



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

رسول احمدی*

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

تاریخچه داوری:

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

کلمات کلیدی:

فناوری نوین
ریسک
معیار ارزیابی
ایمنی
بهره برداری
صنعتی سازی

خلاصه: ارزیابی فناوری‌های نوین ساختمانی بر اساس تحلیل کمی و قبل از بکارگیری فناوری در صنعت ساختمان، می‌تواند میزان ریسک استفاده از یک فناوری را حداقل نماید. روش پژوهش در این مقاله تجربی-نظری است. بخش تجربی شامل بررسی اطلاعات ۴۵ نوع فناوری اجرا شده، برداشتهای میدانی و آسیب شناسی آنها می‌باشد و در بخش نظری، طراحی ۳۳۰ سوال ارزیابی کمی توسط نگارنده و دریافت نقطه نظرات دانشگاه‌های معتبر کشور در خصوص سوالات طرح شده و در نهایت ارائه مدل ریاضی معیارهای ارزیابی می‌باشد. سوالات به منظور تامین دو هدف ایمنی و رقابتی طراحی شده است. مدل ریاضی ارائه شده برای اولین بار توسط نگارنده و تحت عنوان مثلث معیارهای ارزیابی فناوری‌های نوین ساختمانی در این مقاله ارائه می‌گردد. طول اضلاع این مثلث برابر امتیاز کسب شده از هر یک از سوالات مربوط به کیفیت، هزینه و سرعت ساخت برای هر فناوری می‌باشد که سه معیار اصلی ارزیابی کمی یک فناوری را تشکیل می‌دهند. مثلث ارزیابی نشان می‌دهد چنانچه طول ضلع کیفیت در ارزیابی یک فناوری صفر گردد، به منزله بازدارندگی و منع استفاده از آن فناوری می‌باشد. ارائه مدل مثلث نرمال شده برای معیارهای ارزیابی، به منظور دستیابی به هدف رقابتی بوده است. طول هر یک از اضلاع این مثلث می‌تواند 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 فناوری در ارتباط به آن معیار می‌باشد.

۱- مقدمه

صنعتی را مد نظر قرار می‌دهند. در حالی که کشورهای توسعه یافته عمدتاً 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 فناوری‌های نوین ساختمانی به روش تولید صنعتی بهره می‌برند و از حیث شاخص‌های اصلی و تاثیرگذار تقریباً یکسان بوده و تفاوت‌های جزئی دارند. چالش اساسی در بکارگیری یک فناوری ساختمانی، امکان سنجی استفاده از فناوری 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 پروژه‌های تامین انبوهی مسکن کمک شایانی به دست اندر کاران صنعت ساختمان نمی‌نماید. پژوهشگران متعددی تلاش نموده اند از تجربیات فناوری‌های ساخته شده در خصوص پروژه‌های آتیه استفاده نمایند. ادوارد و همکاران [۱] در سال ۲۰۲۱ میلادی یک پروژه مهم ساختمانی به شیوه

در کشورهای توسعه یافته تاریخچه صنعتی سازی و استفاده از فناوری‌های 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 بکارگیری فناوری‌های نوین ساختمانی در پروژه‌های بلند مرتبه سازی و ساختمانهای یک و دو طبقه سریع‌الاحداث 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 کاملاً احساس می‌شود. بعنوان مثال در اکثر کشورهای آسیایی، امریکای جنوبی و آفریقا تامین انبوهی مسکن عمدتاً با ساختمانهای ۲ الی ۱۵ طبقه تامین میگردد و به منظور دستیابی به این هدف، بکارگیری فناوری‌های نوین ساختمانی به شیوه تولید

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



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 از نظر طراحی، 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 بطوریکه معیار کیفیت ۱۰۰ سوال، معیار هزینه ساخت ۱۵۰ سوال و معیار سرعت ساخت ۸۰ سوال و پاسخ سوالات تماما بصورت انتخاب گزینه (تستی) می‌باشند. سوالات علاوه بر قرارگیری در یکی از این سه معیار فوق، در یکی 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

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، تعمیر 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 بر مبنای 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 قرار می‌دهند. این پژوهش از پرداختن به تاثیرات حمل و نقل از نظر کیفی و مهندسی ساخت صرف نظر کرده است. مونا و همکاران [۳] در سال ۲۰۲۰ میلادی، المان درب از اجزاء معماری در زیر سیستم صنعتی سازی یک ساختمان را مورد بررسی قرار داده 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 عمدتاً در خصوص 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 در خصوص ارزیابی فن‌آوریهای نوین ساختمانی بصورت موردی و بعضاً از حیث بعد اقتصادی برای یک پروژه مشخص و گاهی بررسی کیفی یک فن‌آوری بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد صنعت ساختمان در خصوص

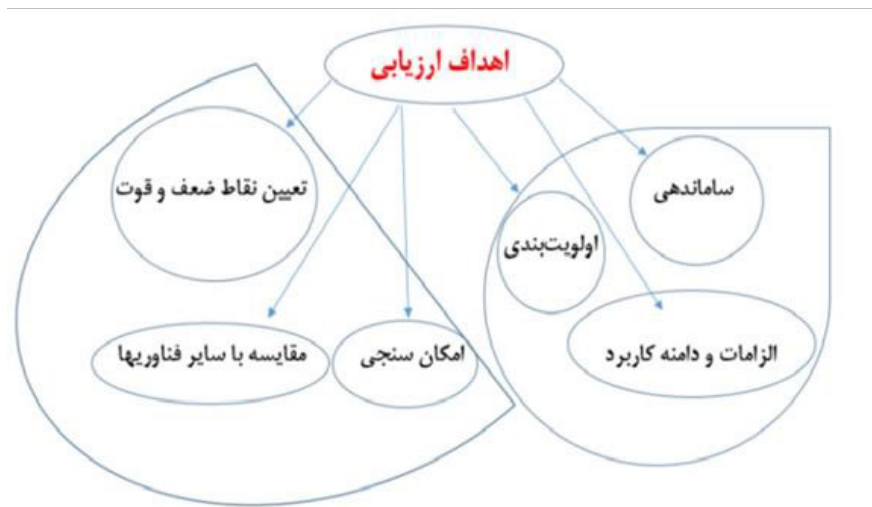


شکل ۱. چارت توصیفی و کیفی مهم و تاثیرگذار در فناوری نوین ساختمان

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

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 فناوری 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 قرار داده شده است. نکته قابل تامل در این چارت، توصیفی بودن تمامی این ویژگیها می‌باشد و اتفاقاً مشکل اصلی در ارزیابی فناوریهای نوین در همین نکته نهفته است، چرا که با تعدادی ویژگیها و شاخص‌های توصیفی اظهار نظر در مورد یک فناوری بطور دقیق و با 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 فناوری نوین در صنعت ساختمان، از معیارها و شاخص‌های

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. بطور کلی منظور از فناوریهای نوین ساختمانی در این مقاله شامل کلیه فناوریهای 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 فناوری 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



شکل ۲. اهداف ارزیابی یک فناوری نوین ساختمانی

Fig. 2. Objectives of evaluating a new construction technology

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 فناوری را بعهده دارند و عدم تامین آنها به منزله منع بکارگیری آن فناوری در صنعت ساختمان خواهد بود و شامل ساماندهی ، اولویت بندی ، الزامات و دامنه کاربرد فناوری می‌باشند. به منظور تشریح 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 ؟

ارزیابی ساماندهی شده و بصورت کمی برای تمامی فناوری‌های 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 فناوریهای نوین ساختمانی و معیارهای ارزیابی

در گام اول شایسته است تا اهداف ارزیابی یک فناوری 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

امتیاز پاسخ	پاسخ سوال
(۱)	الف- از سیستم های مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ کشور ایران می‌باشد.
(۰/۹۰)	ب- از سیستم های متداول در آئین نامه های لرزه ای معتبر دنیا می‌باشد.
(۰/۵۰)	ج- با اصلاحات جزئی میتوان سیستم سازه ای مناسب ایجاد نمود
(۰)	د- فاقد سیستم باربر جانبی 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 اشاره قرار می‌گیرند و یا تاثیرگذاری چندانی در ارزیابی یک فنآوری ندارند. سه معیار اصلی بیان شده آنقدر مهم و تاثیرگذار در ارزیابی فناوریهای نوین 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.

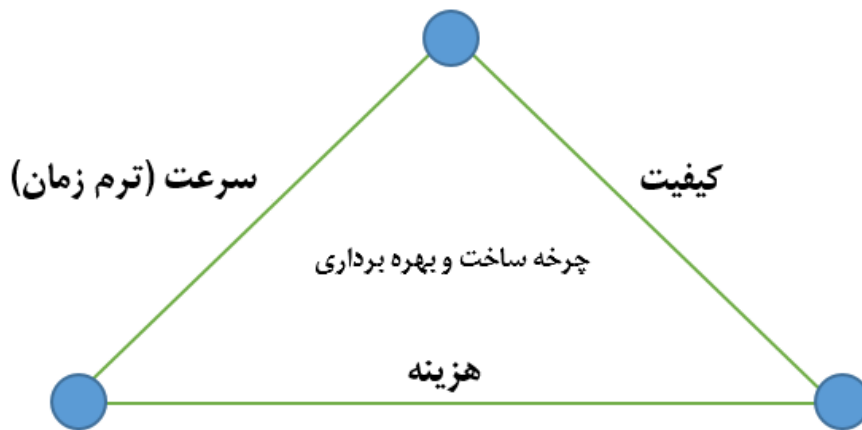
چنانچه پاسخ سوال گزینه "د" باشد امتیاز کسب شده صفر خواهد بود که نتیجه آن طول صفر ضلع کیفیت در مثلث معیارهای ارزیابی می‌باشد و این بدان معناست که این سیستم هدف ایمنی را تامین نمی‌نماید و بکارگیری این فنآوری در کشورهای لرزه خیز مجاز نخواهد بود. ضریب وزنی سوال در صورت غیر صفر بودن برابر ۱ می‌باشد. شایسته 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 فناوریها در گزینش رقابتی می‌باشد. به منظور تشریح این هدف یکی از سوالات معیار ارزیابی کیفی را مطرح می‌گردد.

سوال: میزان عملیات کارگاهی؟

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



شکل ۳. مثلث ارزیابی فناوری یک نوین ساختمانی

Fig. 3. Technology evaluation triangle of a construction innovation

۲-۳- مدل ریاضی معیارهای اصلی ارزیابی فناوری

معیارهای اصلی در ارزیابی یک فناوری در تمامی پروسه‌های ایمنی ساختمان، تولید و ساخت، حمل و نقل، نصب و مونتاژ، بهره برداری و اتمام عمر ساختمان، موثر بوده و تاثیرگذاری هر یک میبایستی تعیین گردد. عبارت 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 پیشنهاد 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 می‌گردد که در شکل 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 فناوری 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 فناوری که تامین کننده امنیت جانی و روانی کاربران می‌باشد، بسیار حائز اهمیت بوده و شرط لازم در بکارگیری فناوری در صنعت ساختمان است و عدم تامین آن نقش بازدارندگی در قابلیت استفاده از فناوری را خواهد داشت. این ترم از معیار کیفیت در زیر مجموعه اهداف ایمنی قرار دارد. ب - کیفیت فنی فناوری 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 برداری. در واقع این ترم از معیار کیفیت، تاثیرگذار در سطح کیفیت بهره برداری بوده و در زمره اهداف رقابتی قرار می‌گیرد. میزان امتیاز حاصل 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 فناوری نقش بسیار مهم و انکارناپذیر در ارزیابی آن خواهد داشت، منظور از کمینه سازی هزینه های تولید فناوری 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

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 فن‌آوری‌ها 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 مبنایستی 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 نامه‌ها و مقررات ملی ساختمان در کشور مد نظر و یا سایر آئین نامه‌ها معتبر دنیا
- ۲- بهره‌گیری 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 بهره‌بردار در کشور
- ۷- حداقل بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و حفظ پایانی
- ۸- تخریب و جمع‌آوری 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 شاخص‌های کلی تولید صنعتی شامل سبک‌سازی، سریع‌سازی و آسان‌سازی

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

رقابتی قرار می‌گیرد، لیکن نقش موثری در امکان‌سنجی یک فن‌آوری بعده دارد. بی‌شک 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 کمیته 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 ترمه‌هایی از قبیل ارزش زمین، هزینه‌های زیربنای تامین انبوهی مسکن، شهرسازی و اقتصاد شهری و از این قبیل را شامل نمی‌شود. میزان امتیاز حاصل 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 بهره‌برداری تاثیر مستقیم در هزینه‌های تمام شده داشته و در زمره اهداف رقابتی قرار می‌گیرد. در این مقوله تاثیر زمان بر ارزش افزوده سرمایه در ایجاد فن‌آوری مد نظر نمی‌باشد بلکه زمان مورد نیاز از پروسه شروع تا بهره‌برداری از یک فن‌آوری مطابق آنچه که بیان گردید، منظور می‌گردد. میزان امتیاز حاصل 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.

۲-۵-۵- 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

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- توانایی تنوع پذیری در نما، تغییر موقعیت در جداکننده ها

۸- امکان تامین ویژگی های مورد نیاز در مباحث انرژی، آکوستیک

۹- استحکام، حفظ حریم و عملکرد

۲-۴-۴-۷- انرژی

۱- پتانسیل تغییرات با هدف بکارگیری در اقلیم های مختلف

۲- رفتار مشخص از حیث انتقال حرارت و بارهای حرارتی

۳- قابلیت استفاده از انرژی های طبیعی و سیستم های 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 ویژگی های معماری و انرژی

۳- نتایج و بحث

شاخص های 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 می شود و آن عبارتست از: نحوه لحاظ نمودن (در صورت نیاز تبدیل) این

ساختمانی می تواند 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 می باشد. لذا مبحث مربوط به تاسیسات مکانیکی و برقی مد نظر نبوده و به آن پرداخته نمی شود. 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- شاخص های ایمنی شامل:

۲-۴-۳-۱- سازه

۲-۴-۳-۲- آتش

۲-۵-۴- شاخص های بهره برداری شامل:

۲-۴-۴-۱- معماری

۲-۴-۴-۲- انرژی

۲-۴-۴-۳- آکوستیک

با توجه به اینکه ویژگی های اختصاصی مبنای بکارگیری معیارهای اصلی ارزیابی فنآوریهای نوین در قالب مدل مثلث معیارهای ارزیابی فنآوری می باشد لذا لازم است این ویژگی ها نیز همانند ویژگی های کلی با جزئیات دقیق زیر تشریح می گردد.

۲-۴-۴-۴- سازه

۱- رفتار مشخص سازه ای، قابلیت درک رفتاری برای مهندسی 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

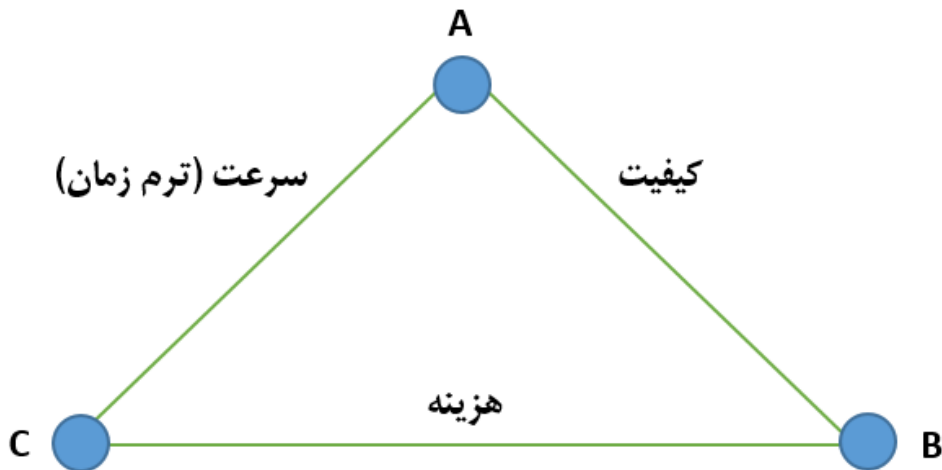
با اجزاء غیر سازه ای

۸- کارایی سیستم در بارهای بهره برداری و فوق العاده و بهینه بودن از

حیث طرح و اجرا

۹- توانایی سیستم در تهیه آئین نامه مربوطه

۱۰- امکان مقاوم نمودن در مقابل عوامل خوردنده



شکل ۴. مدل مثلث معیارهای ارزیابی فناوری نوین ساختمانی

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

۳-۳- نسبت یک ضلع به مجموع اضلاع مثلث

$$\begin{aligned} \lambda &= AB/L, \\ \lambda &= BC/L, \\ \lambda &= CA/L \quad L = AB + BC + CA \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$AB, BC, CA > 0 \quad (4)$$

این ویژگی جزء لاینفک تعریف یک مثلث است، حال از این مفهوم اصلی در قالب اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی فناوری 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 فناوری 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 فناوری خاص بود. در ادامه گروه بندی عوامل منتج به ضلع صفر در این مثلث ارائه و تشریح می‌گردد.

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 نسبت 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 فناوری 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.

$$AB, BC, CA > 0 \quad (1)$$

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

$$\begin{aligned} AB + BC &> CA, \\ BC + CA &> AB, \\ CA + AB &> BC \end{aligned} \quad (2)$$

خواهد داشت چرا که فنآوری نوین می تواند یک سیستم کامل ساختمانی، زیر سیستم اجزاء ساختمانی، مواد و مصالح مصرفی و یا شیوه نوین اجرایی 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 بعهد 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 ضلع 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.

$$\begin{aligned} AB + BC &> CA, \\ BC + CA &> AB, \\ CA + AB &> BC \end{aligned} \quad (5)$$

در ایده مثلث معیارهای ارزیابی، یکی از خصوصیات بارز مورد استفاده بکارگیری قضیه بیان شده در این بخش می باشد، این موضوع در ارزیابی یک فنآوری بسیار حائز اهمیت می باشد. این رابطه تنها در صورتی نقض می شود 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 می دهد و یا اینکه بکارگیری این فنآوری توأم با ریسک بالا خواهد

در این خصوص برای یک فنآوری دو سناریو رخ می دهد، سناریو اول عدم تامین ایمنی ساختمان مرتبط با فنآوری مورد بحث می باشد که در دو ترم ایمنی سازه و ایمنی آتش مطرح می گردد و بدان معناست که فنآوری مورد بحث داده های 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 پیچیدگی های است که خارج از حوصله مهندسی در عملیات ساخت و تولید، مواد و مصالح و شیوه اجرا می باشد و این امر سبب می گردد تا این ضلع از مثلث ارزیابی بسیار کوچک گردد، بطوریکه از نظر مهندسی می توان آنرا صفر منظور نمود. در خصوص ابزارهای اندازگیری معیار کیفیت که همانا تعیین طول مثلث می باشد 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 می باشد، بدیهی است کاهش بهینه هزینه ها از مهمترین و چالش برانگیزترین پارامترهای تعیین کننده یک پروژه در صنعت ساختمان می باشد. 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 می تواند 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 کمیت های قابل تعیین، ضلع معیار کمینه سازی هزینه تعریف می شود. بدیهی است چنانچه ویژگی های کمی این معیار نتوانند در کمینه سازی هزینه ها موثر باشند باعث کوچک شدن این ضلع 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 می شود.

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



شکل ۵. تصویر شماتیک از مثلث ارزیابی برای یک فناوری پر ریسک

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

مفهومی مثلث نقض می‌شود که در بند ۲-۳ بررسی گردیده است .

$$\begin{aligned} \lambda &= AB/L, \\ \lambda &= BC/L, \\ \lambda &= CA/L \quad L = AB + BC + CA \end{aligned} \quad (7)$$

هدف از طرح این پارامتر ، ارائه معیاری از ریسک مهندسی در استفاده یک فناوری 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.

$$0 < \lambda < 0/5 \quad (8)$$

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

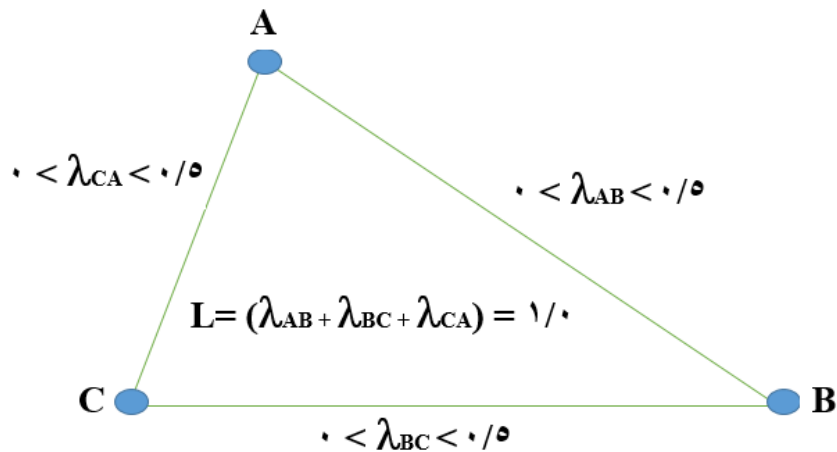
$$\lambda_{AB} + \lambda_{BC} + \lambda_{CA} = 1, 0 < \lambda < 0/5 \quad (9)$$

بود. در شکل شماره (۵) تصویر شماتیک از این اصل نشان داده شده است . همانطور که ملاحظه می‌شود، برای یک فناوری مشخص هر مقدار که مثلث ارزیابی لاغر و کشیده باشد ، ریسک بکارگیری آن فناوری 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 فناوری در حالت کلی با اضلاع نامساوی خواهد بود .

۳-۶- نسبت یک ضلع به مجموع اضلاع مثلث

$$\lambda = AB/L, \quad L = (AB + BC + CA) \quad (6)$$

این رابطه در مدل مثلث معیارهای ارزیابی یک فناوری 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) می‌تواند 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 فناوری مورد بحث میباشد که در بند ۱-۱-۳ به تفسیر به آن 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 نمی‌شود ، بنابر این مقدار صفر در آن معنا نخواهد داشت . از طرفی مقدار این پارامتر ۰/۵ هم نمی‌تواند باشد چرا که در اینصورت تعریف



شکل ۶. تصویر شماییک از مثلث نرمال شده معیارهای ارزیابی در یک فناوری

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

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

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

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

۳- ضلع مربوط به کیفیت فناوری نوین در مثلث معیار ارزیابی از دو بخش ایمنی و رقابتی تشکیل می‌شود که عدم تامین ایمنی (سازه و حریق) در یک فناوری 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 استفاده از فناوری نوین در صنعت ساختمان می‌باشد.

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 فناوری 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 فناوریهای 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 فناوریهای نوین ساختمانی را در دو بخش اهداف ایمنی و رقابتی ارزیابی نمود.

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

۴- مثلث نرمال شده ارزیابی با منظور نمودن پارامتر ریسک برای معیارهای ارزیابی با اهداف رقابتی بکار برده می‌شود که در آن اولاً: 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 قرار می‌گیرد (بجز صفر و ۰/۵) ثانیاً: 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 فناوری 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>

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



