

Environmental, economical, technical and operational assessments of common types of separating wall systems in Iran using Analytical Hierarchy Process (AHP)

H. Madadi Ghallehzoo, S. Danesh, M. Tavakkolizadeh*

Civil Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran

ABSTRACT: The construction techniques and types of materials used in construction sites are very important considering mechanical, environmental and economic issues. Separating different parts of a building from each other and protect the interior space from the outside environment requires effective walls. To satisfy the needs of construction projects such as lowering the cost, increasing the speed and minimizing the overall energy consumption of building, construction material industries produce and introduce different types of separating walls for buildings. This research was conducted to assess the environmental, economical, technical and operational impacts of different types of separating walls. Five different types of walls, including solid clay (SC) bricks, hollow clay (HC) blocks, autoclaved aerated concrete (AAC) blocks, three-dimensional (3D) sandwich panels and gypsum boards were investigated in this regard. The goal was to find the most effective type of separating wall among the choices investigated. Each of the fore-mentioned criteria were divided into several sub-criteria, and the Analytical Hierarchy Process (AHP), as one of the best-known multi-criteria decision-making methods, was implemented in the assessments. Evaluations were based on both qualitative and quantitative criteria. Technical data and information were used for quantitative criteria and different types of questionnaires were developed regarding the qualitative criteria. The results of this study, based on all criteria, showed that the gypsum board with the relative priority value of 0.368, is the best choice between the assessed separating walls. The calculated relative priority values of AAC blocks, HC blocks, SC bricks, and 3D panels were 0.177, 0.152, 0.151 and 0.144 respectively.

Review History:

Received: 2018-11-25

Revised: 2019-01-10

Accepted: 2019-02-04

Available Online: 2019-02-16

Keywords:

Analytical hierarchy process

Environmental impacts

Economical impacts

Technical and Operational impacts

Separating wall systems

1. INTRODUCTION

Separating walls are among the essential parts of any building. Nowadays, there are many separating wall systems in Iran construction industry, which compete against each other. Different parameters such as quality, cost, speed of installation and environmental impact should be compared to make the proper selection.

Several questions need to be answered to enable customers to pick the suitable separating wall system that can meet their needs. The main reason that most of these questions were answered in the Iran market is that no study focused on the assessment criteria of the separating wall systems; and in spite of the importance of this issue, there is no significant and accurate comparative analysis about separating wall systems in the country.

This research compared and assesses different common separating wall systems in Iran concerning environmental, economic, technical, and operational points of view. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to develop a comparison model. The evaluated separating wall systems are shown in Figure 1.

*Corresponding author's email: drt@um.ac.ir

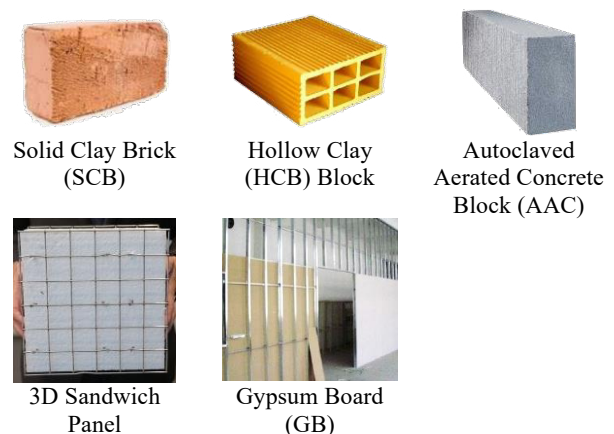


Fig. 1. The evaluated separating wall systems

2. RESEARCH METHODOLOGY

AHP is a powerful Multiple Criteria Decision Making (MCDM) research method. In AHP, after setting up the goals, assessment criteria and sub-criteria develop to compare different choices. By using paired comparison matrices, the

Table 1. Criteria and sub-criteria

Criteria	Sub-criteria	Assessed factors
Environmental	Energy Consumption	* Specific Energy Consumption (SEC) [1]
	Water Consumption	* Water Consumption in the process of producing materials + Water Consumption during the installation phase
	CO ₂ Emissions	* CO ₂ Emissions resulted from the thermal and electrical energy used in the production phase + Produced CO ₂ as a result of Cement Consumption during the installation phase [2]
	Thermal Resistance	* Thermal Resistance of alternatives as an external wall
Economical	Purchase and Transfer Cost	* Based on the National price list of Plan and Budget Organization [3]
	Human Source Cost	
	Machinery and Equipment Cost	
Technical	Weight	* According to the details and the specific weight of the wall
	Thickness	* According to the details and the thickness of the wall components (in both internal and external walls)
Operational	Simplicity of the installation phase	* Using the questionnaire
	Installation phase speed	* Based on the National price list of Plan and Budget Organization [4]

Table 2. The relative values of the criteria and sub-criteria of the first and second levels

Criteria	RV**	Sub-criteria	RV**
Environmental	0.13	Energy Consumption	0.252
		Water Consumption	0.288
		CO ₂ Emissions	0.217
		Thermal Resistance	0.243
Economical	0.42	Purchase/Transfer Cost	0.617
		Human Source Cost	0.263
		Equipment Cost	0.120
Technical	0.22	Weight	0.834
		Thickness:	0.166
		As an internal wall	0.865
		As an external wall	0.135
Operational	0.23	Simplicity of installation	0.478
		Installation phase speed:	0.522
		As an internal wall	0.192
		As an external wall	0.808
** Relative Value			

relative values of each factor are estimated. Finally, the overall composite value of each factor is estimated based on obtained relative values. Table 1 illustrates the criteria and sub-criteria of this research.

Since some of the criteria and sub-criteria are qualitative, a few online questionnaires were developed and distributed using the Google Docs' program. These questionnaires were sent to more than 80 civil engineering faculty members,

practicing engineers and top executives all over Iran.

3. RESULTS AND DISCUSSION

After collecting the experts' responses to the qualitative parameter questionnaires, the relative values of the environmental, economical, technical and operational criteria and sub-criteria were obtained. These attainments are presented in Table 2

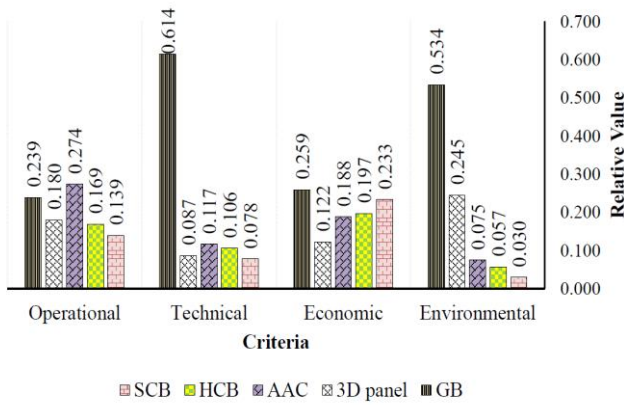


Fig. 2. Relative values of different alternatives

A close look at this table reveals that from the experts' point of view, water consumption, purchase and transfer cost, weight, and installation phase speed of wall systems were the most important sub-criteria of environmental, economic, technical and operational aspects, respectively.

4. DATA ANALYSIS

Based on quantitative and qualitative parameters and considering the relative value of the alternatives in the sub-criteria and its relation to the criteria, alternatives were ranked, as shown in Figure 2.

According to Figure 3, to determine the optimum alternative, the overall composite values of each alternative choice should be obtained. These values were calculated based on the relative value of alternatives in each sub-criterion regarding their relation to the priorities and goals.

5. CONCLUSION

The low rank of SCB & HCB showed that traditional separating wall systems are not favorable in the market anymore. On the other hand, the slight difference between the values of these two alternatives suggested that, despite general beliefs, the supply and production of HCB did not make any

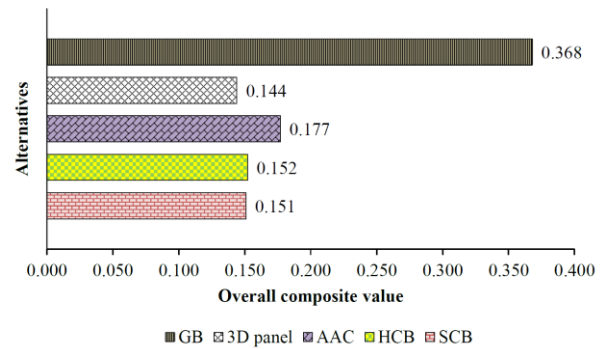


Fig. 3. The final ranking of various separating wall systems

significant effect in selecting these separating wall systems.

One of the most interesting outcomes of this study was that 3D Panel systems were the least favorite systems among all alternatives. Even lower than the SCB and the HCB. This system ranked second in both environmental and technical views. However, due to Maintaining the lowest rank in the economic factor, its overall rank dropped to the lowest. This could be an alarming factor that showed, not all innovative solutions could become attractive in the market if they did not consider economic issues and overall operating costs.

REFERENCES

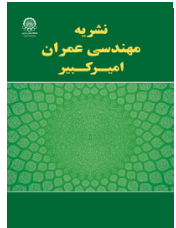
- [1] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, ISIRI. NO. 7965: Building Bricks-Criteria for Energy consumption in production processes. 2011. (In Persian).
- [2] Iran Ministry of Power, Electricity and Energy Dept. Office of Planning for Electricity and Energy. Energy Balance Sheet 2011. Tehran. Iran. 2011. (In Persian).
- [3] Presidency Islamic Republic of Iran, Plan and Budget Organization. Base unit prices of building constructions. 1st pub, Tehran, Iran. 2011. (In Persian).
- [4] Presidency Islamic Republic of Iran, Plan and Budget Organization. No. 22/F/109559: The Analysis of Base unit prices of building constructions. 1st Rev, Tehran, Iran. 2010. (In Persian).

HOW TO CITE THIS ARTICLE

H. Madadi Gholleh-zoo, S. Danesh, M. Tavakkolizadeh, Environmental, economical, technical and operational assessments of common types of separating wall systems in Iran using Analytical Hierarchy Process (AHP), Amirkabir J. Civil Eng., 52(5) (2020) 327-330.

DOI: 10.22060/ceej.2019.15317.5885





ارزیابی زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی انواع سیستم‌های رایج دیوارچینی در ایران، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

هادی مددی قله‌زو^۱، شهناز دانش^۲، محمدرضا توکلی‌زاده*

گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۰۹-۰۴

بازنگری: ۱۳۹۷-۱۰-۲۰

پذیرش: ۱۳۹۷-۱۱-۱۵

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۱۱-۲۷

کلمات کلیدی:

دیوارهای ساختمانی
روش تحلیل سلسله مراتبی
اثرات زیست محیطی
معیارهای اقتصادی
معیارهای فنی و اجرایی

خلاصه: نیاز روز افزون ساختمان‌سازی و مصرف بالای انرژی در این بخش از یک سو و اهمیت محیط زیست و توسعه پایدار از سوی دیگر، ضرورت تأمل بیشتر در انتخاب روش‌های ساخت و نوع مصالح مصرفی در این صنعت را یادآور می‌شود. دیوارها به عنوان تقسیم‌کنندگان فضای داخلی و محافظان حریم پیرامونی، از جمله مهمترین اجزاء ساختمانی هستند. با توجه به اهمیت استفاده‌ی حداکثر از فضا، صرف‌کمترین هزینه و افزایش سرعت اجرا، تولیدکنندگان به ارائه‌ی انواع مختلفی از مصالح سازنده‌ی دیوار پرداخته‌اند. بدیهی است که در چنین شرایطی، ارزیابی و سنجش گزینه‌های موجود به روشی علمی، کمک‌شایانی به صنعت ساختمان کشور خواهد کرد. تحقیق حاضر بدین منظور، با در نظر گرفتن چهار معیار «زیست محیطی»، «اقتصادی»، «فنی» و «اجرایی»، به بررسی و انتخاب گزینه‌ی بهینه‌ی دیوارچینی از میان پنج گزینه‌ی رایج «آجرهای فشاری»، «بلوک‌های سفالی»، «بلوک‌های بتن سبک گازی»، «پانل‌های سه بعدی» و «صفحات گچی» پرداخته است. بر این اساس به جهت ارزیابی گزینه‌های موجود، ابتدا هر یک از معیارها به چندین زیرمعیار تقسیم شدند؛ و از آنجا که تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای کمی و کیفی متعدد، نیازمند روش‌های علمی و قابل اطمینان است؛ از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به عنوان یکی از بهترین روش‌های ارزیابی چند معیاره، استفاده شد. نتایج تحلیل‌ها دلالت بر آن دارد که از میان گزینه‌های مورد بررسی، صفحات گچی با امتیاز نسبی ۰/۳۶۸ بهترین گزینه‌ی دیوارچینی هستند؛ همچنین، امتیاز نسبی بلوک‌های بتن سبک گازی، بلوک‌های سفالی، آجرهای فشاری و پانل‌های سه بعدی به ترتیب برابر ۰/۱۷۷، ۰/۱۵۲، ۰/۱۵۱ و ۰/۱۴۴ به دست آمدند.

۱- مقدمه

طیف گسترده‌ای از گزینه‌ها با ویژگی‌های متفاوت را در بر می‌گیرند. رقابت میان سیستم‌های مختلف دیوارچینی تا به آن حد است که علی‌رغم عرضه‌ی گزینه‌های نوین و پیشرفته، سیستم‌های سنتی هنوز به حیات خود ادامه می‌دهند و حاضر به بازنشستگی نیستند. شاید یکی از دلایل این سماجت، عدم سنجش و محک طرفین رقابت و مشخص کردن ارزش و قدر و اندازه‌ی هر یک از آنهاست. بر همین اساس انجام مطالعات مقایسه‌ای می‌تواند به این مهم کمک فراوانی نماید. از سوی دیگر نیز با توجه به تنوع سیستم‌های موجود در بازار، فرآیند انتخاب گزینه‌ی بهینه، با در نظر گرفتن تمامی معیارهای مؤثر و ارزشمند، دارای اهمیت بالایی است.

جدا از بحث‌های فنی، انتقال بخش قابل توجهی از دیوارهای ساختمانی از گروه «بارهای مرده» به گروه «بارهای زنده»، در ویرایش‌های جدیدتر مقررات ملی ساختمان؛ نشان دهنده‌ی اهمیت این بخش ساختمانی به‌عنوان جزئی زنده و پویاست. شرایط و ویژگی‌های بازار مسکن و همچنین اولویت‌های گوناگون ساختمان‌سازان در فرآیند ساخت؛ تولیدکنندگان مصالح را به ارائه‌ی انواع مختلفی از سیستم‌های دیوارچینی متمایل کرده است. این سیستم‌ها

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: drt@um.ac.ir



۱-۱- هدف تحقیق

مطالعات کتابخانه‌ای نشان می‌دهند که علی‌رغم اهمیت این موضوع، هنوز آنچنان که شایسته است بررسی‌های مقایسه‌ای میان سیستم‌های مختلف دیوارچینی صورت نگرفته و جایگاه تحقیقاتی در این زمینه خالی است. تحقیقاتی که با کاربرد ابزارهای روشمند تصمیم‌گیری به سراغ سیستم‌های رایج دیوارچینی رفته و ارزش واقعی هر سیستم را مشخص نمایند. به همین جهت، تحقیق حاضر، گامی کوچک در این مسیر است.

هدف این تحقیق مقایسه و امتیازدهی به انواع سیستم‌های رایج دیوارچینی در ایران، با در نظر گرفتن چهار معیار: «زیست محیطی»، «اقتصادی»، «فنی» و «اجرایی» است. برای دستیابی به هدف مذکور، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۱) به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM^۲) استفاده شده است؛ تا به کمک آن از بین پنج گزینه‌ی رایج دیوارچینی شامل: «آجرهای فشاری»، «بلوک‌های سفالی»، «بلوک‌های بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC^۳) یا بتن گازی»، «پانل‌های سه بعدی» و «صفحات روکش دار گچی»، بهترین گزینه تعیین و معرفی گردد.

۱-۲- سوابق پژوهشی

امروزه مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، از جمله روش AHP کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف دارند که از آن جمله می‌توان به موارد استفاده در زمینه‌های پزشکی، نساجی، بازاریابی، صنعت توریسم و خودروسازی، اشاره نمود. از نمونه‌های کاربرد روش AHP در ارزیابی‌های زیست محیطی - عمرانی، می‌توان به استفاده از آن در یافتن مکان‌های مناسب جهت دفن پسماندها [۱] و زباله‌های شهری [۲]، انتخاب فرآیندهای بهینه‌ی تصفیه فاضلاب شهری [۳] و صنعتی [۵]، و همچنین انتخاب مناسب‌ترین سیستم کاهش آلودگی هوا [۶] اشاره نمود.

غالب پژوهش‌های مقایسه‌ای انجام شده در صنعت ساختمان، تنها بر ارزیابی اثرات زیست محیطی و چرخه‌ی طول عمر (LCA^۴) مواد و مصالح متمرکز بوده‌اند. بنحوی که ارزیابی‌های این پژوهش‌ها

- 1 Analytical Hierarchy Process
- 2 Multiple Criteria Decision Making
- 3 Autoclaved Aerated Concrete Masonry Units
- 4 Life Cycle Assessment

عمدتاً به صورت تک عاملی و بدون در نظر گرفتن زمینه‌های متعدد مرتبط با موضوع هستند. از سوی دیگر زیرمعیارهای زیست محیطی در نظر گرفته شده در این پژوهش‌ها بیشتر معطوف به اثرات چرخه‌ی تولید مصالح بر پدیده‌ی گرمایش جهانی و همچنین آلودگی منابع آب سطحی است. از جمله پژوهش‌های انجام شده با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در صنعت ساختمان می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

رضا و همکاران [۷] در آمریکا با استفاده از روش AHP به ارزیابی سه گزینه‌ی رایج جهت استفاده در سقف‌های تیرچه‌ای پرداختند. این گزینه‌ها شامل: بتن، فوم‌های پلی‌استایرن و بلوک‌های آجری رسی بودند. معیارهای در نظر گرفته شده در پژوهش آن‌ها به سه گروه اثرات زیست محیطی، اثرات اقتصادی و اثرات اجتماعی - سیاسی محدود شده بود؛ که در بخش زیست محیطی هفت زیرمعیار شامل: مصرف مواد اولیه، میزان پرت مصالح، مواد زائد، تغییرات آب و هوا، میزان مصرف انرژی جهت تولید مواد، میزان هدر رفت انرژی و ایمنی حین ساخت و اجرا، در نظر گرفته شده بود. در انتها نتایج تحقیق نشان داد که بلوک‌های فوم پلی‌استایرن از نظر شاخص‌های پایداری و بلوک‌های بتنی از نظر معیارهای زیست محیطی بهترین گزینه‌ها هستند.

در ایران نیز آکوچکیان و خلعتبری [۸] با کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP^۵) به بررسی معیارها و زیرمعیارهای دارای اهمیت در انتخاب مصالح جداره بیرونی ساختمان‌های مسکونی واقع در اقلیم گرم و خشک ایران پرداختند. آنها بدون آنکه سیستم‌های دیوارچینی خاصی را مدنظر و مبنای مقایسه قرار داده باشند؛ با استفاده از پرسشنامه نظر حدود ۱۰۰ نفر از معماران آشنا به حوزه‌ی مصالح را جهت ارزش‌گذاری و رتبه بندی میان پنج معیار اصلی جویا شدند. به عبارت دیگر تمامی مقایسه‌های انجام شده در این تحقیق به صورت کیفی و با استفاده از پرسشنامه انجام گرفته است. معیارهای اصلی تحقیق آنها شامل: معیار حسی - زیبایی‌شناسی، زیست محیطی، انرژی، اجتماعی - اقتصادی و معیار فنی بود که به ۱۶ زیرمعیار سطح اول و ۲۰ زیرمعیار سطح دوم تقسیم می‌شدند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌داد که از نظر خبرگان معماری مورد پرسش قرار گرفته، معیار انرژی دارای بالاترین درجه از اهمیت است و معیارهای

گزینه‌ها از روش TOPSIS^۴ استفاده شد. در نهایت نتایج تحقیق نشان داد که کارخانه‌هایی با سوخت مصرفی نفت، میزان ذرات معلق و مونواکسید کربن دودکش بالاتری دارند. نتایج حاصل از سنجش صوت نیز نشان داد که در مقایسه با استاندارد صدا در مناطق صنعتی، میانگین صوت در گزینه‌های مورد بررسی کمتر از مقدار استاندارد است. محزون و مقدم [۱۲] با در دست داشتن گزینه‌هایی جهت بهسازی ساختمان‌های مصالح بنایی غیر مسلح شامل: تقویت دیوارهای مصالح بنایی به وسیله شاتکریت، اجرای دیوار برشی و یا نوارهای FRP^۵، تقویت خارج از ساختمان توسط سازه‌ی فولادی، افزودن قاب بتنی و افزودن دیوار برشی، به کمک روش AHP کوشیدند بهترین گزینه‌ی موجود را مشخص و معرفی نمایند. نتیجه‌ی نهایی ارزیابی، حاکی از اولویت انتخاب گزینه‌ی تقویت ساختمان با استفاده از شاتکریت دیوارهای مصالح بنایی بود. در پژوهش دیگری، رمضانیان و بحرکاظمی [۱۳] دیوارهای بیرونی ساختمان را مبنای تحقیق خود قرار دادند. آن‌ها پس از مدنظر قرار دادن چهار نوع دیوار بیرونی عایق‌بندی شده‌ی حرارتی؛ به وسیله‌ی پرسش‌نامه‌هایی که میان ده نفر از مهندسين ساختمان توزیع گردید، بهترین جانشین دیوار بیرونی از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی را شناسایی نمودند. گزینه‌های دیوار بیرونی در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل: «بلوک سیمانی - پشم معدنی - آجر»، «بلوک سیمانی - فوم پلی‌استایرن - آجر»، «بلوک سیمانی - پشم معدنی - لایه‌ی نازک گچ» و «بلوک سیمانی - فوم پلی‌استایرن - لایه‌ی نازک گچ»، بودند. معیارهای در نظر گرفته شده نیز شامل: هزینه‌ی ساخت دیوار، عایق حرارتی بودن دیوار، وزن دیوار، دوام دیوار و نفوذپذیری کم در مقابل بخار بود. در نهایت گزینه‌ی بلوک - فوم - آجر، به‌عنوان مناسب‌ترین دیوار از این منظر انتخاب گردید.

۲- مبانی و روش‌ها

مبانی و روش‌های تحقیق حاضر را می‌توان در چهار بخش «گزینه‌های مورد ارزیابی»، «روش ارزیابی»، «پارامترهای ارزیابی» و «نحوه‌ی ارزیابی» دسته‌بندی نمود. در ادامه هر یک از این بخش‌ها به صورت اجمالی معرفی می‌گردند.

زیست محیطی، فنی، اجتماعی - اقتصادی و حسی - زیبایی‌شناسی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

هلاکویی [۹] نیز با در نظر گرفتن هفت معیار شامل: تعداد طبقات، قیمت ساخت، عایق صدا، مقاومت حرارتی، مقاومت رطوبتی، تعداد نفرات و تجهیزات و سهولت در اجرا، به مقایسه‌ی چهار سیستم نوین دیوارچینی در ایران پرداخته است. سیستم‌های دیوارچینی LSF^۱، ICF^۲، 3D Panel و لیکا، گزینه‌های مورد ارزیابی در این تحقیق بودند. هلاکویی جهت ارزیابی این گزینه‌ها، از روش AHP استفاده کرده و تمامی معیارها را بعنوان معیارهایی کیفی در نظر گرفته است. نتایج تحقیق او نشان می‌دهد که بلوک لیکا بهترین و LSF بدترین سیستم دیوارچینی در میان چهار سیستم مذکور و براساس معیارهای در نظر گرفته شده است.

زارعی و همکاران [۱۰] در تحقیقی دیگر، با استفاده از روش FAHP سه نوع سیستم سقف ساختمانی نوین، شامل سقف کوبیاکس، سقف یوبوت و سقف با CLC^۳ را بر اساس هشت معیار و بدون در نظر گرفتن هیچ زیرمعیاری، مورد بررسی قرار دادند. این معیارهای هشتگانه، شامل سادگی اجرا، عمر جنس سازه، کاهش هزینه، تأمین مصالح، مقاومت در برابر زلزله، اجرای سریع، عایق صوتی و انعطاف پذیری سازه بودند. آن‌ها به منظور انجام مقایسه‌های زوجی برای تمامی معیارها، حتی معیارهای کمی مانند کاهش هزینه و عایق صوتی، از اخذ نظر خبرگان و کارشناسان توسط پرسشنامه استفاده کردند. در نهایت سقف یوبوت با وزن مطلق ۰/۱۸۴ به عنوان بهترین گزینه تعیین گردید؛ و وزن سقف‌های CLC و کوبیاکس نیز به ترتیب برابر ۰/۱۶۸ و ۰/۱۶۶ بدست آمدند.

نامداری و همکاران [۱۱] نیز در تحقیقی به بررسی آثار زیست محیطی کوره‌های آجرپزی منطقه‌ی اصفهان پرداختند. آن‌ها جهت انجام این تحقیق ابتدا اطلاعات جامعی از ده کارخانه‌ی آجرپزی منطقه به منظور نمونه برداری هوای دودکش‌ها و سنجش صوت به دست آوردند. سپس این اطلاعات را به وسیله‌ی نرم‌افزار SPSS20 با استانداردهای محیط‌زیست مطابقت دادند. در این تحقیق برای شناسایی آثار شاخص زیست محیطی، از روش‌های چک لیست سنجشی هم‌ترازی، برای وزن دهی از روش AHP و برای رتبه‌بندی

- 1 Light Steel Framing
- 2 Insulating Concrete Formwork
- 3 Cellular Lightweight Concrete

4 Life Cycle Assessment
5 Fiber-Reinforced Polymer

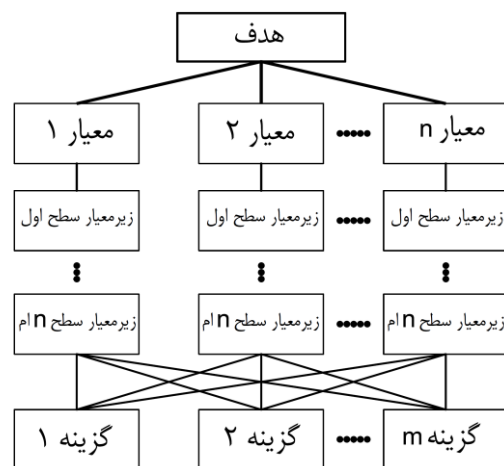


شکل ۱. گزینه‌های مختلف دیوارچینی مورد بررسی
Fig.1. The separating wall systems under consideration

سعی بر آن بوده که علاوه بر واقعیت‌های بازار، به نسل‌های مختلف دیوارچینی شامل «دیوارهای سنتی»، «دیوارهای نیمه مدرن» و «دیوارهای مدرن» توجه شود و از هر کدام حداقل یک نماینده در میان گزینه‌ها وجود داشته باشد. بدین ترتیب علاوه بر مقایسه‌ی گزینه‌های مختلف، روند دیوارهای مختلف ساختمانی در کشور نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. پنج گزینه‌ی مورد ارزیابی این تحقیق در شکل ۱ ارائه شده‌اند.

۲-۲- روش AHP جهت ارزیابی گزینه‌ها

روش AHP یکی از جامع‌ترین روش‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این فرآیند بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد [۱۴]. در این روش پس از مشخص شدن هدف مسئله، معیارها و زیرمعیارهایی به‌عنوان مبنای قضاوت میان گزینه‌های مختلف، تعیین می‌گردند. به این ترتیب که با تشکیل درخت سلسله مراتبی متشکل از سطوح مختلف (گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها)، ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی برای هر کدام از سطوح نسبت به سطح بالاتر تشکیل شده و ارزش یا وزن نسبی هر کدام از پارامترهای تشکیل دهنده‌ی معیارها و زیرمعیارها تعیین می‌شوند. در نهایت بر اساس وزن‌های نسبی، وزن یا ارزش مطلق هر کدام از گزینه‌ها به دست می‌آید [۱۵]. نمودار کاملی از ساختار سلسله مراتبی در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از تشکیل ساختار سلسله مراتبی، در مرحله‌ی بعد لازم است مقایسه‌های زوجی میان گزینه‌ها،



شکل ۲. نمونه‌ی کاملی از ساختار سلسله مراتبی [۱۶]
Fig.2. Schematics of an Analytical Hierarchy Process

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 \end{bmatrix}$$

شکل ۳. ماتریس مقایسه‌های زوجی
Fig.3. Paired comparison matrix

۲-۱- گزینه‌های مورد ارزیابی

با توجه به میزان مصرف و رواج در صنعت ساختمان کشور، انتخاب بهترین گزینه‌ی دیوارچینی از میان پنج گزینه‌ی رایج شامل «آجر فشاری»، «بلوک‌های سفالی»، «بلوک‌های سبک گازی»، «پانل‌های سه بعدی» و «صفحات گچی» صورت گرفته است. در این قسمت

تصمیم‌گیرنده مشخص خواهد کرد که اهمیت i بر j (یا بالعکس) کدامیک از «ترجیحات» این جدول است و در نتیجه ارزش عددی مربوط به آن ترجیح به عنوان ارزش کمی مقایسه، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۲-۳- محاسبه‌ی وزن نسبی

محاسبه‌ی وزن در فرآیند AHP در دو قسمت جداگانه‌ی وزن نسبی^۱ و وزن مطلق^۲ انجام می‌شود. وزن نسبی از ماتریس مقایسه‌های زوجی به دست می‌آید در حالی که وزن مطلق هر گزینه از تلفیق اوزان نسبی محاسبه می‌گردد.

۲-۲-۴- محاسبه‌ی وزن مطلق

از آنجا که در یک ساختار سلسله مراتبی، وزن معیارها منعکس کننده‌ی اهمیت آن‌ها در دستیابی به هدف و وزن هر گزینه نسبت به معیارها، مشخص کننده‌ی سهم آن گزینه در معیار مربوطه است، وزن نهایی یا مطلق هر گزینه از مجموع حاصل ضرب‌های وزن هر معیار در وزن گزینه‌ی مربوط به آن معیار به دست می‌آید. به عبارت دیگر وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصل ضرب‌های اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها، حاصل می‌شود.

۳- معرفی پارامترهای تحقیق حاضر

چنانکه بیان شد، نداشتن نگاه همه جانبه و در نظر نگرفتن تمامی جنبه‌ها و پارامترهای مؤثر، اصلی‌ترین کاستی پژوهش‌های زیست محیطی انجام شده در صنعت ساختمان است. در تحقیق حاضر به جهت اجتناب از این نقیصه، ضمن بررسی و انجام مطالعات کتابخانه‌ای، با استفاده از نظرات خبرگان حوزه‌ی ساختمان سازی، چهار پارامتر زیست محیطی شامل «میزان مصرف انرژی در فرآیند ساخت»، «میزان مصرف آب در فرآیند ساخت و اجرای دیوار»، «میزان تولید CO_2 در نتیجه‌ی مصرف انرژی در فرآیند ساخت»، «میزان مقاومت حرارتی دیوارهای ساخته شده»، برای ارزیابی گزینه‌های مختلف دیوارچینی استفاده شده‌اند. اما از آنجا که پارامترهای «اقتصادی»، «فنی» و «اجرایی» بخش جدایی ناپذیری از صنعت ساختمان هستند، ضروری تشخیص داده شد تا گزینه‌های دیوارچینی علاوه

جدول ۱. تعیین ارزش پارامترهای کیفی توسط نظرات کارشناسی [۱۷]
Table 1. Determining the value of qualitative parameters based on expert opinions

ارزش عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مطلوب‌تر
۷	مطلوبیت خیلی قوی
۵	مطلوبیت قوی
۳	مطلوب‌تر
۱	مطلوبیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

زیرمعیارها و معیارها به صورت سطح به سطح انجام گیرد.

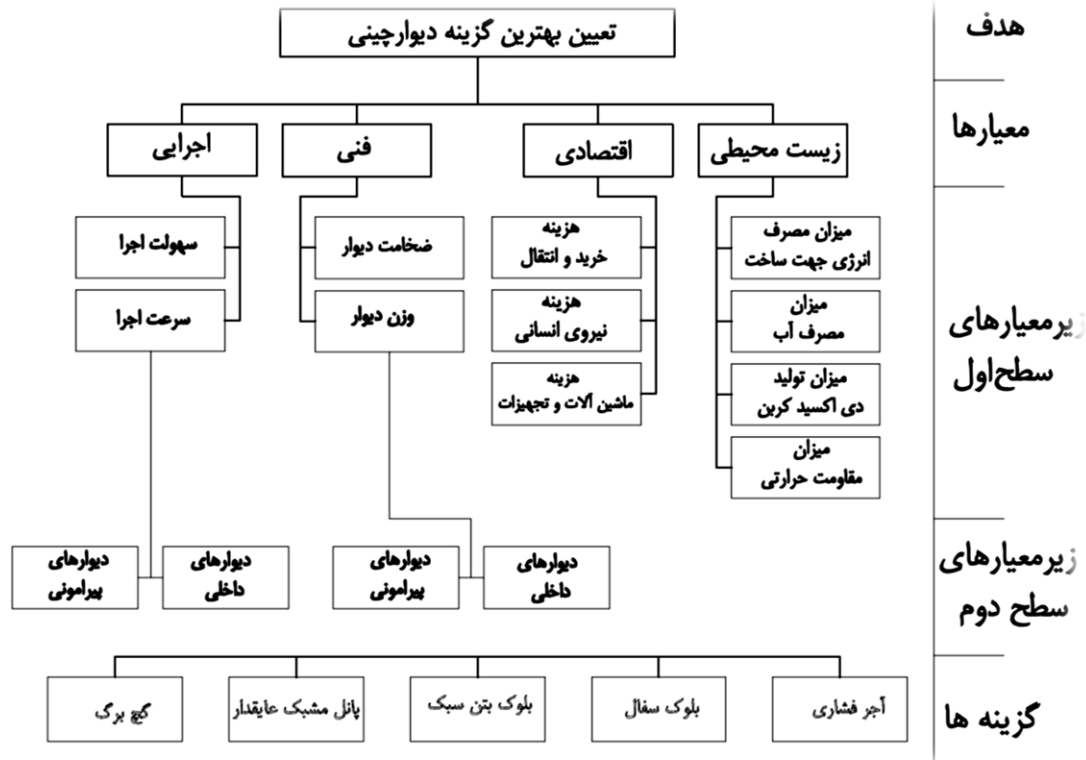
۲-۲-۱- انجام مقایسه‌های زوجی

برای تعیین وزن و ارزش نسبی پارامترهای هر سطح نسبت به سطح بالاتر از خود در هر قسمت از ساختار سلسله مراتبی، پارامترها دو به دو، به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. منظور از مقایسه‌های زوجی در گزینه‌ها، تشخیص ارزش نسبی یک گزینه در مقایسه با سایر گزینه‌ها، در ارتباط با یک معیار و یا زیرمعیار مشخص است. انجام مقایسه‌های زوجی از طریق پر کردن ماتریسی معکوس به نام ماتریس مقایسه‌های زوجی مشابه شکل ۳ صورت می‌گیرد. در حالت مثبت این ماتریس a_{ij} ترجیح گزینه‌ی i ام نسبت به گزینه‌ی j ام و در حالت منفی، ترجیح گزینه‌ی j ام نسبت به گزینه‌ی i ام است.

۲-۲-۲- مقایسه‌های زوجی پارامترهای کیفی:

از آنجا که در هر تصمیمی علاوه بر معیارها و زیرمعیارهای کمی، لاجرم معیارها و زیرمعیارهای کیفی نیز وجود خواهند داشت؛ برای تعیین ارزش نسبی آن‌ها لازم است به شیوه‌های ویژه‌ای عمل نمود. در مقایسه‌های زوجی مربوط به معیارها و زیرمعیارهای کیفی، تصمیم‌گیرنده می‌بایست از قضاوت‌های شفاهی برای ارزش‌گذاری استفاده نماید. برای این منظور ساعتی جدولی مشابه جدول ۱ ارائه داده است؛ که به کمک آن بر اساس نوع ترجیح تصمیم‌گیرنده در زمان مقایسه‌ی پارامترهای کیفی، ارزش کمی آن‌ها مشخص می‌شود. به عنوان مثال اگر گزینه‌ی i با گزینه‌ی j در حال مقایسه باشند،

1 Local Priority
2 Overall Priority



شکل ۴. ساختار سلسله مراتبی
Fig.4 Hierarchical structure

سلسله مراتبی مربوط به این معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهد. از آنجا که بخشی از معیارها و زیرمعیارهای در نظر گرفته شده، پارامترهایی کیفی هستند (جدول ۲)؛ انجام مقایسه‌های زوجی بر مبنای آن‌ها با دشواری‌هایی همراه است. در مواردی از این دست، بهترین و مطمئن‌ترین کار، تدوین پرسش‌نامه‌هایی است که با استفاده از نظرات کارشناسان، تکمیل می‌گردند.

به این منظور، هفت عنوان پرسش‌نامه‌ی مربوط به ارزیابی‌های کیفی با استفاده از برنامه‌ی Docs' google به پرسش‌نامه‌هایی تحت وب تبدیل و به آدرس الکترونیکی بیش از هشتاد نفر از اساتید دانشگاه و صاحب‌نظران سراسر کشور ارسال شد. همچنین به منظور جامعیت بیشتر نتایج، نسخه‌ی کاغذی پرسشنامه‌ها در اختیار عده‌ای از فعالان صنعت ساختمان شامل: مهندسین اجرایی، سرپرستان کارگاه، سرپرستان دفاتر فنی، مدیران عامل تعدادی از شرکت‌های انبوه‌ساز و مهندسین صاحب نظر نظام مهندسی استان خراسان قرار گرفت. در نهایت نیز با استفاده از روش میانگین هندسی، برآیند نظرات مربوط به هر پرسش‌نامه محاسبه و به کار گرفته شد. عناوین مربوط

جدول ۲. زیرمعیارهای کمی و کیفی
Table 2. Quantitative and qualitative sub-criteria

معیار	زیرمعیار کمی	زیرمعیار کیفی
زیست محیطی	1- میزان مصرف ویژه‌ی انرژی جهت ساخت 2- میزان مصرف آب 3- میزان تولید CO ₂ 4- میزان مقاومت حرارتی	
اقتصادی	1- هزینه‌ی مربوط به خرید و انتقال مصالح 2- هزینه‌ی نیروی انسانی 3- ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز	
فنی	1- وزن فیزیکی دیوار 2- ضخامت دیوار (میزان اشغال فضا)	
اجرائی	1- سرعت انجام کار	2- سهولت اجرا

بر پارامترهای زیست محیطی از نظر این پارامترها نیز مورد ارزیابی قرار گیرند. در نتیجه‌ی این تصمیم، معیارهای اقتصادی در قالب سه زیرمعیار و معیارهای فنی و اجرایی هر کدام در قالب چهار زیرمعیار (سطح اول و دوم) در فرآیند ارزیابی لحاظ گردیدند. شکل ۴ ساختار

به پرسشنامه‌های مذکور در جدول ۳ ارائه شده است. جهت تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای کمی نیز از منابع علمی، دستورالعمل‌ها و نشریات ابلاغی از سوی نهادهای قانون‌گذار و اطلاعات میدانی استفاده شده است.

۴- ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها

تحقیق حاضر مطابق روندنمای شکل ۵ انجام گرفته است. همچنین لازم به ذکر است که غالباً به جهت سهولت در تشکیل و حل ماتریس مقایسه‌های زوجی از نرم افزارهای Expert Choice و یا Super Decision استفاده می‌شود؛ لیکن در تحقیق حاضر به دلیل دستیابی به انعطاف بیشتر و ارزیابی دقیق‌تر ماتریس‌های مقایسه، از فرمول نویسی در نرم افزار اکسل استفاده شده است. در این بخش مقادیر مربوط به ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی و ارزش‌های نسبی ارائه شده‌اند.

۴-۱- وزن دهی معیارها نسبت به هدف

وزن نسبی معیارها در ارتباط با هدف، با استفاده از گزارش شرکت مدیریت پروژه‌های ساختمانی ایران [۱۸]؛ مطابق جدول ۴ تعیین گردید.

۴-۲- وزن نسبی زیرمعیارهای سطح اول و دوم

پس از جمع‌آوری پاسخ‌های کارشناسان به پرسش‌نامه‌های مربوط به پارامترهای کیفی، ارزش نسبی زیرمعیارهای زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی، مشابه جدول ۵ به دست آمدند.

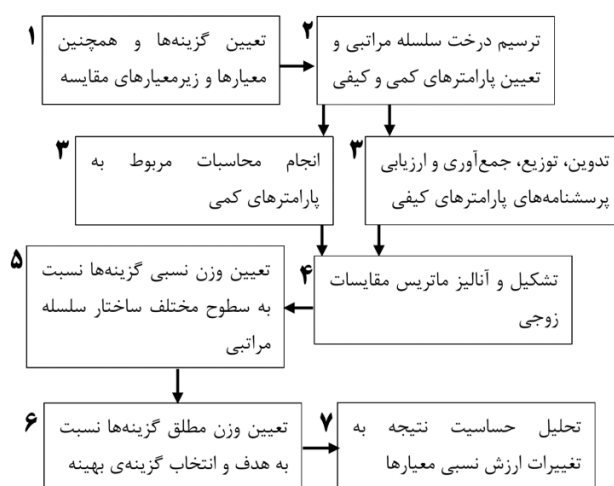
چنان‌که از نتایج ارائه شده در جدول ۵ برمی‌آید، معیار میزان مصرف آب، هزینه خرید و انتقال مصالح، وزن دیوار و سرعت اجرای آن، به ترتیب در میان معیارهای زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی دارای بالاترین درجه‌ی اهمیت از نظر کارشناسان و متخصصان هستند.

۴-۳- ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای زیست محیطی

چنان‌که بیان گردید گزینه‌های مختلف دیوارچینی از نظر زیست محیطی به وسیله‌ی چهار زیرمعیار با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این قسمت به تبیین روش‌های دستیابی به ارزش نسبی گزینه‌ها در

جدول ۳. عناوین مربوط به پرسشنامه‌ها
Table 3. Questionnaire titles

شماره	موضوع
پ 1	مقایسه‌ی چهار پارامتر زیست محیطی با یکدیگر و تعیین ارزش نسبی آن‌ها
پ 2	مقایسه‌ی سه پارامتر اقتصادی با یکدیگر و تعیین ارزش نسبی آن‌ها
پ 3	مقایسه‌ی دو پارامتر فنی با یکدیگر و تعیین ارزش نسبی آن‌ها
پ 4	مقایسه‌ی دو پارامتر اجرایی با یکدیگر و تعیین ارزش نسبی آن‌ها
پ 5	مقایسه‌ی دیوارهای مختلف ساختمانی از نظر سهولت اجرا
پ 6	مقایسه‌ی میزان اهمیت سرعت در اجرای دیوارهای داخلی و خارجی
پ 7	مقایسه‌ی میزان اهمیت سهولت در اجرای دیوارهای داخلی و خارجی



شکل ۵. روندنمای مربوط به متدولوژی تحقیق
Fig.5. Flowchart of research methodology

جدول ۴. ارزش نسبی معیارها در ارتباط با هدف
Table 4. The relative value of the criteria to reach the goal

معیار	ارزش نسبی
معیار فنی	۰/۲۲
معیار اقتصادی	۰/۴۲
معیار اجرا	۰/۲۳
معیار زیست محیطی	۰/۱۳

جدول ۵. ارزش نسبی زیرمعیارهای سطح اول و دوم
Table 5. Relative value of first and second level sub-criteria

معیار	زیرمعیار سطح اول	وزن نسبی	زیرمعیار سطح دوم	وزن نسبی
زیست محیطی	میزان مصرف انرژی	۰/۲۵۲		
	میزان مصرف آب	۰/۲۸۸		
	میزان تولید CO ₂	۰/۲۱۷		
اقتصادی	میزان مقاومت حرارتی	۰/۲۴۳		
	هزینه‌ی خرید و انتقال	۰/۶۱۷		
	هزینه‌ی نیروی انسانی	۰/۲۶۳		
	هزینه‌ی ماشین آلات	۰/۱۲۰		
	وزن دیوار	۰/۸۳۴		
فنی	ضخامت دیوار	۰/۱۶۶	دیوارهای داخلی	۰/۸۶۵
			دیوارهای پیرامونی	۰/۱۳۵
اجرایی	سهولت اجرا	۰/۴۷۸		
	سرعت انجام	۰/۵۲۲	دیوارهای داخلی	۰/۱۹۲
	سرعت انجام		دیوارهای پیرامونی	۰/۸۰۸

ارتباط با هر کدام از این چهار زیرمعیار پرداخته می‌شود.

الف- مصرف ویژه‌ی انرژی (SEC)

با توجه به ضوابط و تعاریف مندرج در استاندارد شماره‌ی ۷۹۶۵ سازمان ملی استاندارد [۱۹]، SEC عبارت از میزان انرژی‌ای است که به ازای یک واحد تولید، مصرف می‌شود. SEC به صورت سه شاخص SEC_{th} ، SEC_e و SEC_{tot} بیان می‌گردد. SEC_{th} ، میزان مصرف انرژی حرارتی را برحسب مگا ژول بر تن محصول تولیدی بیان می‌کند. SEC_{th} با استفاده از رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید.

$$SEC_{th} = \frac{m_f \times H_V}{t} \quad (1)$$

که در آن m_f مصرف سوخت برحسب لیتر، کیلوگرم، H_V ارزش حرارتی واحد سوخت مصرفی^۲ برحسب مگا ژول بر لیتر، مگا ژول بر

۱-۳-۴- میزان مصرف ویژه‌ی انرژی جهت ساخت

انرژی مصرفی در صنعت ساختمان بیشتر به دو شکل «انرژی الکتریکی» و «انرژی حرارتی» است که در مرحله‌ی تولید مصالح ساختمانی با دو هدف تأمین حرارت لازم در فرآیندهای شیمیایی و به کار انداختن تجهیزات و همچنین در مرحله‌ی بهره‌برداری از ساختمان با هدف تأمین شرایط دمایی مطلوب و همچنین فراهم آوردن امکان راه‌اندازی وسایل الکتریکی و امکانات رفاهی، به کار برده می‌شود. در تحقیق حاضر جهت ارزیابی انرژی حرارتی مربوط به مرحله‌ی بهره‌برداری از زیرمعیار «میزان مقاومت حرارتی» و جهت ارزیابی میزان انرژی مورد نیاز در فرآیند تولید، از زیرمعیار «مصرف ویژه‌ی انرژی جهت ساخت» استفاده گردیده است.

1 Specific Energy Consumption

۲ ارزش حرارتی سوخت مصرفی، طبق اعلام مراجع رسمی و بر اساس ارزش حرارتی سوخت هر منطقه در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۶: SEC_{th} ، SEC_e و SEC_{tot} در فرآیندهای تولید گزیندها برحسب مترمربع دیوار

Table 6. SEC_e , SEC_{th} and SEC_{tot} in alternative goal production processes

گزینه‌ها	SEC_{th} (Mj/m ²)	SEC_e (kWh/m ²)	SEC_{tot} (Mj/m ²)
آجر فشاری	۳۱۵/۱۰	۲/۷۴	۳۴۴/۶۹
بلوک سفالی	۱۶۸	۲/۶۹	۱۹۷/۰۶
بلوک AAC	۳۷۴/۳۶	۱/۹۶	۳۹۵/۵۳
پانل‌های سه بعدی	۶/۵۲	۰/۶۸	۱۳/۹۰
صفحات گچی	۲۳/۹۵	۰/۲۹	۲۷/۰۷

با استفاده از وزن مربوط به هر گزینه در واحد سطح دیوارچینی، مصارف بر اساس مگا ژول بر واحد سطح دیوارچینی تعیین گردد. جدول ۶ مقادیر مربوط به SEC_{th} ، SEC_e و SEC_{tot} به ازای سطح دیوارچینی در گزینه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

بر اساس مقادیر به دست آمده در جدول ۶، درایه‌های ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان مصرف انرژی جهت ساخت، به صورت جدول ۷ به دست آمده است.

۲-۳-۴- میزان مصرف آب

ایران با قرار گرفتن در منطقه‌ی گرم و خشک جهان، جزء نقاط کم بارش زمین به حساب می‌آید؛ بطوری‌که متوسط بارش در آن ۲۵۰ میلی‌متر یعنی یک سوم متوسط بارش جهانی است [۲۰]. از همین روست که میزان و کیفیت مصرف آب در بخش‌های مختلف، از اهمیت بالایی برخوردار است. صنعت ساختمان نیز از جمله بخش‌هایی است که به مقدار فراوانی آب در آن به مصرف می‌رسد. برخی معتقدند که آب مهم‌ترین فرآورده‌ی خام ساختمانی است [۲۱]. با توجه به اهمیت میزان آب مصرفی، در تحقیق حاضر آب مصرفی مربوط به هر یک از گزینه‌ها در دو بخش «آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح» و «آب مصرفی در مرحله‌ی برپایی دیوار» ارزیابی گردید. ارزش نسبی گزینه‌ها نیز پس از محاسبه‌ی هر دو نوع آب مصرفی، از جمع جبری مقادیر این دو بخش حاصل شد. منظور از آب مصرفی در فرآیند ساخت مصالح، مقدار آبی است که برای تولید واحد حجم هر کدام از گزینه‌ها در کارخانه‌ی سازنده، به‌عنوان یکی از مواد اولیه، به مصرف

مترمکعب، مگا ژول بر کیلوگرم و t میزان تولید محصول مورد نظر برحسب تن است.

SEC_e نیز بیان‌کننده‌ی میزان مصرف انرژی الکتریکی به ازای واحد تولید است. این پارامتر برحسب کیلووات ساعت بر تن محصول تولیدی بیان شده که توسط رابطه‌ی ۲ تعیین می‌شود.

$$SEC_e = \frac{E_C}{t} \quad (2)$$

که در آن E_C انرژی الکتریکی مصرفی برحسب کیلووات ساعت و t میزان تولید محصول مورد نظر برحسب تن است.

SEC_{tot} ، میزان کل مصرف انرژی (مجموع انرژی الکتریکی و حرارتی) به ازای واحد تولید را بیان می‌کند. این پارامتر برحسب مگا ژول بر تن محصول تولیدی با استفاده از رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید.

$$SEC_{tot} = \frac{m_f \times H_V + E_C \times 10.8}{t} = SEC_e \times 10.8 + SEC_{th} \quad (3)$$

که در آن m_f ، H_V ، E_C و t مشابه قبل و 10.8 ضریب تبدیل استاندارد انرژی الکتریکی برحسب کیلووات ساعت به انرژی حرارتی برحسب مگا ژول با احتساب راندمان تبدیل نیروگاهی است.

ب- SEC_{tot} گزینه‌ها

نحوه‌ی اندازه‌گیری و محاسبه‌ی SEC_{th} و SEC_e یک کارخانه، بر اساس مدارک و مستندات صادره از مراجع رسمی از قبیل قبوض مربوط به انواع حامل‌های انرژی برای دوره‌ی ارزیابی، تعیین می‌شود. اما از آنجا که غالباً SEC_{th} و SEC_e کارخانه‌های مختلف تولیدکننده‌ی یک محصول متفاوت است، در تحقیق حاضر برای تعیین این مقادیر، از استانداردها و معیارهای موجود در سطح ملی، همچون ضوابط وزارت نیرو، سازمان استاندارد و غیره استفاده شده است. همچنین در مواردی که ضوابطی در این زمینه موجود نیست، از روش مورد اشاره در استاندارد ملی ایران [۱۹] استفاده گردیده است.

با توجه به تفاوت وزن مخصوص گزینه‌ها، روشن است که «تن» نمی‌تواند واحد مناسبی برای مقایسه و ارزش‌گذاری مصارف ویژه‌ی انرژی فرآیند تولید گزینه‌های مختلف دیوارچینی باشد. به‌عنوان مثال، وزن سنگین‌تر آجرهای فشاری نسبت به بلوک‌های سبک بتنی، باعث می‌شود که به ازای سطح برابر دیوارچینی، تناژ کمتری از بلوک‌های AAC و در نتیجه انرژی کمتری مصرف گردد. از همین رو لازم است

جدول ۷. ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر مصرف انرژی جهت ساخت

Table 7. Paired comparison matrices and relative value of alternatives in terms of energy consumption in the materials production

گزینه‌ها	آجر فشاری	بلوک سفال	بلوک AAC	پانل سه‌بعدی	صفحات گچی	ارزش نسبی
آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۷۲	۱/۱۴۷	۰/۰۴۰	۰/۰۷۹	۰/۰۲۴
بلوک سفال	۱/۷۴۹	۱/۰۰۰	۲/۰۰۷	۰/۰۷۱	۰/۱۳۷	۰/۰۴۳
بلوک AAC	۰/۸۷۱	۰/۴۹۸	۱/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰۶۸	۰/۰۲۱
پانل سه‌بعدی	۲۴/۷۹۸	۱۴/۱۷۷	۲۸/۴۵۵	۱/۰۰۰	۱/۹۴۷	۰/۶۰۳
صفحات گچی	۱۲/۷۳۳	۷/۲۸۰	۱۴/۶۱۱	۰/۵۱۳	۱/۰۰۰	۰/۳۰۹

جدول ۸. مقدار آب مصرفی در فرآیند ساخت گزینه‌ها، برحسب مترمربع دیوار

Table 8. Water Consumption in the materials production

گزینه‌ها	حجم در یک مترمربع دیوار (m ³)	آب مصرفی در فرآیند تولید (kg)	آب مصرفی در فرآیند تولید به‌ازای مترمربع دیوار (kg)
آجر فشاری	۰/۰۸۱	۵۹۵	۴۸/۱۳۶
بلوک سفالی	۰/۱۰۲	۸۴	۸/۶۰۲
بلوک AAC	۰/۰۹۴	۲۵	۲/۳۴۵
پانل‌های سه‌بعدی	۰/۰۰۱	۳/۳۶	۰/۰۰۳
صفحات گچی	۰/۰۲۸	۲/۱۲	۰/۰۵۹

جدول ۹. مقدار آب مصرف شده جهت اجرای یک مترمربع دیوار با گزینه‌ها

Table 9. Water Consumption during the installation phase

ردیف	گزینه‌ی دیوارچینی	مقدار آب در واحد سطح دیوار (kg)
۱	قالب‌های آجر فشاری	۷۳/۵۰
۲	بلوک‌های سفالی (۶ سوراخه)	۶۱/۹۰
۳	بلوک‌های AAC	۴۳/۰۰
۴	پانل‌های سه‌بعدی	۱۰/۱۶۰

بر حسب مقدار مصالح در مترمربع دیوار بازنویسی شود. بر این اساس جدول ۸ با استفاده از مقادیر آب مصرفی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و مقادیر مصالح در مترمربع دیوارچینی، به صورت تشکیل شده است. مقادیر آب مصرف شده در مرحله‌ی برپایی دیوار در گزینه‌های مختلف دیوارچینی نیز با استفاده از آنالیز فهرست‌بهای اینیه [۲۲] در جدول ۹ ارائه شده‌اند.

از آنجا که مقدار آب مصرفی در فرآیند برپایی دیوارهای با صفحات گچی برابر صفر است، جهت فراهم شدن امکان مقایسه با سایر گزینه‌ها، مقدار ۱ کیلوگرم آب در مترمربع دیوار برای آن در نظر گرفته شده است. در نهایت بر اساس مقادیر به دست آمده در جداول ۸ و ۹، ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان مصرف آب در مراحل تولید و برپایی دیوار، به صورت جدول ۱۰ محاسبه شده است.

می‌رسد. در مرحله‌ی برپایی دیوار همچون مرحله‌ی ساخت، جهت انجام عملیات مونتاژ دیوار (سفت‌کاری) و اجرای اندودها و رویه‌های نهایی (نازک‌کاری) به آب نیاز است. آب جزء مهمی از ملات‌های سیمان و اندودهای خاک‌وگچ و گچ است.

در اینجا نیز لازم است تا مقدار آب مصرفی در فرآیند ساخت

جدول ۱۰. ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان مصرف آب

Table 10. Paired comparison matrices and relative value of alternatives in terms of water consumption

گزینه‌ها	آجر فشاری	بلوک سفال	بلوک AAC	پانل سه‌بعدی	صفحات گچی	ارزش نسبی
آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۸۰	۰/۳۷۳	۰/۸۳۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸
بلوک سفال	۱/۷۲۵	۱/۰۰۰	۰/۶۴۳	۱/۴۴۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴
بلوک AAC	۲/۶۸۳	۱/۵۵۵	۱/۰۰۰	۲/۲۴۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲
پانل سه‌بعدی	۱/۱۹۷	۰/۶۹۴	۰/۴۴۶	۱/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
صفحات گچی	۱۱۴/۷۵۵	۶۶/۵۰۹	۴۲/۷۷۴	۹۵/۸۴۹	۱/۰۰۰	۰/۹۴۶

جدول ۱۱. ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان تولید CO₂

Table 11. Paired comparison matrices and relative value of alternatives in terms of CO₂ emissions

گزینه‌ها	آجر فشاری	بلوک سفال	بلوک AAC	پانل سه‌بعدی	صفحات گچی	ارزش نسبی
آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۲۱	۱/۱۱۳	۰/۳۸۹	۰/۰۷۱	۰/۰۴۹
بلوک سفال	۱/۹۱۸	۱/۰۰۰	۲/۱۳۵	۰/۷۴۵	۰/۱۳۶	۰/۰۹۴
بلوک AAC	۰/۸۹۸	۰/۴۶۸	۱/۰۰۰	۰/۳۴۹	۰/۰۶۴	۰/۰۴۴
پانل سه‌بعدی	۲/۵۷۴	۱/۳۴۲	۲/۸۶۶	۱/۰۰۰	۰/۱۸۳	۰/۱۲۶
صفحات گچی	۱۴/۰۶۵	۷/۳۳۳	۱۵/۶۶۰	۵/۴۶۴	۱/۰۰۰	۰/۶۸۸

۳-۳-۴- میزان تولید CO₂

سیمان در مرحله‌ی برپایی دیوارهای خارجی^۱، مقدار گاز CO₂ تولید شده در نتیجه‌ی مصرف سیمان مربوط به عملیات برپایی دیوار نیز محاسبه و در جمع کل دخالت داده شده است. بدین ترتیب درایه‌های ماتریس مقایسات و ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان تولید CO₂، مشابه جدول ۱۱ به دست آمده است.

۴-۳-۴- میزان مقاومت حرارتی

ساختمان‌های مسکونی از جمله مکان‌هایی هستند که بخش بزرگی از انرژی در آن‌ها به مصرف می‌رسد. ثابت نگه‌داشتن دمای مطلوب فضای داخل ساختمان در فصول مختلف، نیازمند تأمین گرما و سرما است که ایجاد آن مستلزم مصرف انرژی بوده و همین مسئله باعث از دست رفتن منابع تجدید ناپذیر انرژی در صنعت ساختمان می‌شود [۲۴]. در این زیرمعیار گزینه‌های مختلف مورد نظر جهت اجرای دیوارهای خارجی از نظر میزان مقاومت‌شان در برابر انتقال

از بزرگ‌ترین مسائل زیست محیطی جهان امروز، افزایش بیش از حد اثر گازهای گلخانه‌ای است. دی‌اکسید کربن، متان، اکسیدهای نیتروژن، بخار آب و کلروفلوروکربن‌ها مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای بوده که پتانسیل گرمایش جهانی را دارا هستند. در این میان CO₂ از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنا بر گزارش ترازنامه‌ی انرژی وزارت نیرو [۲۳]، میزان انتشار این گاز در جهان طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ به ۱/۳ گیگا تن رسیده است. ارزیابی میزان انتشار کل این گاز در تمامی بخش‌های یک ساختمان از طریق روش‌های ارزیابی چرخه‌ی طول عمر صورت می‌گیرد. در تحقیق حاضر جهت تعیین ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با میزان تولید CO₂، با استفاده از مقدار انرژی حرارتی و الکتریکی به کار گرفته شده در فرآیند ساخت هر گزینه، مقدار CO₂ معادل آن انرژی محاسبه شده است. به این ترتیب مقدار CO₂ منتشر شده در مرحله‌ی ساخت گزینه‌ها به دست آمده است. از طرف دیگر با توجه به نقش مؤثر تولید سیمان در ایجاد و انتشار گاز CO₂ و همچنین تشابه تمامی گزینه‌ها در استفاده از

۱ از آنجایی که مقدار سیمان مصرفی در فرآیند برپایی دیوارهای با صفحات گچی برابر صفر است، جهت فراهم شدن امکان مقایسه با سایر گزینه‌ها، مقدار ۰/۰۱ کیلوگرم CO₂ در مترمربع دیوار برای آن در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۲. ماتریس مقایسه‌های زوجی و ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان مقاومت حرارتی

Table 12. Paired comparison matrices and relative value of alternatives in terms of thermal resistance

گزینه‌ها	آجر فشاری	بلوک سفال	بلوک AAC	پانل سه‌بعدی	صفحات گچی	ارزش نسبی
آجر فشاری	۱/۰۰۰	۰/۵۰۴	۰/۲۰۶	۰/۱۸۰	۰/۱۲۵	۰/۰۴۷
بلوک سفال	۱/۹۸۵	۱/۰۰۰	۰/۴۰۸	۰/۳۵۷	۰/۲۴۷	۰/۰۹۳
بلوک AAC	۴/۸۶۰	۲/۴۴۸	۱/۰۰۰	۰/۸۷۳	۰/۶۰۶	۰/۲۲۷
پانل سه‌بعدی	۵/۵۶۹	۲/۸۰۵	۱/۱۴۶	۱/۰۰۰	۰/۶۹۴	۰/۲۶۰
صفحات گچی	۸/۰۲۲	۴/۰۴۱	۱/۶۵۱	۱/۴۴۱	۱/۰۰۰	۰/۳۷۴

جدول ۱۳. وزن نسبی گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای زیست محیطی

Table 13. The relative values of alternatives based on environmental sub-criteria

گزینه‌ها	زیرمعیارها	مصرف انرژی جهت ساخت	مصرف آب	تولید CO ₂	مقاومت حرارتی
آجرهای فشاری	۰/۰۲۴	۰/۰۰۸	۰/۰۴۹	۰/۰۴۷	
بلوک‌های سفالی	۰/۰۴۳	۰/۰۱۴	۰/۰۹۴	۰/۰۹۳	
بلوک‌های AAC	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۴۴	۰/۲۲۷	
پانل‌های سه بعدی	۰/۰۶۰۳	۰/۰۱۰	۰/۱۲۶	۰/۲۶۰	
صفحات گچی	۰/۳۰۹	۰/۹۴۶	۰/۶۸۸	۰/۳۷۴	

حرارت با یکدیگر مقایسه شدند.

الف- ضریب هدایت حرارتی^۱

ضریب هدایت حرارتی در یک ماده، قابلیت انتقال حرارت در آن را نشان می‌دهد. هر چه این ضریب برای ماده‌ای کمتر باشد آن ماده عایق بهتری برای حرارت خواهد بود. قابلیت هدایت حرارت در مواد مختلف، با ضریبی نمایش داده می‌شود که بیانگر مقدار حرارتی است که برحسب کیلوکالری در یک ساعت از نمونه‌ای به سطح یک مترمربع و ضخامت یک متر، در شرایطی که اختلاف دمای مؤثر در دو طرف سطوح موازی یک درجه‌ی سانتی‌گراد است عبور می‌کند. رابطه‌ی ۴ این مطلب را نشان می‌دهد.

$$\lambda = \frac{Q.d}{A(T_2 - T_1).t} \quad ; \quad \left(\frac{kcal \times m}{m^2 \times h \times ^\circ C} = \frac{kcal}{m \times h \times ^\circ C} \right) \quad (4)$$

1 Thermal Conductivity

در این رابطه λ ضریب هدایت حرارتی برحسب کیلوکالری بر مترمربع در متر در ساعت و درجه‌ی سلسیوس، Q میزان عبور حرارت برحسب کیلوکالری (kcal)، d ضخامت مصالح برحسب متر (m)، A سطح لایه برحسب مترمربع (m²)، (T₂-T₁) تفاوت درجه حرارت در دو سطح مقابل و موازی مصالح برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد (°C) و t زمان انتقال حرارت برحسب ساعت (h) است.

ب- مقاومت حرارتی^۲

مقاومت حرارتی (R) مقدار مقاومت در مقابل جریان حرارت در یک نوع مصالح یا ترکیبی از آن‌ها با ضخامت معین است. مقاومت حرارتی هر نوع مصالح از تقسیم ضخامت آن بر ضریب هدایت حرارتی‌اش به دست می‌آید. همچنین در مواردی که ترکیبی از چند نوع مصالح (مانند دیوارهای ساختمانی) وجود داشته باشد که به صورت لایه‌های موازی روی هم قرار گرفته‌اند؛ مقاومت کل، معادل

2 Thermal Resistance

جدول ۱۴. وزن نسبی گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای اقتصادی
Table 14. The relative values of alternatives based on economical sub-criteria

زیرمعیارها / گزینه‌ها	هزینه‌ی خرید و انتقال مصالح	هزینه‌ی نیروی انسانی	ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز
آجرهای فشاری	۰/۳۰۲	۰/۱۵۲	۰/۰۵۶
بلوک‌های سفالی	۰/۲۳۲	۰/۱۶۹	۰/۰۸۱
بلوک‌های AAC	۰/۲۲۷	۰/۱۸۰	۰/۰۰۷
پانل‌های سه بعدی	۰/۱۴۸	۰/۱۱۲	۰/۰۰۷
صفحات گچی	۰/۰۹۰	۰/۳۸۶	۰/۸۴۹

جدول ۱۵. وزن نسبی گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای فنی و اجرایی
Table 15. The relative values of alternatives based on technical and operational sub-criteria

زیرمعیارها / گزینه‌ها	وزن فیزیکی دیوار	ضخامت دیوار	سهولت اجرا	سرعت انجام کار
آجرهای فشاری	۰/۰۵۸	۰/۱۷۹	۰/۰۷۳	۰/۱۹۹
بلوک‌های سفالی	۰/۰۹۳	۰/۱۷۲	۰/۱۲۸	۰/۲۰۷
بلوک‌های AAC	۰/۱۰۱	۰/۱۹۶	۰/۲۳۸	۰/۲۱۵
پانل‌های سه بعدی	۰/۰۶۵	۰/۱۹۶	۰/۱۷۹	۰/۱۸۰
صفحات گچی	۰/۶۸۴	۰/۲۵۷	۰/۲۸۲	۰/۱۹۹

تفکیک قیمت‌های مربوط به بخش‌های مختلف (مصالح، حمل، نیروی انسانی و ماشین‌آلات) از آنالیز بهای مربوط به فهرست بها استفاده گردد. جهت انجام این امر نیز از آنالیز بهای مربوط به فهرست‌بهای واحد پایه‌ی رشته‌ی ابنیه استفاده گردیده است. مقادیر مربوط به وزن نسبی گزینه‌ها در زیرمعیارهای زیست محیطی، اقتصادی و فنی و اجرایی در جداول ۱۳ تا ۱۵ نشان داده شده است.

۵- تحلیل داده‌ها

در این بخش ابتدا رتبه‌بندی گزینه‌ها و در ادامه میزان حساسیت این رتبه‌بندی به وزن نسبی معیارها محاسبه شده است.

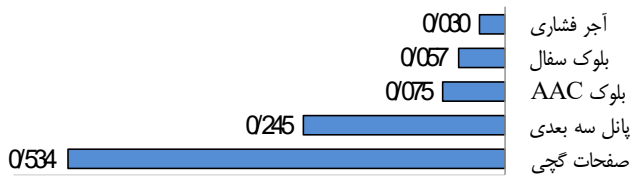
۵-۱- محاسبه‌ی وزن مطلق و رتبه‌بندی گزینه‌ها

با توجه به وزن نسبی گزینه‌ها در هر کدام از زیرمعیارها و همچنین مقادیر مربوط به وزن نسبی زیرمعیارها در ارتباط با معیارها، رتبه‌بندی گزینه‌ها در هر یک از چهار معیار اصلی مشابه شکل‌های ۶

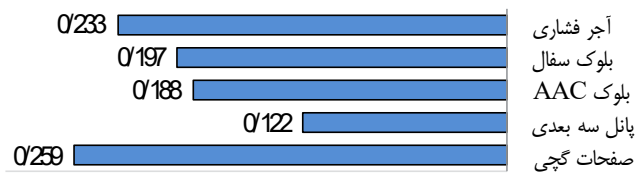
جمع جبری مقاومت‌های اجزای مختلف آن خواهد بود [۲۵]. بر اساس مقادیر به دست آمده مربوط به مقاومت حرارتی گزینه‌های مختلف دیوارچینی در صورت اجرا به عنوان دیوارهای خارجی، ارزش نسبی گزینه‌ها از نظر میزان مقاومت حرارتی، به صورت جدول ۱۲ به دست آمده است.

۴-۴- ارزش نسبی گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارهای زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی

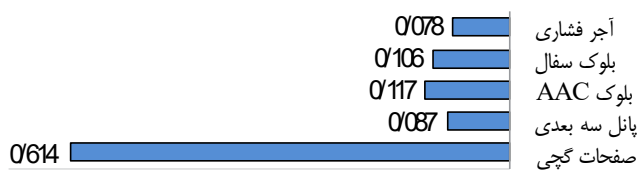
در تحقیق حاضر برای مقایسه‌ی ارزش نسبی اقتصادی گزینه‌ها از فهرست‌بهای واحد پایه‌ی رشته‌ی ابنیه استفاده شده است. از آنجا که قیمت‌های مندرج در فهرست بها شامل هزینه‌های تأمین و بکارگیری نیروی انسانی، ماشین‌آلات و ابزار و همچنین تأمین مصالح مورد نیاز، شامل، تهیه، بارگیری، حمل و باراندازی، جابه‌جایی مصالح در کارگاه، اتلاف مصالح و بطور کلی، اجرای کامل کار است [۲۶]؛ لازم است برای



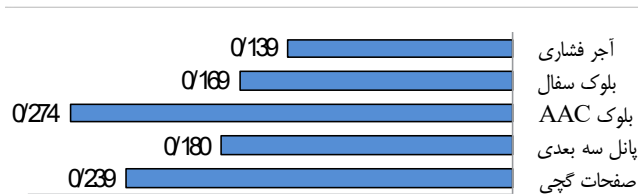
شکل ۶. وزن نسبی گزینه‌های مختلف دیوارچینی از نظر زیست محیطی
Fig.6. Relative values of different alternatives (Environmental)



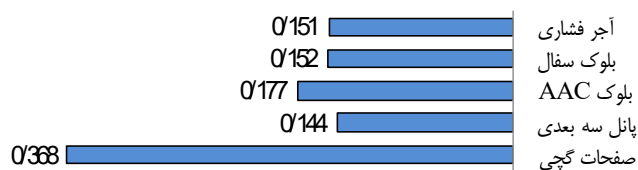
شکل ۷. وزن نسبی گزینه‌های مختلف دیوارچینی از نظر اقتصادی
Fig.7. Relative values of different alternatives (Economical)



شکل ۸. وزن نسبی گزینه‌های مختلف دیوارچینی از نظر فنی
Fig.8. Relative values of different alternatives (Technical)



شکل ۹. وزن نسبی گزینه‌های مختلف دیوارچینی از نظر اجرایی
Fig.9. Relative values of different alternatives (Operational)



شکل ۱۰. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های مختلف دیوارچینی
Fig.10. The final ranking of various separating wall systems

تا ۹ به دست آمده است. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشخص است، صفحات گچی بهترین گزینه از نظر زیست محیطی، اقتصادی و فنی، و بلوک‌های AAC بهترین گزینه‌ی دیوارچینی از نظر اجرایی هستند. همچنین آجرهای فشاری بدترین گزینه‌ی زیست محیطی، فنی و اجرایی، و پانل‌های مشبک سه‌بعدی بدترین گزینه‌ی دیوارچینی از نظر اقتصادی هستند. بلوک‌های سفالی نیز همواره در تمامی معیارها در حد میانه قرار دارند.

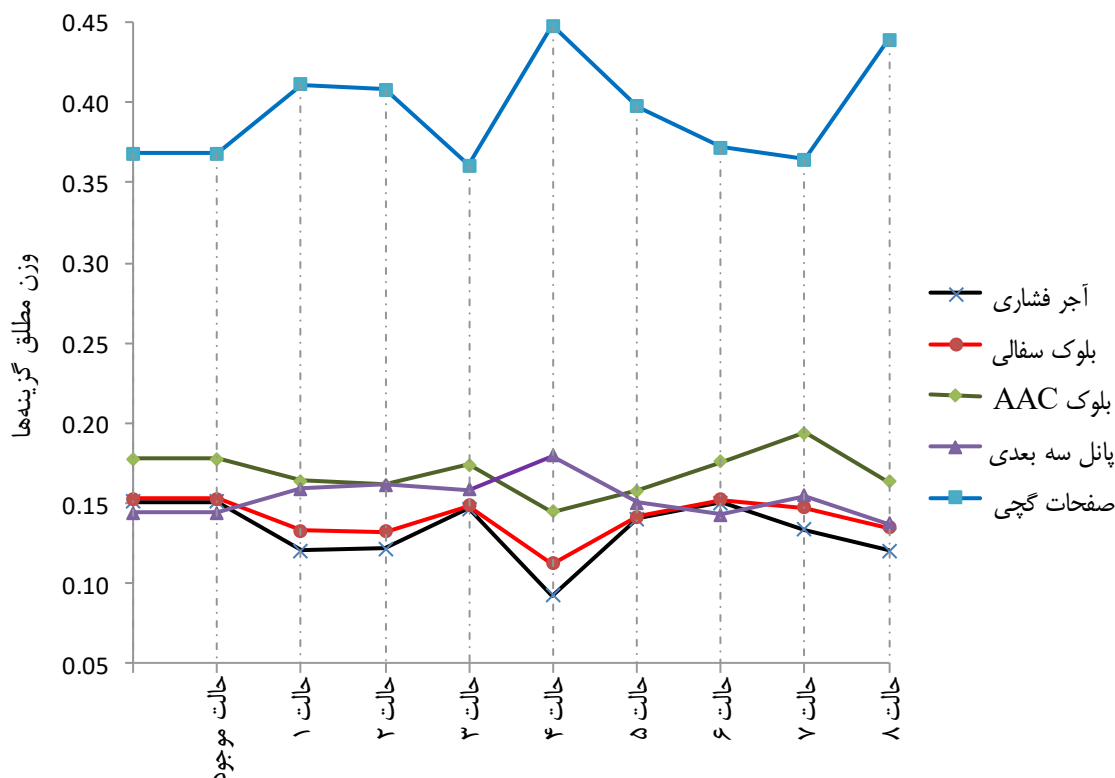
با مشخص شدن گزینه‌ی بهینه هر کدام از زیرمعیارها و معیارها، به کمک وزن نسبی هر معیار در ارتباط با هدف (جدول ۴)، وزن مطلق هر گزینه و به تبع آن، گزینه‌ی بهینه‌ی دیوارچینی مشابه شکل ۱۰ تعیین گردید. چنان‌که مشاهده می‌شود، با در نظر گرفتن معیارها و زیرمعیارهای مختلف زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی، به عنوان مبنا و ملاک قضاوت میان گزینه‌های مختلف دیوارچینی، صفحات گچی با تفاوت قابل توجهی نسبت به سایر گزینه‌ها، مرتبه‌ی بهترین گزینه‌ی دیوارچینی را به دست آوردند. بلوک‌های AAC، بلوک‌های سفالی و آجرهای فشاری نیز با امتیازهایی نزدیک به یکدیگر به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند. در این میان پانل‌های سه بعدی، علی‌رغم امتیاز بالای زیست محیطی، مرتبه‌ی بدترین گزینه را به خود اختصاص دادند.

۲-۵- تفسیر نتایج و مقایسه با تحقیقات مشابه

امتیاز پایین آجرهای فشاری و بلوک سفالی نشان می‌دهند که سیستم‌های سنتی دیوارچینی دیگر پاسخگوی نیازهای ساختمان سازان امروز نیست. از سوی دیگر تفاوت اندک این دو امتیاز حکایت از آن دارد که، علی‌رغم تلقی عامه، عرضه و تولید بلوک‌های سفالی در مقایسه با آجرهای فشاری، گامی رو به جلو نبوده است.

اما شاید مهم‌ترین چالش تحقیق حاضر را بتوان قرار گرفتن سیستم نوین دیوارهای پانل سه بعدی در رتبه‌ی آخر، حتی پایین‌تر از سیستم‌های سنتی آجرفشاری و بلوک سفال، دانست. چنانکه که از رتبه‌بندی گزینه‌ها در معیارهای چهارگانه مشخص است، این سیستم در دو معیار زیست محیطی و اجرایی در رتبه‌ی دوم و در معیار فنی در موقعیتی نرمال قرار دارد. با این حال به دلیل قرار گرفتن در پایین‌ترین رتبه از نظر معیار مهم اقتصادی، در جمع‌بندی نهایی در آخرین رتبه جای گرفته است. این موضوع زنگ خطر مهمی برای

شکل ۱۱. میزان حساسیت تصمیم به وزن نسبی معیارها
 Fig.11. The sensitivity of the decision to the relative value of different criteria



از مقایسه‌ی این دو تحقیق به چشم می‌آید را بتوان نمایش شکاف عمیق نگاه معمارانه و عمرانی به پدیده‌ی واحد بنام ساختمان‌سازی دانست؛ زیرا نتایج تحقیق آکوچکیان و خلعتبری نشان از اهمیت حداقلی معیار اقتصادی در نظر متخصصان حوزه‌ی معماری دارد؛ حال آنکه در نظر متخصصین و فعالان عمرانی مؤثر در نتایج تحقیق حاضر، معیار اقتصادی دارای بالاترین درجه از اهمیت است.

در تحقیق هلاکویی [۹] معیار اقتصادی «هزینه‌ی ساخت»، همچون تحقیق حاضر، دارای بالاترین درجه از اهمیت است. همچنین در هر دو تحقیق، معیار سهولت اجرا، در میان سایر معیارهای اجرایی از اهمیت کمتری برخوردار بوده است. هر چند زارعی و همکاران [۱۰] در تحقیق خود به مقایسه‌ی سه گزینه‌ی نوین سیستم سقف ساختمانی پرداخته‌اند؛ اما در مقام مقایسه می‌توان مشاهده نمود که سقف‌های اجرا شده با بلوک CLC در تحقیق آنها، مشابه دیوارهای اجرا شده با بلوک AAC در تحقیق حاضر، در رتبه‌ی میانی ارزش‌گذاری قرار دارند. موضوعی که رواج گسترده‌ی این مصالح را

طراحان و عرضه‌کنندگان سیستم‌های نوین ساختمانی است که هر محصول جدیدی می‌بایست پیش و بیش از هر چیز، ابتدا برای مصرف‌کننده توجیه اقتصادی داشته باشد.

هر چند تا به امروز تحقیق کاملاً مشابهی با تحقیق حاضر انجام نگرفته است؛ اما به جهت انجام مقایسه و اعتبار سنجی نتایج می‌توان سه تحقیق مشابه‌تر ذیل را، که در بخش پیشینه‌ی پژوهش معرفی و تشریح شدند، در نظر آورد.

اگر «تخریب لایه‌ی ازن» را، که یکی از زیرمعیارهای زیست‌محیطی در تحقیق آکوچکیان و خلعتبری [۸] است؛ معادل زیرمعیار «میزان تولید CO_2 در نتیجه‌ی مصرف انرژی در فرآیند ساخت» در تحقیق حاضر قلمداد کنیم؛ می‌توان مشاهده نمود که در هر دو مورد، بنا بر نتایج حاصل از ماتریس‌های مقایسه، این زیرمعیار وزن نسبی پایینی دارد. از سوی دیگر وزن بالای معیار انرژی در تحقیق مذکور با وزن بالای زیرمعیار «میزان مصرف انرژی» در تحقیق حاضر، کاملاً همساز و هماهنگ است. اما شاید قابل توجه‌ترین نکته‌ای که

جدول ۱۶. ارزش نسبی معیارها در هشت حالت مختلف جهت بررسی میزان حساسیت تصمیم
Table 16. Relative value of criteria for different cases to evaluate the sensitivity of the decision

حالت‌ها	شرح	ارزش نسبی معیارها در ارتباط با هدف		
		زیست محیطی	اقتصادی	فنی
حالت موجود	ارزش‌های نسبی مشابه جدول ۴ هستند.	۰/۱۳	۰/۴۲	۰/۲۳
حالت ۱	ارزش نسبی هر چهار معیار برابرند.	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
حالت ۲	ارزش نسبی معیار زیست محیطی و اقتصادی برابرند.	۰/۲۷۵	۰/۲۷۵	۰/۲۳
حالت ۳	ارزش نسبی معیار زیست محیطی و فنی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۱۳
حالت ۴	ارزش نسبی معیار زیست محیطی و اقتصادی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۲۳
حالت ۵	ارزش نسبی معیار زیست محیطی و اجرایی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۱۳
حالت ۶	ارزش نسبی معیار اجرایی و فنی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۱۳	۰/۴۲	۰/۲۳
حالت ۷	ارزش نسبی معیار اجرایی و اقتصادی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۴۲
حالت ۸	ارزش نسبی معیار فنی و اقتصادی جابه‌جا شده‌اند.	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۴۲

برابر باشند و در حالت‌های ۳ تا ۸ نیز ارزش‌ها در هر چهار معیار دو به دو جابه‌جا گردیده‌اند.

با توجه به شکل ۱۱ می‌توان گفت که صفحات گچی و بلوک‌های AAC در تمامی حالت‌ها به ترتیب در رتبه‌های اول و دوم قرار دارند. با در نظر گرفتن ارزش‌های مساوی برای تمامی معیارها (حالت ۱)، ارزش‌های مساوی برای معیارهای زیست محیطی و اقتصادی (حالت ۲)، جابه‌جایی ارزش‌های نسبی معیارهای زیست محیطی و فنی (حالت ۳)، زیست محیطی و اقتصادی (حالت ۴) و اقتصادی و اجرایی (حالت ۷) رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر کرده و پانل‌های سه بعدی بالاتر از بلوک‌های سفالی و آجرهای فشاری قرار می‌گیرند.

۶- نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف انتخاب گزینه‌ی بهینه‌ی دیوارچینی در ایران، بر اساس چهار معیار «زیست محیطی»، «اقتصادی»، «فنی» و «اجرایی» و با استفاده از روش AHP، به عنوان یکی از بهترین روش‌های ارزیابی چند معیاره، به ارزیابی و مقایسه‌ی پنج گزینه‌ی رایج دیوارچینی، شامل «آجرهای فشاری»، «بلوک‌های سفالی»، «بلوک‌های بتن سبک گازی»، «پانل‌های سه بعدی» و «صفحات گچی» پرداخته است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، می‌توان نتایج زیر را ارائه نمود:

به دلیل اطمینان بخشی و متعادل بودن همه جانبه‌ی آنان توجیه می‌کند.

چنانکه مشاهده گردید، نتایج حاصل از تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات اندک انجام شده مشابه، کاملاً همساز است و در موارد اختلافی، علل و عوامل روشن و موجهی قابل ردیابی هستند.

۳-۵- میزان حساسیت نتایج به وزن نسبی معیارها

گذشت زمان، دگرگونی شرایط و به وجود آمدن ضرورت‌های تازه، باعث تغییر اهمیت نسبی پارامترهای مختلف نزد کارشناسان می‌شود. اهمیت بالای مسائل زیست محیطی در کشورهای توسعه یافته در مقابل اولویت‌های اقتصادی - اجرایی در کشورهای در حال توسعه، نمونه‌ای از وابستگی ارزش‌ها به شرایط و فرهنگ هر منطقه است. از همین رو با در نظر گرفتن شرایط مختلف و تغییر در ارزش و وزن نسبی معیارها، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها، در هشت حالت مختلف، مجدداً بررسی گردیده است. شکل ۱۱ میزان حساسیت تصمیم و رتبه‌بندی گزینه‌ها در هر یک از این هشت حالت را نشان می‌دهد. جزئیات مربوط به هر کدام از حالت‌های هشتگانه در جدول ۱۶ ارائه شده است. چنانکه در این جدول مشاهده می‌گردد؛ در حالت ۱ ارزش تمامی معیارها با یکدیگر برابر فرض شده‌اند، در حالت ۲ شرایطی فرض شده است که در آن ارزش معیارهای زیست محیطی و اقتصادی

- of flooring systems in the city of Tehran: an AHP-based life cycle analysis, *Construction and Building Materials*, 25(4) (2011) 2053-2066.
- [7] S. Akoochekian, R. Khalatbari, The selection of materials for residential building facade in the hot and dry climate of Iran using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) method, *Journal of Maremat & Memari-e Iran*, 2(15) (2018).
- [8] S. Halakouee, Comparison of wall building materials using modern technologies LSF, ICF, 3D panel and block Leca in order to stylize walls of buildings using AHP decision method, in: National conference on civil engineering and architecture in urban management in 21st century, Karaj, Iran, (2018).
- [9] F. Zarei, M. J. Kazemini, B. Mardani, Determine the most suitable building roof system using the fuzzy hierarchy process analysis, in: 3rd national conference on civil engineering, architecture and urban development, Babol, Mazandaran, Iran, (2017).
- [10] Z. Namdary, S. Rezaian, N. Jaafarzadeh, Environmental effects of brick kilns factories in Ghohab area of Esfahan, Iran. *Journal of environmental science*, 39(3) (2013).
- [11] M. Azmoodeh, A. S. Moghadam, An investigation on the analytic hierarchy process (AHP): Optimum rehabilitation process of the unreinforced masonry buildings, *Journal of civil engineering*, Ferdowsi university of Mashhad, 23(1) (2011).
- [12] M. Ramezani, M. Bahrkazemi, Selection the best external wall of buildings for energy saving by AHP technique, *Iranian journal of energy*, 14(3) (2012).
- [13] H. Ghodsipour, Analytical hierarchy process (AHP), Amir Kabir university of Technology, Tehran, Iran, (2016).
- [14] D. Olsen, A. Khatami Firoozabadi (translator), Multi-criteria decision-making methods, Marandiz, Tehran, Iran, (2008).
- [15] Housing industrialization road map and strategic plan, General contractor of housing industrialization in Iran, MAPSA Co., Tehran, Iran, (2010).
- [16] Institute of standards and industrial research of Iran, Building bricks-criteria for energy consumption in production processes, ISIRI No. 7965, (2011).
- [17] M. Delnavaz, M. R. Mirzahosini, H. Jan-nessari, Environmental impact of concrete industry in Iran, in: 13th national civil engineering students conference, Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran, (2006).
- [18] Curriculum and textbooks development office, The titles of technical and vocational courses in the academic year, Organization for educational research and planning, Ministry of education, Iran, (2011).
- [19] Plan and budget organization, Base unit prices of building constructions, Presidential office, Tehran, Iran, (2011).
- [20] Office of Iran planning for electricity and energy, Energy balance sheet 2011, Ministry of power, Iran, (2011).
- [21] S. Forootani, Materials and building, Nashr-e
- Ø از میان چهار معیار مؤثر در انتخاب بهترین گزینه‌ی دیوارچینی، معیار اقتصادی، در میان متخصصان و فعالان حوزه‌ی ساختمان در ایران، بیش‌ترین درجه از اهمیت را به خود اختصاص می‌دهد.
- Ø معیار زیست محیطی، علی‌رغم اهمیت آن در دنیای امروز، کمترین وزن و ارزش را بر اساس نظرات ارائه شده توسط صاحب‌نظران صنعت ساختمان دریافت نموده است.
- Ø در میان زیرمعیارهای در نظر گرفته شده برای معیارهای چهارگانه‌ی ارزیابی، زیرمعیارهای «میزان مصرف آب»، «هزینه‌ی خرید و انتقال مصالح»، «وزن فیزیکی دیوار» و «سرعت انجام کار» به ترتیب به عنوان با ارزش‌ترین پارامترهای زیست محیطی، اقتصادی، فنی و اجرایی از سوی صاحب‌نظران تشخیص داده شدند.
- Ø از میان پنج گزینه‌ی رایج دیوارچینی در نظر گرفته شده در این تحقیق، صفحات گچی و پانل‌های سه بعدی بهترین گزینه‌های دیوارچینی دوستدار محیط زیست، صفحات گچی و آجرهای فشاری اقتصادی‌ترین گزینه‌ها و صفحات گچی و بلوک‌های AAC به عنوان بهترین گزینه‌های اجرایی شناخته شدند.

مراجع

- [1] A. Ranjbar, S. A. Torabi, F. Hakimpour, Urban waste landfill site selection using a hybrid MADM approach based on AHP, *Journal of geomatics science and technology*, 4(2) (2014) 217-230.
- [2] A. Asghrian Najafabadi, T. Mesri, Prioritization of waste disposal methods using AHP analytical hierarchy process, in: First conference on environmental refining technologies, Sharif university of technology, Tehran, Iran, (2011).
- [3] M. Tafti, N. Mehrdadi, A. Torabian, H. Neyeb, Determination of important quality parameters in urban wastewater treatment plants using analytical hierarchy process (AHP), in: International conference on science, engineering and environmental technologies, University of Tehran, Tehran, Iran, (2015).
- [4] M. Ghasemi, N. Mehrdadi, S. Rasi-Nezami, The choice of anaerobic treatment process for dairy wastewater using analytical hierarchy process (AHP), in: 10th international congress on civil engineering, Tabriz university, Tabriz, Iran, (2011).
- [5] G. Zahedi, H. Jangali, M. Abolhassani, Analytical hierarchy of air pollution control systems, in: 12th Iranian national chemical engineering congress, Sahand industrial university, Tabriz, Iran, (2008).
- [6] B. Reza, R. Sadiq, K. Hewage, Sustainability assessment

Plan and budget organization, The analysis of base unit prices of building constructions, Presidential office, Tehran, Iran, (2010).

rowzaneh, Tehran, Iran, (2012).
[22] Plan and budget organization, Buildings specification code 55, Presidential office, Tehran, Iran, (2004).

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

H. Madadi Ghollehzo, S. Danesh, M. Tavakkolizadeh, Environmental, economical, technical and operational assessments of common types of separating wall systems in Iran using Analytical Hierarchy Process (AHP), Amirkabir J. Civil Eng., 52(5) (2020) 1313-1330.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15317.5885](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15317.5885)

