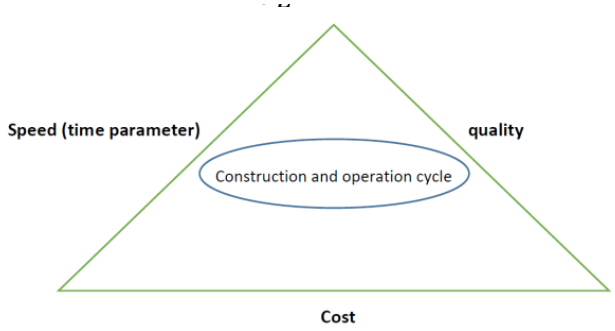


Fig. 1. Similar model of new construction technology evaluation criteria

impact on the economic evaluation of this building. The main criticism of this research is the use of technology that does not have a known structural structure, and its structural behavior against lateral loads has many uncertainties. In 2021, Petri et al. [2] examined the impact of transportation on a house construction system in terms of the system's ability to move volume, its effect on the service radius of the factory, and the impact on the total cost of the building. This research has omitted to deal with the effects of transportation in terms of quality and construction engineering. In 2020, Mona et al. [3] examined the door element of architectural components under the industrialization system of a building and tried to optimize the product in terms of production speed and production volume by linear modeling in the factory production line. The researchers [4] to [9] have also done case-by-case research on construction projects built with industrial production methods, mainly on implementation methods in a specific project or from the point of view of the application of technology in the architecture of a specific building.

2- Research pattern: experimental-theoretical

The experimental part of the research included the investigation of 45 types of technologies, including the complete building system and subsystems. This part includes collecting and organizing the information of each technology, field impressions of the performance of the implemented new technologies, determining the strengths and weaknesses of the technology, pathology, and analysis. It is information whose results are used in the theoretical part. In the theoretical part, firstly, three main criteria of quality, cost, and speed (time) of construction definition and quantitative evaluation questions have been designed for each criterion, so that the quality criterion is 100 questions, the construction cost criterion is 150 questions, and the construction speed criterion is 80 questions and the answers to the questions are all optional. In addition to being placed in one of the above three criteria, the questions are also categorized into one of the two target groups of safety and competitive evaluation. Questions do not have a single value in terms of their effectiveness in evaluating technology, so the weighting factor for each question is intended according to the importance of the question and its impact. For example, when the question related to the ability to use a technology in seismic areas of a country is raised, it will have a different importance and impact than the question related to the permitted methods of structural analysis in that technology. Therefore, the weighting factor of each question will be different. In order to take advantage of the collective wisdom, the questions and answer options as well as the suggested weight coefficients for each question have been made available to academics and experts in the construction industry, and their valuable opinions have been received and applied as much as possible. Finally, the model Mathematics based on the results is presented by the author for the first time.

3- Results and Discussion

The indicators that make up the sides of quality, cost minimization, and speed of the triangle of the main evaluation criteria with engineering content were explained in the previous section, now the most important question of the research is raised and is: how to consider (if necessary, convert) these three main criteria into criteria How can it be expressed with mathematical and engineering sciences? ??? In this part, first, a mathematical model is presented to express the effect of each criterion, as well as the type of relationship and dependence of these three criteria. In this model, according to figure number (1), a triangle with the sides of the three main quality evaluation criteria, cost minimization and speed is used, which was presented by the author for the first time, and we call it the triangle of new construction technology evaluation criteria. In this article, two characteristics related to the sides of the triangle have been used for this model, which according to figure number (1) are:

1-3- The sides of the triangle are non-zero evaluation criteria.

$$AB\,,BC\,,CA\ >0 \tag{1}$$

2-3- The total length of two sides is greater than one side

$$AB+BC>CA\text{،}\ BC+CA>AB\ \text{،}CA+AB>BC\ \ (2) \tag{2}$$

3-3- The ratio of one side to the sum of the sides of the triangle

$$\lambda = {AB}/{L}\ ,\lambda = {BC}/{L}\ ,\lambda = {CA}/{L}\quad L=AB+BC+CA \tag{3}$$

4- Conclusion

The present article is a part of a comprehensive research in the field of "evaluation of new construction technologies" by the author, which will be presented in several articles. This article shows that with reliable quantitative tools and the mathematical model provided by the author, it is possible to evaluate new construction technologies in two sectors: safety and competitiveness. The obvious point is the deterrence function if the safety goal is not met, which deprives the technology of its usability. Also, the performance of the competitive target compared to other technologies and obtaining a small score will be the factor of success or failure of a technology. Based on the study, the following results have been obtained:

1- The triangle model of evaluation criteria for new technologies was presented in the three sides of quality, cost minimization, and speed, which expresses the user and engineering indicators of a technology.

2- The evaluation indices were presented in the form of general and specific indices and the grouping of specific indices in the main safety group (with structural and fire subgroups) and the main operation group (with architectural, energy, and acoustic subgroups) was determined.

3- The side related to the quality of the new technology in the evaluation criterion triangle consists of two safety and competitive parts, the lack of safety (structure and fire) in technology causes the length of the quantity side to be zero in the quantitative evaluation and the triangle loses its definition. and this means preventing and prohibiting the use of new technology in the construction industry.

4- The normalized evaluation triangle is used to make the risk parameter for evaluation criteria with competitive goals, in which: First, the length of each of the three sides of quantity, cost, and speed is determined by the risk parameter of that criterion, whose value is between zero and 5 0.0 is placed (except for zero and 0.5). Second: the total length of the sides of this triangle is 1.0.

5- According to the normalized triangle model, the closer the risk parameter for one side of this triangle is to zero, it creates a thin triangle and makes the use of technology risky

References

[1] Eduard Hromada , Stanislav Vitasek , Jakub Holcman, Renata Schneiderova Heralova and Tomas Krulicky, "Residential Construction with a Focus on Evaluation of the Life

[2] Cycle of Buildings" Buildings 2021, 11, 524. https://doi.org/10.3390/buildings11110524

[3] Petri Uusitalo & Rita Lavikka . (2021) "Technology transfer in the construction industry" The Journal of Technology Transfer 46, pages 1291–1320 (2021)

[4] Mona Afifi , Ahmed Fotouh , Mohamed Al-Hussein & Simaan Abourizk , "Altmetric "Integrated lean concepts and continuous/discrete-event simulation to examine productivity improvement in door assembly-line for residential buildings " , International Journal of Construction Management Pages 2423-2434 | Published online: 04 Aug 2020

[5] Sobek, Werner "Nachhaltiges Bauen mit Stahl - Aufgabe für Architekten und Ingenieure". Lecture held at the Internationaler Architektur-

[6] Kongress. Essen, Germany. Jan 13, 2010.

[7] ABB AG , Smart Home and Intelligent Building Control , Energy Efficiency in Buildings with ABB i-bus® KNX, , www.abb.com/knx ,

[8] Germany, 2009 .

[9] Gambin, L. et al., Sector Skills Insights: Construction. Evidence Report 50. UKCES, London , 2012

[10] Brinkley, M. SIPs: The New Build Standard. Homebuilding and Renovating, January , 2012.

[11] ORNL, Building Technologies Research and Integration Center, ORNL, Oak Ridge, Tennessee, 2013, www.ornl.gov/sci/ees/etsd/btric/.

[12] 4th International Conference and Exhibition on New Findings of Civil, Architectural and Iran Building Industry Ircivil 2019

HOW TO CITE THIS ARTICLE

R. Ahmadi, Determining the main criteria and presenting a mathematical model in the evaluation of new construction technologies, Amirkabir J. Civil Eng., 56(1) (2024) 19-22.

DOI: 10.22060/ceej.2024.22095.7902

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۶، شماره ۱، سال ۱۴۰۳، صفحات ۹۱ تا ۱۰۴
DOI: 10.22060/ceej.2024.22095.7902

تعیین معیارهای اصلی و ارائه مدل ریاضی در ارزیابی فنآوری‌های نوین ساختمانی

رسول احمدی*

بخش مهندسی سازه و ابنیه فنی- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.

خلاصه: ارزیابی فنآوریهای نوین ساختمانی بر اساس تحلیل کمی و قبل از بکارگیری فنآوری در صنعت ساختمان، می تواند میزان ریسک استفاده از یک فنآوری را حداقل نماید. روش پژوهش در این مقاله تجربی- نظری است. بخش تجربی شامل بررسی اطلاعات ۴۵ نوع فنآوری اجرا شده، برداشتهای میدانی وآسیب شناسی انها می باشد و در بخش نظری ، طراحی ۳۳۰ سوال ارزیابی کمی توسط نگارنده و دریافت نقطه نظرات دانشگاههای معتبر کشوردر خصوص سوالات طرح شده و در نهایت ارائه مدل ریاضی معیارهای ارزیابی می باشد. سوالات به منظور تامین دو هدف ایمنی و رقابتی طراحی شده است . مدل ریاضی ارائه شده برای اولین بارتوسط نگارنده و تحت عنوان مثلث معیارهای ارزیابی فنآوریهای نوین ساختمانی دراین مقاله ارائه می گردد. طول اضلاع این مثلث برابر امتیاز کسب شده ازهر یک از سوالات مربوط به کیفیت ، هزینه و سرعت ساخت برای هر فنآوری می باشدکه سه معیار اصلی ارزیابی کمی یک فنآوری را تشکیل می دهند. مثلث ارزیابی نشان می دهد چنانچه طول ضلع کیفیت در ارزیابی یک فنآوری صفر گردد ، به منزله بازدارندگی و منع استفاده ازآن فنآوری می باشد. ارائه مدل مثلث نرمال شده برای معیارهای ارزیابی، به منظور دستیابی به هدف رقابتی بوده است. طول هر یک از اضلاع این مثلث می تواند بین صفر تا ۰/۵(بجز صفر و ۰/۵) باشد مشروط بر آنکه مجموع اضلاع از یک بیشتر نگردد در این مدل چنانچه طول یکی از اضلاع به صفر نزدیک شود ، حاصل یک مثلث لاغر خواهد بود که بیانگر پر ریسک بودن آن فنآوری در ارتباط به آن معیار می باشد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱
بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

کلمات کلیدی:
فنآوری نوین
ریسک
معیار ارزیابی
ایمنی
بهره برداری
صنعتی سازی

۱- مقدمه

در کشورهای توسعه یافته تاریخچه صنعتی سازی و استفاده از فنآوریهای نوین ساختمانی از قرن ۱۸ میلادی و با شروع انقلاب صنعتی شروع و در قرن ۱۹ میلادی رشد چشمگیری نموده است. امروزه با توجه به فرهنگ ، محیط زیست و گستره جغرافیای کشورها ، شاهد بکاری گیری فنآوریهای نوین ساختمانی در پروژه های بلند مرتبه سازی و ساختمانهای یک و دو طبقه سریع الاحداث و کوتاه مرتبه هستیم.در کشورهای در حال توسعه به سبب رشد روز افزون جمعیت شهری، نیاز به مسکن انبوهی در قالب ساختمانهای کوتاه مرتبه و میان مرتبه کاملا احساس می‌شود . بعنوان مثال در اکثرکشورهای آسیایی ، امریکای جنوبی و افریقا تامین انبوهی مسکن عمدتا با ساختمانهای ۲ الی ۱۵ طبقه تامین میگیرد و به منظوردستیابی به این هدف، بکارگیری فنآوریهای نوین ساختمانی به شیوه تولید صنعتی را مد نظر قرار می‌دهند.درحالی که کشورهای توسعه یافته عمدتا استفاده از ساختمانهای بلند مرتبه را ترجیح می‌دهند. هرچند نوع مسکن مورد نیاز در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه متفاوت می‌باشد ، لیکن هر دو از راه حل بکارگیری فنآوریهای نوین ساختمانی به روش تولید صنعتی بهره می‌برند و از حیث شاخص‌های اصلی و تاثیرگذار تقریبا یکسان بوده و تفاوتهای جزئی دارند.

چالش اساسی در بکارگیری یک فنآوری ساختمانی، امکان سنجی استفاده از فنآوری قبل از ساخت و بهره برداری می‌باشد. امروزه ارزیابی تنها برای ساختمانهای موجود و بصورت موردی انجام می‌شود. این نوع ارزیابی در مرحله امکان سنجی پروژه های تامین انبوهی مسکن کمک شایانی به دست اندر کاران صنعت ساختمان نمی‌نماید. پژوهشگران متعددی تلاش نموده اند از تجربیات فنآوریهای ساخته شده در خصوص پروژه های آتیه استفاده نمایند. ادوارد و همکاران [۱] در سال ۲۰۲۱ میلادی یک پروژه مهم ساختمانی به شیوه

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: r.ahmadi@bhrc.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

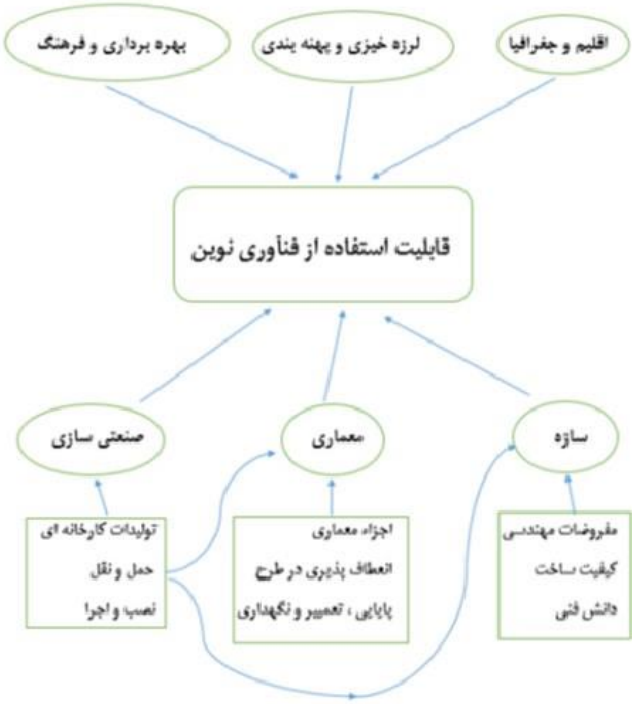
صنعتی سازی با فن آوری ساخت پرینتی در کشور جمهوری چک را مطالعه نموده‌اند تا بتوانند هزینه های پروژه از حیث ساخت و عمر بهره برداری به حداقل برسانند ، بدین منظور شاخصها و پارامترهای از عوامل تاثیرگذار بر هزینه های پروژه را تعیین کرده‌اند که از جمله می‌توان به هزینه های معادل مرتبط با سکون سرمایه گذاری ، هزینه های عملیات اجرایی ، تعمییر و نگهداری ، نوسازی در آینده و بازیافت اشاره نمود . آنها تلاش نموده اند تاثیر شاخص‌های هزینه‌های فوق را بروی اقتصاد پروژه بررسی نمایند بررسیهای تحلیلی خود را برمبنای فرض روابط خطی انجام داده و در نهایت نتیجه گیری نموده اند : تحلیل انرژی مصرفی در زمان بهره‌برداری ، مکانیزم اجرا فنآوری ساختمان پرینتی و به روز رسانی هزینه ها در مراحل مختلف ساخت و هزینه‌های مهندسی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بروی ارزیابی اقتصادی این ساختمان دارد. نقد اصلی وارده بر این پژوهش بکارگیری از فنآوری می‌باشد که دارای ساختار سازه ای شناخته شده نیست و رفتار سازه آن در مقابل بارهای جانبی دارای ابهامات بسیاری می‌باشد . پتری و همکاران [۲]در سال ۲۰۲۱ میلادی تاثیر حمل و نقل بروی یک سیستم ساختمانی خانه سازی را از حیث میزان توانایی سیستم در حجم جابجایی ، اثر آن بروی شعاع سرویس دهی کارخانه و تاثیر در هزینه تمام شده ساختمان را مورد بررسی قرارمی‌دهند . این پژوهش از پرداختن به تاثیرات حمل و نقل از نظر کیفی و مهندسی ساخت صرفنظر کرده است. مونا وهمکاران [۳]در سال ۲۰۲۰ میلادی، المان درب از اجزاء معماری در زیر سیستم صنعتی سازی یک ساختمان را مورد بررسی قرارداده و تلاش کرده‌اند با مدل سازی خطی در خط تولید کارخانه ، محصول تولیدی از نظر سرعت تولید و حجم تولید را بهینه نمایند. محققین [۴] الی [۹] نیز هر کدام در خصوص پروژه‌های ساختمانی احداث شده با روش تولید صنعتی و بصورت موردی پژوهش نموده اند که عمدتا درخصوص روشهای اجرا در یک پروژه خاص و یا از دیدگاه کاربرد فنآوری در معماری یک ساختمان مشخص می‌باشند.

۱- ۱- خلاء تحقیقاتی

تا کنون عمده پژوهش‌های صورت گرفته درخصوص ارزیابی فنآوریهای نوین ساختمانی بصورت موردی و بعضا از حیث بعد اقتصادی برای یک پروژه مشخص و گاها بررسی کیفی یک فنآوری بوده است . بررسی‌ها نشان می‌دهد صنعت ساختمان در خصوص ارزیابی کمی و جامع فنآوریهای نوین ساختمانی، با فقدان پژوهش و نیز روشهای ارزیابی کمی مواجه است. نگارنده مقاله تلاش نموده است تا برای اولین بار، تعریف و تعیین شاخص‌های کمی تاثیرگذار در انتخاب یک فنآوری نوین را ارائه نماید. در این پروسه پارامترها و متغیرهای تاثیرگذار در موفقیت یا عدم موفقیت یک فنآوری، باتعیین میزان تاثیرگذاری هریک از آنها، تحلیل گردیده است تا روش ارزیابی فنآوریهای نوین بصورت کمی و امتیاز کسب شده برای هر فنآوری بدست آید. تعیین معیارهای بازدارندگی(وتوئی) از حیث ایمنی و معیارهای رقابتی ازنظرطراحی، ساخت و بهره برداری برای اولین بار در این پژوهش مطرح ، تعریف و بکار گرفته شده است مقاله حاضر بخش اول (البته مهم) از یک پژوهش جامع در خصوص ارزیابی فنآوریهای نوین ساختمانی می‌باشد .

۲- الگوی پژوهش : تجربی-نظری

بخش تجربی پژوهش شامل بررسی ۴۵ نوع فنآوری اعم از سیستم کامل ساختمانی و زیر سیستم بوده است این بخش شامل جمع آوری و ساماندهی اطلاعات هر فنآوری، برداشتهای میدانی از عملکرد فنآوریهای نوین اجرا شده ، تعیین نقاط ضعف و قوت فنآوری ،آسیب شناسی و تجزیه تحلیل اطلاعات می‌باشد که نتایج آن در بخش نظری بکار برده می‌شود. .در بخش نظری ابتدا سه معیار اصلی کیفیت ، هزینه و سرعت(زمان) ساخت تعریف و سوالات ارزیابی کمی برای هر معیار طراحی گردیده است بطورئیکه معیار کیفیت ۱۰۰ سوال، معیار هزینه ساخت ۱۵۰ سوال و معیار سرعت ساخت۸۰ سوال و پاسخ سوالات تماما بصورت انتخاب گزینه(تستی) می‌باشند.سوالات علاوه بر قرارگیری در یکی از این سه معیارفوق، دریکی از دو گروه هدف ارزیابی ایمنی و رقابتی نیز دسته بندی می‌شوند. سوالات از نظر تاثیرگذاری در ارزیابی یک فنآوری، دارای یک ارزش نمی‌باشند، لذا ضریب وزنی برای هر سوال با توجه به اهمیت سوال و میزان تاثیر گذاری آن منظور شده است. بعنوان مثال وقتی سوال مربوط به قابلیت استفاده از یک فنآوری در مناطق لرزه خیزی یک کشور مطرح می‌گردد اهمیت و تاثیرگذاری متفاوتی نسبت به سوال مربوط به روشهای مجاز تحلیل سازه در آن فنآوری خواهد داشت. بنابراین ضریب وزنی هر سوال متفاوتی خواهند بود. به منظور بهره گیری از خرد جمعی ، سوالات و گزینه های پاسخ و نیز



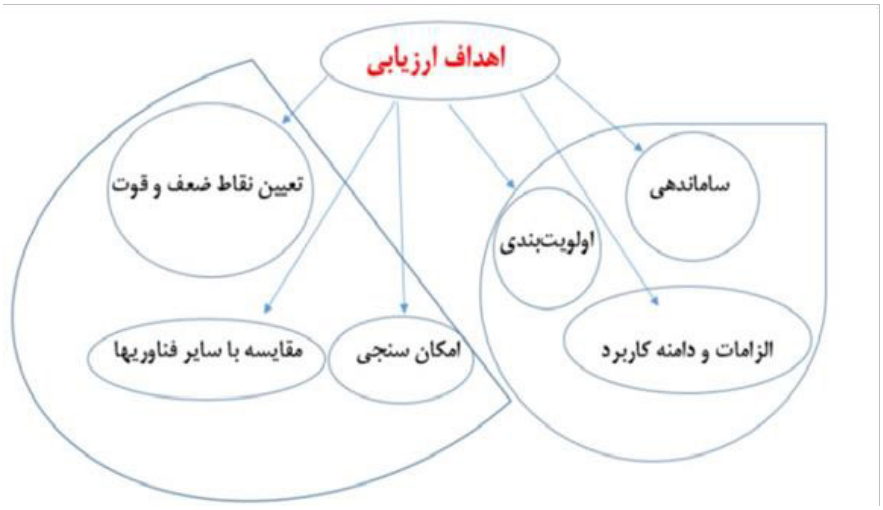
شکل ۱. چارت توصیفی و وکیفی مهم و تاثیرگذار در فنآوری نوین ساختمان

Fig. 1. Descriptive and qualitative chart important and influential in modern building technology

ضرائب وزنی پیشنهادی هر سوال در اختیار دانشگاهیان، و صاحب نظران صنعت ساختمان قرار گرفته است و نقطه نظرات ارزشمند آنها دریافت و تا حد امکان اعمال گردیده است. و در نهایت مدل ریاضی مبتنی بر نتایج توسط نگارنده برای اولین بار ارائه گردیده است.

بطورکلی منظور از فنآوریهای نوین ساختمانی در این مقاله شامل کلیه فنآوریهای قابل بکارگیری در صنعت ساختمان اعم از سیستم های کامل ساختمانی، زیر سیستم ها بصورت اجزاء ساختمانی معماری و سازه، مواد و مصالح نوین و یا روشهای نوین اجرای ساختمانها می‌باشند و البته تمامی این موارد می‌توانند بصورت صنعتی ، نیمه صنعتی و یا به روشهای معمول تولید شوند. لذا هر آنچه در مقاله حاضر بیان میشود موارد فوق را شامل می‌گردد. یک سوال مهم: چگونه می‌توان ارزیابی قابل اعتمادی از یک فنآوری نوین ساختمانی در مرحله قبل از سرمایه گذاری، تولید و ساخت بدست آورد؟؟؟ تا ضمن امکان سنجی و حداقل نمودن ریسک پروژه های انبوه سازی، در زمان ساخت و بعد از آن نیز ویژگی‌ها و شاخص‌های مطلوب مورد نیاز صنعت ساختمان را تامین نماید. هدف از این پژوهش دستیابی به پاسخ صحیح یا حداقل نزدیک به پاسخ صحیح بوده است.

در شکل شماره ۱ چارت ارتباطی و تاثیر گذار از ویژگی‌های مهم در قابلیت استفاده و میزان موفقیت یک فنآوری نوین نشان داده شده است که کم و بیش این چارت در بین پژوهشگران این امر مورد توافق است . نمونه بارز آن پژوهش‌های بیان شده در مقدمه این مقاله می‌باشد که برخی از این ویژگیها را عنوان نموده و بصورت کیفی مورد بررسی قرارداده شده است . نکته قابل تامل در این چارت ، توصیفی بودن تمامی این ویژگی‌ها می‌باشد و اتقاقا مشکل اصلی در ارزیابی فنآوریهای نوین در همین نکته نهفته است ، چرا که با تعدادی ویژگی‌ها و شاخص‌های توصیفی اظهار نظر در مورد یک فنآوری بطور دقیق وبا قابلیت اطمینان از حیث کاربری و موفقیت در صنعت ساختمان، امکان پذیر نمی‌باشد . در این مقاله تلاش گردیده است تا علاوه بر قضاوت بر اساس ویژگیهای توصیفی و قضاوت مهندسی برای یک فنآوری نوین در صنعت ساختمان ، از معیارها و شاخص‌های



شکل ۲. اهداف ارزیابی یک فنآوری نوین ساختمانی

Fig. 2. Objectives of evaluating a new construction technology

ارزیابی ساماندهی شده و بصورت کمی برای تمامی فنآوری‌های نوین و شناسنامه دار استفاده نمود که در این بخش با تعریف و ارائه اهداف، معیارها و شاخص‌های ، ساماندهی شده ارائه می شود

۲- ۱- اهداف ارزیابی فنآوریهای نوین ساختمانی و معیارهای ارزیابی

در گام اول شایسته است تا اهداف ارزیابی یک فنآوری نوین ساختمانی با جزئیات بیشتر و به تفسیر تعیین گردد ، در شکل شماره ۲ این مهم بصورت شماتیک با گراف نشان داده شده است :

همانطور که از گراف شماتیک شکل شماره ۱ ملاحظه می‌شود این اهداف در عین وابستگی و تاثیرگذاری بر یکدیگر، در دو بخش عمده قابل تفکیک می‌باشند که عبارتند از : بخش اول: هدف ایمنی ، بخش دوم: هدف رقابتی

۲- ۱- ۱- هدف ایمنی

این هدف اجباری بوده و نقش بازدارنده در ارزیابی یک فنآوری را بعهده دارند و عدم تامین آنها به منزله منع بکارگیری آن فنآوری در صنعت ساختمان خواهد بود وشامل ساماندهی ، اولویت بندی ، الزامات و دامنه کاربرد فنآوری می‌باشند. به منظورتشریح این هدف، یکی از سوالات معیار ارزیابی کیفی را که در زیر مجموعه هدف ایمنی نیز قرارداد، بیان می‌گردد:

سوال : نوع سیستم باربر جانبی سازه ؟

پاسخ سوال	امتیاز پاسخ
الف- از سیستم های مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ کشور ایران می‌باشد.	(۱)
ب- از سیستم های متداول درآئین نامه های لرزه ای معتبر دنیا می‌باشد.	(۰/۹۰)
ج- با اصلاحات جزئی میتوان سیستم سازه ای مناسب ایجاد نمود	(۰/۵۰)
د- فاقد سیستم باربر جانبی می‌باشد.	(۰)

چنانچه پاسخ سوال گزینه "د" باشد امتیاز کسب شده صفر خواهد بود که نتیجه ان طول صفر ضلع کیفیت در مثلث معیارهای ارزیابی می‌باشد و این بدان معناست که این سیستم هدف ایمنی را تامین نمی‌نماید و بکارگیری این فنآوری در کشورهای لرزه خیز مجاز نخواهدبود. ضریب وزنی سوال در صورت غیر صفر بودن برابر ۱ می‌باشد. شایسته است در این خصوص از موضوع مقاله آقای ادوارد و همکاران [۱] در سال ۲۰۲۱ میلادی که در خصوص بررسی هزینه های یک ساختمان با فنآوری پرینتی بوده است کمک بگیریم، اگر سوال اخیر در مورد فنآوری ساختمان پرینتی پاسخ داده شود، بی شک پاسخ برای آن گزینه "د" بوده و امتیاز حاصله صفر و در نتیجه طول ضلع مثلث معیارهای ارزیابی صفر خواهد شد، لذا استفاده از ساختمان پرینتی در کشور لرزه خیز ایران مجاز نخواهد بود، چراکه ساختمانهای پرینتی فاقد ساختار سازه ای می‌باشد.

۲- ۱- ۲- هدف رقابتی

نیل به این اهداف تامین کننده میزان ، موفقیت و ریسک پذیری فنآوری خواهد بود. بعبارت دیگر معیارهای برگرفته از این اهداف مینای سرمایه گذاری در تامین انبوهی مسکن از حیث اقتصاد مسکن می‌باشد و شامل امکان سنجی، تعیین نقاط ضعف و قوت و مقایسه با سایر فنآوریها در گزینش رقابتی می‌باشد. به منظور تشریح این هدف یکی از سوالات معیار ارزیابی کیفی را مطرح می‌گردد.

سوال: میزان عملیات کارگاهی ؟

امتیاز پاسخ	پاسخ سوال
(۱)	الف- فقط نصب و تامین اتصالات در کارگاه به صورت پیش ساخته می‌باشد.
(۰/۷۵)	ب- فقط نصب و تامین اتصالات در کارگاه به صورت درجا می‌باشد.
(۰/۵۰)	ج- بخش اندکی از ساخت در کارگاه به همراه نصب می‌باشد.
(۰/۲۵)	د- بخش عمده ای از ساخت در کارگاه به همراه نصب می‌باشد.

همانطور که ملاحظه می‌شود با توجه به میزان عملیات کارگاهی امتیاز کسب شده برای یک فنآوری متفاوت خواهد بود. اما امتیاز هر پاسخ غیر صفر است. ضریب وزنی این سوال برابر ۰/۹ می‌باشد.

۲- ۲- معیارهای اصلی ارزیابی فنآوری

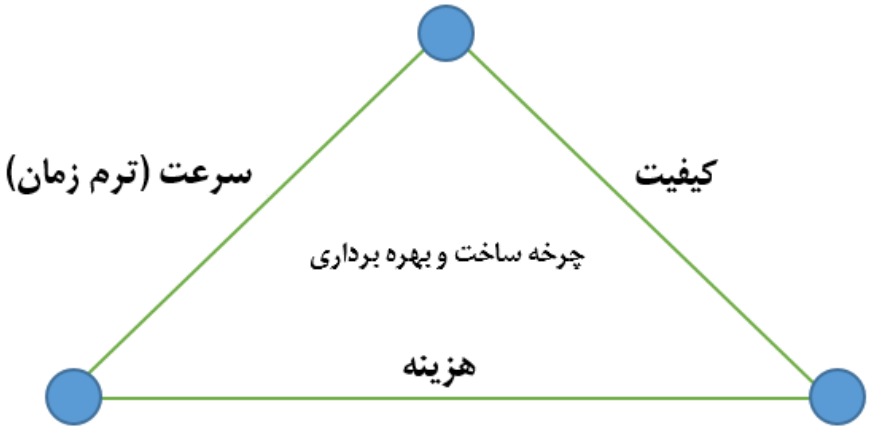
حال باتوجه به تشریح اهداف مورد نظر در ارزیابی یک فنآوری ، در این بخش به بررسی و تشریح معیارهای ارزیابی بعنوان پارامترهای اصلی در مسیر رسیدن به اهداف نقش تعیین کننده ای دارند ، پرداخته می‌شود . این پارامترها در قالب سه ترم اصلی ساخت و تولید به شرح زیر مطرح می‌شود :

۲- ۲- ۱- کیفیت ساخت

۲- ۲- ۲- هزینه ساخت

۲- ۲- ۳- سرعت ساخت

ذکر این نکته ضروریست که سایر ترمهای فرعی مرتبط بعنوان یک معیار یا در محتوای یکی از ترمهای فوق الاشاره قرارمی‌گیرند و یا ثاثیرگذاری چندانی در ارزیابی یک فنآوری ندارند. سه معیار اصلی بیان شده آنقدر مهم و تاثیرگذار در ارزیابی فناوربهای نوبن ساختمانی می‌باشند که صرفنظر از اینکه فنآوری یک سیستم کامل ساختمانی یا یک زیر سیستم اجزاء معماری یا سازه و یا یک شیوه اجرا نوین و یا مواد و مصالح نوین می‌باشد ، قابل طرح و شاخص گذاری در آنها خواهد بود . ضروریست تا به بررسی معیارهای اصلی پرداخته شود.



شکل ۳. مثلث ارزیابی فنآوری یک نوین ساختمانی

Fig. 3. Technology evaluation triangle of a construction innovation

۲- ۳- مدل ریاضی معیارهای اصلی ارزیابی فنآوری

معیارهای اصلی در ارزیابی یک فنآوری در تمامی پروسه‌های ایمنی ساختمان ، تولید و ساخت ، حمل و نقل ، نصب و مونتاژ ، بهره برداری و اتمام عمر ساختمان ، موثر بوده و تاثیرگذاری هریک میبایستی تعیین گردد . بعبارت دیگر تبدیل هر یک از معیارهای اصلی ارزیابی از یک مفهوم کیفی و تفصیلی به مفاهیم ریاضی و کمی با کاربرد مهندسی ، بسیار حائز اهمیت خواهد بود و البته پیشنیاز این مهم ، مطالعه و بررسی دقیق و با جزئیات این سه معیار اصلی در ارزیابی و نیز ارتباط بین این معیارها می‌باشد .

ایده مثلث ارزیابی توسط نگارنده و برای اولین بار مطرح می‌گرددکه درشکل شماره (۳) به صورت شماتیک نشان داده شده است . همانطور که ملاحظه می‌شود اضلاع این مثلث را سه معیار اصلی کیفیت ، کمینه سازی هزینه و سرعت تشکیل می‌دهند . قبلا از آنکه به خصوصیات این مثلث پرداخته شود ، لازم است هر یک از اضلاع آن به درستی و کامل تعریف گردد.

۲- ۳- ۱- ضلع معیار کیفیت

این معیار در برگیرنده دو ترم مهم می‌باشد که عبارتند از : الف _ ایمنی فنآوری نوین در قالب یک سیستم ساختمانی کامل ، زیر سیستم اجزاء ساختمانی، مواد و مصالح مصرفی و یا شیوه نوین اجرائی می‌باشد . در این ترم میزان شناخت از خصوصیات رفتاری فنآوری که تامین کننده امنیت جانی و روانی کاربران می‌باشد ، بسیار حائز اهمیت بوده و شرط لازم در بکارگیری فنآوری در صنعت ساختمان است و عدم تامین آن نقش بازدارندگی در قابلیت استفاده از فنآوری را خواهد داشت. این ترم از معیار کیفیت در زیر مجموعه اهداف ایمنی قرار دارد . ب _ کیفیت فنی فنآوری نوین در تامین و ارتقاء مفروضات مهندسی و استانداردهای مربوطه در پروسه های طراحی ، ساخت و تولید ، حمل و نقل ، نصب و مونتاژ و بهره بردای . در واقع این ترم از معیار کیفیت ، تاثیرگذار در سطح کیفیت بهره برداری بوده و در زمره اهداف رقابتی قرارمی‌گیرد. میزان امتیازحاصل از سوالات معیار کیفیت با احتساب ضریب وزنی سوالات، طول ضلع مربوط به کیفیت ، مثلث را تعیین می‌کند.

۲- ۳- ۲- ضلع معیار هزینه ساخت

هزینه تمام شده یک فنآوری نقش بسیار مهم و انکارناپذیر در ارزیابی آن خواهد داشت، منظور از کمینه سازی هزینه های یک فنآوری حداقل نمودن کلیه هزینه های مترتب بر ساخت و تولید در کارخانه یا کارگاه، حمل و نقل و شعاع سرویس دهی کارخانه ، نصب و مونتاژ، بهره برداری، تعمیر و نگهداری، تخریب و بازگشت به چرخه بازیافت می‌باشد. این معیار هر چند در زیرمجموعه اهداف

رقابتی قرار میگیرد ، لیکن نقش موثری در امکان سنجی یک فنآوری بعهده دارد. بی شک این معیار مستقل از دو معیار اصلی دیگر نمی‌باشد که در ادامه به بررسی آن پرداخته شده است . ذکر این نکته ضروریست که در این مقاله منظور از کمینه سازی هزینه به هیچ وجه اقتصاد مسکن نمی‌باشد بلکه آن بخش از اقتصاد را شامل می‌شود که ارتباط مستقیم با احداث یک ساختمان دارد و شامل ترمهایی از قبیل ارزش زمین ، هزینه های زیربنای تامین انبوهی مسکن ، شهرسازی و اقتصاد شهری و از این قبیل را شامل نمی‌شود. . میزان امتیازحاصل از سوالات معیار هزینه ساخت با احتساب ضریب وزنی سوالات، طول ضلع مربوط به هزینه ساخت مثلث را تعیین می‌کند.

۲- ۳- ۳- ضلع معیار سرعت ساخت

در ابتدا ذکر این نکته ضروریست که معیار سرعت در تناسب معکوس با زمان مورد نیاز به منظور طراحی، ساخت و تولید ، حمل و نقل ، نصب و مونتاژ از یک فنآوری در قالب سیستم کامل ساختمانی، زیر سیستم اجزاء ساختمانی ، مواد و مصالح مصرفی و یا شیوه نوین اجرائی خواهد بود و این معیار را در چرخه ارزیابی تعریف میکند ، بعبارت دیگر سرعت ساخت و رساندن فنآوری به بهره برداری تاثیر مستقیم در هزینه های تمام شده داشته و در زمره اهداف رقابتی قرارمی‌گیرد. در این مقوله تاثیر زمان بر ارزش افزوده سرمایه در ایجاد فنآوری مد نظر نمی‌باشد بلکه زمان مورد نیاز از پروسه شروع تا بهره برداری از یک فنآوری مطابق آنچه که بیان گردید ، منظور می‌گردد. میزان امتیازحاصل از سوالات معیار سرعت ساخت با احتساب ضریب وزنی سوالات، طول ضلع مربوط به سرعت ساخت مثلث را تعیین می‌کند.

۲- ۴- اعتبار سنجی مدل

اعتبار سنجی مدل بر اساس ارزیابی ۴۵ فنآوری اجرا شده در کشور و پاسخ ۳۳۰ سوال برای هر فنآوری و انطباق نتایج حاصل از مدل مثلث معیارهای ارزیابی با برداشتهای میدانی از هر یک از فنآوریهای اجرا شده صورت گرفته است.

۲- ۵- شاخصهای ارزیابی

انتظار می‌رود با بکارگیری مدل مثلث معیارهای ارزیابی ، هر فنآوری در جایگاه مشخصی از حیث قابلیت استفاده قرارگیرد و البته در بروز رسانی ارزیابی فنآوریهای نوین ساختمانی احتمال ارتقاء یا تنزل جایگاه نیز وجود دارد . در واقع رشد ، توسعه و اصلاح هر یک از فنآوریهای نوین ارزیابی شده در هر زمان و به روز رسانی آن سبب تغییر در میزان امتیاز کسب شده آن فنآوری و همچنین تغییر در جایگاه آن فنآوری و سایر فنآوری ها در بانک اطلاعاتی موجود و به روز شده خواهد شد. منظور نمودن ویژگیهای منتج به تعیین امتیاز و جایگاه یک فنآوری مستلزم مشخص نمودن اجزاء تشکیل دهنده آن فنآوری خواهد بود . بعبارت دیگر اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی میبایستی دارای محتوی مهندسی برگرفته از انواع فنآوریهای نوین ساختمانی در قالب سیستم ساختمانی کامل ، زیر سیستم اجزاء ساختمانی ، مواد و مصالح مصرفی و یا شیوه نوین اجرائی باشند . بعبارت دیگر ویژگیهای مهندسی ، ارزش کاربردی به هر یک از اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی فنآوری نوین خواهد داد. بنابراین بررسی این ویژگیها بسیار حائز اهمیت بوده و در دو بخش ویژگیهای کلی و ویژگیهای اختصاصی در یک فنآوری نوین مطرح می‌شوند .

۲- ۵- ۱- شاخصهای کلی

۱- سازگاری با آئین نامه ها و مقررات ملی ساختمان در کشور مد نظر و یا سایر آئین نامه ها معتبر دنیا

۲-بهره گیری از مصالح و امکانات موجود کشور و نیز تکنولوژیهای نوین

۳- کیفیت مناسب در ساخت و نصب

۴- نیل به ساخت تمام خودکار و حداقل نمودن عملیات کارگاهی

۵- قابلیت استفاده در تمامی مناطق کشور

۶- تامین نیازمندیهای فیزیکی و فرهنگی بهره برداری در کشور

۷-حداقل بودن هزینه های تعمیر و نگهداری و حفظ پایانی

۸-تخریب و جمع آوری سریع، امکان بازیافت در چرخه صنعت

۹-شعاع سرویس دهی مناسب مناسب کارخانه تولیدی

۱۰- تامین ویژگیها و الزامات زیست محیطی

۱۱- امکان ایجاد فرایند آموزش و یاددهی عملی در گستره وسیع برای عوامل اجرائی

۱۲-تامین شاخص های کلی تولید صنعتی شامل سبک سازی، سریع سازی و آسان سازی

۲- ۵- ۲- شاخصهای اختصاصی فنآوری:

در این پژوهش منظور از سیستم کامل ساختمانی ، سیستمی با اجزاء کامل معماری و سازه می‌باشد ، همچنین زیر سیستم اجزاء

ساختمانی می‌تواند اجزاء کامل معماری ، سازه و یا قسمتی از آنها باشد . در خصوص مواد و مصالح و روش نوین اجرا نیز منظور کلیه مواد و مصالح و روش نوین اجرا بکار گرفته شده در یک سیستم کامل ساختمانی و یا یک زیر سیستم می‌باشد. لذا مبحث مربوط به تاسیسات مکانیکی و برقی مد نظر نبوده و به آن پرداخته نمی‌شود . بطور کلی ویژگیهای مهندسی در هر یک از تقسیم بندی فنآوری نوین بیان شده بعنوان اجزاء اصلی ساختمان به شرح زیر خواهد بود.

۲- ۵- ۳- شاخص‌های ایمنی شامل :

۲-۴-۳-۱-سازه

۲-۴-۳-۲-آتش

۲- ۵- ۴- شاخص‌های بهره برداری شامل :

۲-۴-۴-۱-معماری

۲-۴-۴-۲-انرژی

۲-۴-۴-۳-آکوستیک

با توجه به اینکه ویژگی‌های اختصاصی مبنای بکارگیری معیارهای اصلی ارزیابی فنآوریهای نوین در قالب مدل مثلث معیارهای ارزیابی فنآوری می‌باشد لذا لازم است این ویژگی‌ها نیز همانند ویژگی‌های کلی با جزئیات دقیق زیر تشریح می‌گردد.

۲-۴-۴-۴- سازه

۱-رفتار مشخص سازه ای، قابلیت درک رفتاری برای مهندسین محاسب و ناظران

۲-امکان تحلیل خطی با نرم افزارهای متداول

۳-امکان درج در آئین نامه لرزه ای کشور در آتیه

۴- امکان توسعه در ساختمانهای میان مرتبه

۵-قابلیت ترکیب و تلفیق با سایر سیستم های سازه ای متداول

۶-قابل کاربرد در تمامی پهنه بندیهای لرزه ای کشور

۷-انعطاف پذیری در طرحهای معماری و قابلیت تامین اتصالات مناسب با اجزاء غیر سازه ای

۸-کارائی سیستم در بارهای بهره برداری و فوق العاده و بهینه بودن از حیث طرح و اجرا

۹- توانائی سیستم در تهیه آئین نامه مربوطه

۱۰- امکان مقاوم نمودن در مقابل عوامل خورنده

۱۱- سازگاری با معیارهای بهره برداری

۲-۴-۴-۵-حریق

۱- رفتار مشخص اجزاء در مقابل حریق

۲- تامین الزامات با توجه به تعداد طبقات مورد نیاز

۲-۴-۴-۶- معماری

۱-انعطاف پذیری در ایده ها و طرحهای معماری

۲-قابلیت نصب خشک و یا تر اجزاء

۳- قابلیت اجرای انواع سیستم های تاسیساتی متداول و به روز

۴- پتانسیل بکارگیری در اقلیم های مختلف

۵- قابلیت عدم تاثیرگذاری در رفتار سازه

۶-امکان تعویض، تعمیر و مرمت در اجزاء آسیب دیده

۷-توانائی تنوع پذیری در نما، تغییر موقعیت در جداکننده ها

۸- امکان تامین ویژگی‌های مورد نیاز در مباحث انرژی، آکوستیک

۹- استحکام، حفظ حریم و عملکرد

۲-۴-۴-۷- انرژی

۱- پتانسیل تغییرات با هدف بکارگیری در اقلیم‌های مختلف

۲-رفتار مشخص از حیث انتقال حرارت و بارهای حرارتی

۳- قابلیت استفاده از انرژیهای طبیعی و سیستم‌های هوشمند

۴-سازگاری با طرحهای معماری و سازه

۵- سهولت در حذف و یا اضافه نمودن اجزاء مربوطه

۲-۴-۴-۸- آکوستیک

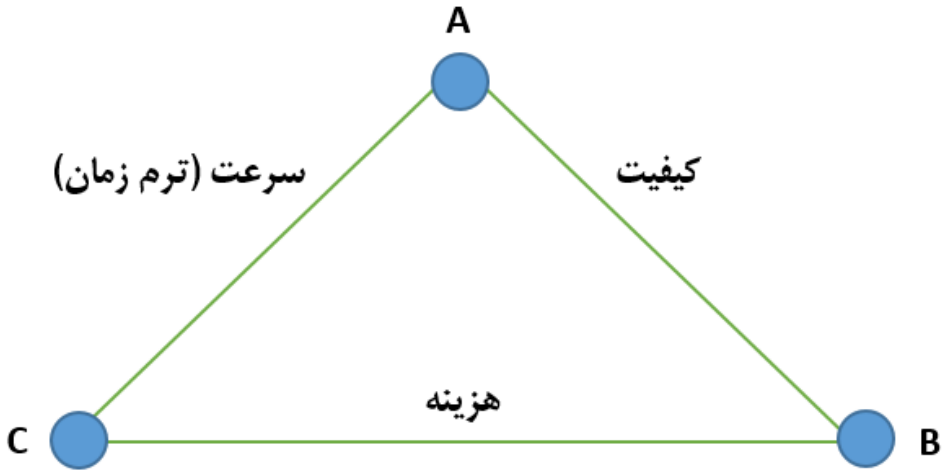
۱- توانایی در ایجاد تمهیدات صدابندی

۲- تامین الزامات صدابرد در فضاها

۳- سازگاری با ویژگی‌های معماری وانرژی

۳- نتایج و بحث

شاخص‌های تشکیل دهنده اضلاع کیفیت ، کمینه سازی هزینه و سرعت مثلث معیارهای اصلی ارزیابی با محتوای مهندسی در بخش قبل تشریح گردید ، حال مهمترین سوال پژوهش مطرح می‌شود و آن عبارتست از : نحوه لحاظ نمودن (در صورت نیاز تبدیل) این



شکل ۴. مدل مثلث معیارهای ارزیابی فنآوری نوین ساختمانی

Fig. 4. Similar model of new construction technology evaluation criteria

سه معیار اصلی به کمیت‌های قابل بیان با علوم ریاضی و مهندسی چگونه است. ؟؟؟ در این قسمت ابتدا یک مدل ریاضی برای بیان اثر هر معیار و نیز نوع ارتباط و وابستگی این سه معیار نسیت به هم ارائه می‌شود . در این مدل مطابق شکل شماره (۴) از یک مثلث با اضلاع سه معیار اصلی ارزیابی کیفیت ، کمینه سازی هزینه و سرعت استفاده می‌شود که برای اولین بار توسط نگارنده ارائه شده است و آنرا مثلث معیارهای ارزیابی فنآوری نوین ساختمانی می‌نامیم. در این مقاله از دو خصوصیت مرتبط با اضلاع مثلث برای این مدل استفاده گردیده است که با توجه به شکل شماره (۴) عبارتند از :

۳- ۱- اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی غیر صفر می‌باشند .

$$AB\,,BC\,,CA\ >0 \qquad (۱)$$

۳- ۲- مجموع طول دو ضلع بزرگتر از یک ضلع می‌باشد.

$$\begin{aligned} &AB+BC>CA \quad ، \\ &BC+CA>AB \quad ، \\ &CA+AB>BC \end{aligned} \qquad (۲)$$

۳- ۳- نسبت یک ضلع به مجموع اضلاع مثلث

$$\begin{aligned} &\lambda = AB/L \ , \\ &\lambda = BC/L \ , \\ &\lambda = CA/L \quad L=AB+BC+CA \end{aligned} \qquad (۳)$$

۳- ۴- اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی غیر صفر می‌باشند.

$$\mathrm{AB}\,,\mathrm{BC}\,,\mathrm{CA}\ >0 \qquad (۴)$$

این ویژگی جزء لاینفک تعریف یک مثلث است ، حال از این مفهوم اصلی در قالب اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی فنآوری نوین ساختمانی استفاده خواهیم نمود . قبل از پرداختن به توصیف شرایط هر یک از اضلاع در این ویژگی مثلث ، شایسته است بدانم چنانچه در یک فنآوری نوین هر یک از اضلاع مثلث مورد بحث صفر شود ، مثلث تعریف خود را از دست خواهد داد و این مهم هشدار بازدارندگی در خصوص آن فنآوری خاص بود . در ادامه گروه بندی عوامل منتج به ضلع صفر در این مثلث ارائه و تشریح می‌گردد.

در این خصوص برای یک فنآوری دو سناریو رخ می‌دهد ، سناریو اول عدم تامین ایمنی ساختمان مرتبط با فنآوری مورد بحث می‌باشد که در دو ترم ایمنی سازه و ایمنی آتش مطرح می‌گردد و بدان معناست که فنآوری مورد بحث دادهای لازم برای تامین یکی از این دو ترم ایمنی را ندارد، لذا بررسی آن مجاز نبوده و قابلیت استفاده در صنعت ساختمان را ندارد، در نتیجه ضلع کیفیت در مدل مثلث ارزیابی صفر خواهد شد . در سناریو دوم فنآوری توانایی تامین ایمنی را دارد لیکن رعایت الزامات و مقررات فنی و نیز ارتقاء سطح کیفی فنآوری مستلزم انجام پیچیدگی‌های است که خارج از حوصله مهندسی در عملیات ساخت و تولید ، مواد و مصالح و شیوه اجرا می‌باشد و این امر سبب می‌گردد تا این ضلع از مثلث ارزیابی بسیار کوچک گردد ، بطورئیکه از نظر مهندسی می‌توان آنرا صفر منظور نمود . در خصوص ابزارهای اندازگیری معیار کیفیت که همانا تعیین طول مثلث می‌باشد در ادامه بطور مفصل بحث و بررسی خواهد شد .

۳- ۴- ۱- ضلع معیار کمینه سازی هزینه صفر گردد

یکی از اهداف استفاده از فنآوریهای نوین حداقل نمودن هزینه های احداث یک بنا می‌باشد ، بدیهی است کاهش بهینه هزینه ها از مهمترین و چالش برانگیزترین پارامترهای تعیین کننده یک پروژه در صنعت ساختمان می‌باشد . بی شک وجود این معیار در ارزیابی یک فنآوری نوین ساختمانی دارای آثار قابل توجه در میزان ریسک و یا موفقیت یک پروژه خواهد داشت . یک فنآوری می‌تواند نقش موثری در کمینه سازی هزینه های یک پروژه داشته باشد و یا تاثیر آن کمتر باشد و یا حتی اثر منفی داشته و سبب افزایش هزینه های پروژه گردد ، با تبدیل این حالات توصیفی به کمیت‌های قابل تعیین ، ضلع معیارکمینه سازی هزینه تعریف می‌شود . بدیهی است چنانچه ویژگی‌های کمی این معیار نتوانند در کمینه سازی هزینه ها موثر باشند باعث کوچک شدن این ظلع از مثلث ارزیابی خواهند شد و چنانچه کاهش ضلع مثلث قابل ملاحظه باشد بطوریکه سبب ایجاد یک مثلث لاغر گردد ، عملا این ضلع از مثلث به طول صفر نزدیک خواهد شد و از نظر مهندسی معیار فوق بی اثر بوده و ضلع مثلث صفر فرض می‌شود.

۳- ۴- ۲- ضلع سرعت صفر گردد

سرعت اجرای یک فنآوری نوین تاثیرگذار در مدت زمان احداث ساختمان خواهد بود و البته این مهم بستگی به نوع فنآوری نیز خواهد داشت چرا که فنآوری نوین می تواند یک سیستم کامل ساختمانی ، زیر سیستم اجزاء ساختمانی ، مواد و مصالح مصرفی و یا شیوه نوین اجرائی باشد اما تاثیر هر یک در مقیاس محدود کاربری آن ملاک عمل خواهد بود . بدیهی است هر چه سرعت اجرای فنآوری بیشتر باشد ، مدت زمان تحمیل شده بر پروژه کمتر خواهد شد . نقش سرعت در بکارگیری یک فنآوری به عوامل مهمی از جمله میزان تولید در کارخانه و شعاع سرویس دهی، حمل و نقل ، لزوم بکارگیری میزان ، نوع تجهیزات نصب و مونتاژ ، اقلیم و جغرافیای محل پروژه بستگی دارد ، بنابراین تبدیل این پارامترها به کمیت قابل ارزیابی در برنامه زمانبندی تفصیلی و ساختار شکن ، بسیار مهم خواهد بود و البته میزان طول ضلع سرعت در مثلث ارزیابی را نیز تعیین خواهد نمود . هرچه این طول کوچکتر باشد اثر سرعت در ارزیابی کم رنگ تر و هر چه بیشتر باشد نقش برجسته ای در معیارهای ارزیابی بعهده خواهد داشت . چنانچه زمان اجرای فنآوری بگونه ای باشد که سبب ایجاد گره هایی در روند پروژه گردد بگونه ای که اثر نامطلوب بر زمان انجام پروژه بگذارد ، حاصل آن در کاهش طول این ضلع از مثلث ارزیابی خود را نشان خواهد داد . و اگر این اثر قابل ملاحظه باشد می تواند طول این ظلع را به مقدار ناچیزی کاهش دهد که عملا به صفر نزدیک خواهد بود .

۳- ۵- مجموع طول دو ضلع از مثلث بزرگتر از ضلع دیگر می باشد.

$$\begin{aligned} AB + BC > CA \quad &، \\ BC + CA > AB \quad &، \\ CA + AB > BC \end{aligned} \qquad (۵)$$

در ایده مثلث معیارهای ارزیابی ، یکی از خصوصیات بارز مورد استفاده بکارگیری قضیه بیان شده در این بخش می‌باشد ، این موضوع در ارزیابی یک فنآوری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این رابطه تنها در صورتی نقض می‌شود که یکی از اضلاع مثلث صفر گردد و یا بسیار کوچک و نزدیک به صفر باشد که حالات مختلف آنرا در بند ۱ بررسی کردیم . بعبارت دیگر نقض یکی از این روابط در خصوص یک فنآوری نوین به منزله آنست که فنآوری قابلیت استفاده خود را از دست می‌دهد و یا اینکه بکارگیری این فنآوری توام با ریسک بالا خواهد

شکل ۵. تصویر شمایک از مثلث ارزیابی برای یک فنآوری پر ریسک

Fig. 5. Your image is an evaluation triangle for a risky technology

بود. در شکل شماره (۵) تصویر شماتیک از این اصل نشان داده شده است . همانطور که ملاحظه می‌شود، برای یک فنآوری مشخص هر مقدار که مثلث ارزیابی لاغر و کشیده باشد ، ریسک بکارگیری آن فنآوری بیشتر خواهد بود. در بند ۳-۳ مقاله بطور دقیق به بررسی مثلث پر ریسک پرداخته شده است. البته ذکر این نکته ضروریست با توجه به ارزش وزنی هر یک از سه اضلاع معیار ارزیابی، مثلث ایجاد شده برای یک فنآوری در حالت کلی با اضلاع نامساوی خواهد بود .

۳- ۶- نسبت یک ضلع به مجموع اضلاع مثلث

$$\lambda = AB/L \ , \quad L = (AB + BC + CA) \qquad (۶)$$

این رابطه در مدل مثلث معیارهای ارزیابی یک فنآوری نوین ، کاربرد مهندسی در تامین اهداف رقابتی خواهد داشت که در بند ۲-۱-۲ مقاله به تشریح آن پرداخته شده است. مقدار نسبت بیان شده در رابطه (۳) می تواند بین ۰ و ۰/۵(بجز خود ۰/۵) قرارگیرد . مقدار صفر این پارامتر چنانچه صورت کسر ضلع مربوط به معیار کیفیت در ارزیابی باشد به منزله عدم تامین ایمنی ساختمان مرتبط با فنآوری مورد بحث میباشد که در بند ۱-۱-۳ به تفسیر به ان پرداخته شده است و مطابق رابطه شماره (۴) بیان می‌شود ، اما تعریف این پارامتر در حوزه تامین اهداف رقابتی مد نظر است و اهداف ایمنی را شامل نمی شود ، بنابر این مقدار صفر در آن معنا نخواهد داشت . از طرفی مقدار این پارامتر ۰/۵ هم نمی‌تواند باشد چرا که در اینصورت تعریف مفهومی مثلث نقض می‌شود که در بند ۲-۳ بررسی گردیده است .

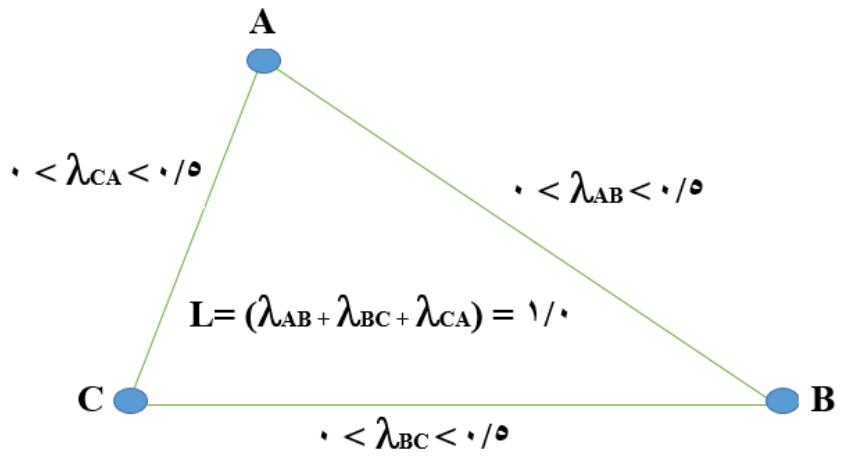
$$\lambda = AB/L \ , \quad \lambda = BC/L \ , \quad \lambda = CA/L \quad L = AB + BC + CA \qquad (۷)$$

هدف از طرح این پارامتر ، ارائه معیاری از ریسک مهندسی در استفاده یک فنآوری می‌باشد و آنرا پارامتر ریسک در اهداف رقابتی مینامیم که به اختصار پارامتر ریسک بیان می‌شود. بنابر این مقدار پارامتر ریسک در محدوده رابطه شماره (۸) قرار می‌گیرد.

$$0 < \lambda < 0/5 \qquad (۸)$$

مقدار این پارامتر پارامتر ریسک برای هر ضلع از مثلث معیار ارزیابی، متغیر است لیکن برای هر فنآوری شرط رابطه (۶) یک شرط اصلی بوده و قابل نقض نمی‌باشد . بعبارت دیگر با ارائه این پارامتر مثلث معیارهای ارزیابی به یک مثلث با طول اضلاع نرمال شده مطابق شکل شماره (۶) خواهد بود.

$$\lambda AB + \lambda BC + \lambda CA = 1 \ , 0 < \lambda < 0/5 \qquad (۹)$$



شکل ۶. تصویر شمایک از مثلث نرمال شده معیارهای ارزیابی در یک فنآوری

Fig. 6. Your image is a normalized triangle of evaluation criteria in a technology

از رابطه شماره (۹) و شکل شماره (۶) می‌توان استنباط نمود که هر چه طول یک ضلع از مثلث ارزیابی نرمال شده به صفر نزدیک شود، سبب لاغری این مثلث شده و نشاندهنده پر ریسک بودن فنآوری مورد ارزیابی می‌باشد.

از طرفی طول سه ضلع مثلث نرمال شده در محدوده رابطه شماره (۶) می‌تواند هر مقدار باشد، هر چند مقدار طول هر یک از این سه ضلع تابعی از شاخص‌های ارائه شده در بند ۴-۲ خواهد بود. در واقع کمیتهای حاصل از ارزیابی شاخص‌های کلی و اختصاصی در محتوای هر یک از اضلاع معیار ارزیابی کیفیت ، کمینه سازی هزینه و سرعت شکل گرفته و متبلور خواهد شد.

۴- نتیجه گیری

مقاله حاضر بخشی از یک پژوهش جامع در زمینه " ارزیابی فنآوریهای نوین ساختمانی " توسط نگارنده می‌باشد که در چند مقاله ارائه خواهد شد. این مقاله نشان می‌دهد که با ابزارهای کمی قابل اطمینان و مدل ریاضی ارائه شده توسط نگارنده ، می‌توان فنآوریهای نوین ساختمانی را در دو بخش اهداف ایمنی و رقابتی ارزیابی نمود .

و نکته بارز عملکرد بازدارندگی در صورت عدم تامین هدف ایمنی می‌باشد که قابلیت استفاده را از فنآوری سلب می‌نماید. همچنین عملکرد هدف رقابتی در مقایسه با سایر فنآوریها و کسب امتیاز کمی ، عامل موفقیت یا عدم موفقیت یک فنآوری خواهد بود. بر اساس مطالعه انجام شده نتایج زیر بدست آمده است :

۱-مدل مثلث معیار ارزیابی فنآوریهای نوین در سه ضلع کیفیت ، کمینه سازی هزینه و سرعت ارائه گردید که بیانگر شاخص‌های کاربری و مهندسی در یک فنآوری می‌باشد .

۲-شاخصهای ارزیابی در قالب شاخصهای کلی و اختصاصی ارائه و گروه بندی شاخصهای اختصاصی در گروه اصلی ایمنی (با زیر گروهای سازه و حریق) وگروه اصلی بهره برداری(با زیرگروهای معماری ، انرژی و آکوستیک) تعیین گردید.

۳-ضلع مربوط به کیفیت فنآوری نوین در مثلث معیار ارزیابی از دو بخش ایمنی و رقابتی تشکیل می‌شود که عدم تامین ایمنی (سازه و حریق) در یک فنآوری سبب می‌گردد تا در ارزیابی کمی طول ضلع کمیت صفر گردد و مثلث تعریف خود را از دست می‌دهد و این به معنای بازدارندگی و منع استقاده از فنآوری نوین در صنعت ساختمان می‌باشد.

۴- مثلث نرمال شده ارزیابی با منظور نمودن پارامتر ریسک برای معیارهای ارزیابی با اهداف رقابتی بکار برده می‌شود که در آن اولا : طول هر یک از سه ضلع کمیت ، هزینه و سرعت با پارامتر ریسک آن معیار مشخص می‌شود که مقدار آن بین صفر و ۰/۵ قرارمی‌گیرد (بجز صفر و ۰/۵) ثانیا : مجموع طول اضلاع این مثلث برابر ۱/۰ می‌باشد .

۵-مطابق مدل مثلث نرمال شده ارزیابی هر چه پارامتر ریسک برای یک ضلع این مثلث به صفر نزدیکتر باشد ، سبب ایجاد یک مثلث لاغر گردیده و بکارگیری فنآوری را پر ریسک می‌نماید.

۵- فهرست علائم

علائم انگلیسی

AB طول ضلع کیفیت در مثلث ارزیابی

BC طول ضلع هزینه ساخت در مثلث ارزیابی

CA طول ضلع کیفیت سرعت ساخت در مثلث ارزیابی

L مجموع اضلاع مثلث ارزیابی

علائم یونانی

λ پارامتر ریسک مثلث نرمال شده ارزیابی

منابع

[1] Eduard Hromada , Stanislav Vitasek , Jakub Holcman, Renata Schneiderova Heralova and Tomas Krulicky, “Residential Construction with a Focus on Evaluation of the Life

[2] Cycle of Buildings” Buildings 2021, 11, 524. https://doi.org/10.3390/buildings11110524

[3] Petri Uusitalo & Rita Lavikka . (2021) “Technology transfer in the construction industry” The Journal of Technology Transfer 46, pages 1291–1320 (2021)

[4] Mona Afifi , Ahmed Fotouh , Mohamed Al-Hussein & Simaan Abourizk , “Altmetric “Integrated lean concepts and continuous/discrete-event simulation to examine productivity improvement in door assembly-line for residential buildings “ , International Journal of Construction Management Pages 2423-2434 | Published online: 04 Aug 2020

[5] Sobek, Werner “Nachhaltiges Bauen mit Stahl - Aufgabe für Architekten und Ingenieure”. Lecture held at the Internationaler Architektur-Kongress. Essen, Germany. Jan 13, 2010.

[6] ABB AG , Smart Home and Intelligent Building Control , Energy Efficiency in Buildings with ABB i-bus® KNX, , www.abb.com/knx , Germany, 2009 .

[7] Gambin, L. et al., Sector Skills Insights: Construction. Evidence Report 50. UKCES, London , 2012

[8] Brinkley, M. SIPs: The New Build Standard. Homebuilding and Renovating, January , 2012.

[9] ORNL, Building Technologies Research and Integration Center, ORNL, Oak Ridge, Tennessee, 2013, www.ornl.gov/sci/ees/etsd/btric/.

[10] 4th International Conference and Exhibition on New Findings of Civil, Architectural and Iran Building Industry Ircivil 2019

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

R. Ahmadi, Determining the main criteria and presenting a mathematical model in the evaluation of new construction technologies, Amirkabir J. Civil Eng., 56(1) (2024) 91-104.

DOI: 10.22060/ceej.2024.22095.7902

این صفحه عمداً خالی است