

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

## رسول احمدی

بخش مهندسی سازه و اینیه فنی - مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

چکیده

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 انها میباشد 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 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 میدهد. 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 (جز 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 بر ریسک بودن آن فناوری در ارتباط به آن معیار میباشد.

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

### ۱- مقدمه

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 بکاری گیری فناوریهای نوین ساختمانی در پژوهه های بلند مرتبه سازی و ساختمانهای یک و دو طبقه سریع الاحادث 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 اکثر کشورهای آسیایی ، امریکای جنوبی و افریقا تامین انبوهی مسکن عمدتا با ساختمانهای ۲ الی ۱۵ طبقه تامین میگیرد و به منظور دستیابی به این هدف، بکارگیری فناوریهای نوین ساختمانی به شیوه تولید صنعتی را مد نظر قرار میدهد. در حالی که کشورهای توسعه یافته عمدتا استفاده از ساختمانهای بلند مرتبه را ترجیح میدهدن. 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 تقریبا یکسان بوده و تفاوت های 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 موردنی انجام میشود. این نوع ارزیابی در مرحله امکان سنجی پژوهه های تامین انبوهی مسکن کمک شایانی به دست اندر کاران صنعت ساختمان نمی نماید. پژوهشگران متعددی تلاش نموده اند از تجربیات فناوریهای ساخته شده در خصوص پژوهه های آتیه استفاده نمایند. ادوارد و همکاران [۱] در سال ۲۰۲۱ میلادی یک پژوهه مهم ساختمانی به شیوه صنعتی سازی با فن آوری ساخت پرینتی در کشور جمهوری چک را مطالعه نموده اند تا بتوانند هزینه های پژوهه از حیث ساخت و عمر بهره برداری به حداقل برسانند، بدین منظور شاخصها و پارامترهای از عوامل تاثیرگذار بر هزینه های پژوهه را تعیین کرده اند 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 هزینه های فوق را بروی اقتصاد پژوهه 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 بهره برداری ، مکانیزم اجرا فناوری ساختمان پرینتی و به روز رسانی هزینه ها در مراحل مختلف ساخت و هزینه های مهندسی تاثیر قابل ملاحظه ای بروی ارزیابی اقتصادی این ساختمان دارد. نقد اصلی وارد بر این پژوهش بکارگیری از فناوری 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 جابجاگی ، اثر آن بروی شعاع سرویس دهی کارخانه

و تاثیر در هزینه تمام شده ساختمان را مورد بررسی قرار میدهدند . این پژوهش از پرداختن به تاثیرات حمل و نقل از نظر کیفی و مهندسی ساخت صرفنظر 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 قرارداده و تلاش کرده اند 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 پژوهه های ساختمانی احداث شده با روش تولید صنعتی و بصورت موردي پژوهش نموده اند که عمدتا درخصوص روشهای اجرا در یک پژوهه خاص و یا از دیدگاه کاربرد فناوری در معماری یک ساختمان مشخص میباشد.

#### ۱- خلاء تحقیقاتی

تا کنون عده پژوهشهای صورت گرفته درخصوص ارزیابی فناوریهای نوین ساختمانی بصورت موردي و بعض از حیث بعد اقتصادي برای یک پژوهه مشخص و گاهها بررسی کیفی یک فناوری بوده است. بررسیها نشان میدهد صنعت ساختمان در خصوص ارزیابی کمی و جامع فناوریهای 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 فناوری نوین را ارائه نماید. در این پروسه پارامترها و متغیرهای تاثیرگذار در موقعيت یا عدم موقعيت یک فناوری، با تعیین میزان تاثیرگذاری هریک از آنها، تحلیل گردیده است تا روش ارزیابی فناوریهای نوین بصورت کمی و امتیاز کسب شده برای هر فناوری بدست آید. تعیین معیارهای بازدارندگی(وتئی) از حیث اینمنی و معیارهای رقابتی ازنظر 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 فناوریهای فناوری نوین ساختمانی میباشد.

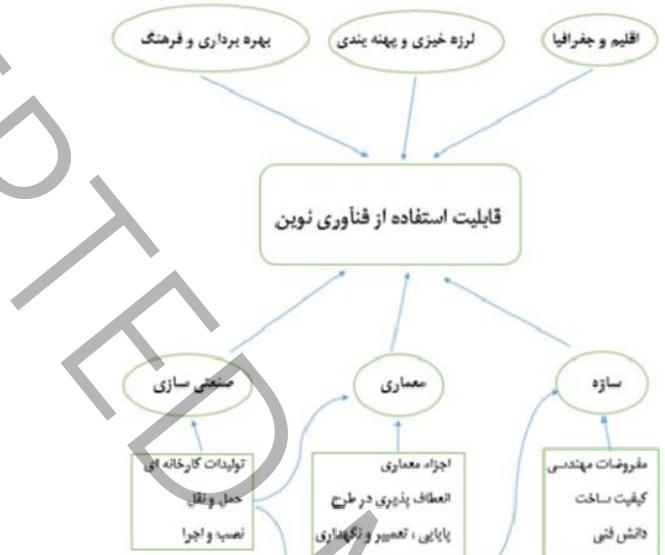
#### ۲- الگوی پژوهش : تجربی-نظری

بخش تجربی پژوهش شامل بررسی ۴۵ نوع فناوری اعم از سیستم کامل ساختمانی و زیر سیستم بوده است این بخش شامل جمع آوری و ساماندهی اطلاعات هر فناوری، برداشتهدی میدانی از عملکرد فناوریهای نوین اجرا شده ، تعیین نقاط ضعف و قوت فناوری، آسیب شناسی و تجزیه تحلیل اطلاعات مبیاشد 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 ساخت ۸۰ سوال و پاسخ سوالات تماما بصورت انتخاب گزینه(تستی) میباشد. سوالات علاوه بر قرارگیری در یکی از این سه معیار فوق، دریکی از دو گروه هدف ارزیابی اینمنی و رقابتی نیز دسته بندی میشوند. سوالات از نظر تاثیرگذاری در ارزیابی یک فناوری، دارای یک ارزش نمیباشد ، 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 فناوری در مناطق لرده خیزی یک کشور مطرح میگردد اهمیت و تاثیرگذاری متفاوتی نسبت به سوال مربوط به روشهای مجاز تحلیل سازه در آن فناوری خواهد داشت. بنابراین ضریب وزنی هر سوال متفاوتی خواهد بود. به منظور بهره گیری از خرد جمعی ، سوالات و گزینه های پاسخ و نیز 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 اولین بار ارائه گردیده است.

بطورکلی 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 میباشدند و البته تمامی این موارد میتوانند بصورت صنعتی ، نیمه صنعتی و یا به روشهای معمول تولید شوند. لذا هر آنچه در مقاله میباشدند و البته 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 آورده؟؟؟ تا ضمن امکان سنجی و حداقل نمودن ریسک پژوهه 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 فناوری نوین نشان داده شده است که کم و بیش این چارت در بین پژوهشگران این امر مورد توافق است . نمونه بارز آن پژوهشهاي 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 تأمل در این چارت ، توصیفی

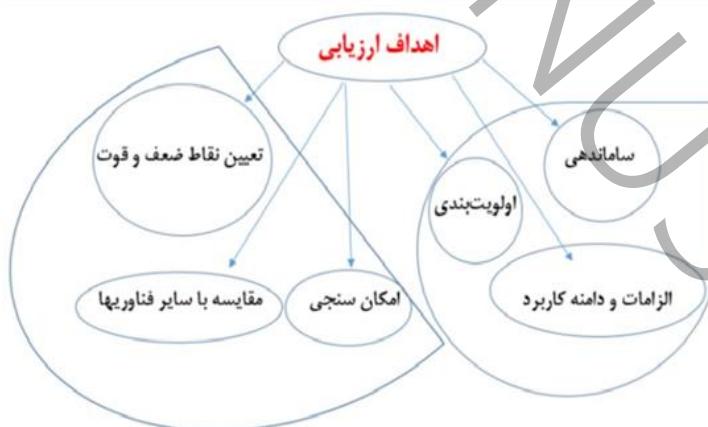
بودن تمامی این ویژگیهایها میباشد و اتفاقاً مشکل اصلی در ارزیابی فناوریهای نوین در همین نکته نهفته است ، چرا که با تعدادی ویژگیها و شاخصهای توصیفی اظهار نظر در مورد یک فناوری بطور دقیق وبا قابلیت اطمینان از حیث کاربری و موفقیت در صنعت ساختمان ، امکان پذیر نمیباشد . در این مقاله تلاش گردیده است تا علاوه بر قضایت بر اساس ویژگیهای توصیفی و قضایت مهندسی برای یک فناوری نوین در صنعت ساختمان ، از معیارها و شاخصهای 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 میشود



شکل شماره ۱ : چارت توصیفی و وکیفی مهم و تاثیرگذار در فناوری نوین ساختمان

Figure No. 1: Descriptive and qualitative chart important and influential in modern building technology

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 :



شکل شماره ۲ : اهداف ارزیابی یک فناوری نوین ساختمانی

Figure 2: Objectives of evaluating a new construction technology

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  
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 میباشد. به منظور تشریح این هدف، یکی از سوالات معیار ارزیابی کیفی را که در زیر مجموعه هدف اینمنی نیز قرارداد، بیان میگردد:

سوال : نوع سیستم باربر جانبی سازه ؟

#### گزینه پاسخ

- امتیاز پاسخ
- (۱) الف- از سیستم های مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ کشور ایران میباشد.
  - (۰,۹۰) ب- از سیستم های متداول در آئین نامه های لرزو ای معتبر دنیا میباشد.
  - (۰,۵) ج- با اصلاحات جزئی میتوان سیستم سازه ای مناسب ایجاد نمود
  - (۰) د- فاقد سیستم باربر جانبی میباشد.

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 اینمنی را تامین نماید و بکارگیری این فناوری در کشورهای لرزو خیز محاجز نخواهد بود. ضرب ب 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 گزینه های یک ساختمان با فناوری پرینتی بوده است کمک بگیریم، اگر سوال اخیر در مورد فناوری 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 لرزو خیز ایران محاجز نخواهد بود، چراکه ساختمانهای پرینتی فاقد ساختار سازه ای میباشد.

#### ۲-۱-۲ هدف رقابتی :

نیل به این اهداف تامین کننده میزان ، موفقتی و ریسک پذیری فناوری خواهد بود. عبارت دیگر معیارهای برگرفته از این اهداف مبنای سرمایه گذاری در تامین انبوهی مسکن از حیث اقتصاد مسکن میباشد و شامل امکان سنجری ، 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 ؟

#### امتیاز پاسخ

- (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 فناوری متفاوت خواهد بود. اما امتیاز هر پاسخ غیر صفر است. ضرب ب وزنی این سوال برابر ۰/۹ میباشد.

۲-۲-۱-۱- معیارهای اصلی ارزیابی فناوری  
حال با توجه به تشریح اهداف مورد نظر در ارزیابی یک فناوری ، 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 :

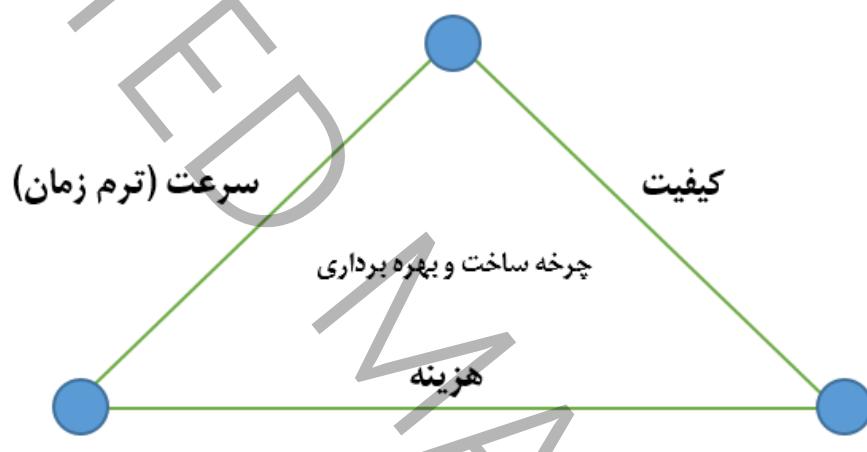
- ۲-۲-۱-۱- کیفیت ساخت
- ۲-۲-۲- گزینه ساخت
- ۲-۲-۳- سرعت ساخت

ذکر این نکته ضروریست که سایر ترمehای فرعی مرتبط بعنوان یک معیار یا در محتوای یکی از ترمehای فوق الاشاره قرارمیگیرند و یا ثاثیرگذاری چندانی در ارزیابی یک فناوری ندارند. سه معیار اصلی بیان شده آنقدر مهم و تاثیرگذار در ارزیابی فناوریها نوبن ساختمانی میباشند که صرفنظر از اینکه فناوری 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.

### ۲-۳-مدل ریاضی معیارهای اصلی ارزیابی فناوری

معیارهای اصلی در ارزیابی یک فناوری در تمامی پروسه های ایمنی ساختمان ، تولید و ساخت ، حمل و نقل ، نصب و مونتاژ ، بهره برداری و اتمام عمر ساختمان ، موثر بوده و تاثیرگذاری هریک مبایستی 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 پیشنباز 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 است . همانطور که ملاحظه میشود اضلاع این مثلث را سه معیار اصلی کیفیت ، کمینه سازی هزینه و سرعت تشکیل میدهند . قبل از آنکه به خصوصیات این مثلث پرداخته شود ، لازم است هر یک از اضلاع آن به درستی و کامل تعریف گردد .



شکل شماره ۳ : مثلث ارزیابی فناوری یک نوین ساختمانی

Figure No. 3: Technology evaluation triangle of a construction innovation

#### ۱-۲-۳-صلع 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 سوالات ، طول ضلع مربوط به کیفیت ، مثلث را تعیین میکند .

#### ۲-۲-۳-صلع معیار هزینه ساخت

هزینه تمام شده یک فناوری نقش بسیار مهم و انکارنایپذیر در ارزیابی آن خواهد داشت ، منظور از کمینه سازی هزینه های یک 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

رقابتی قرار میگیرد ، لیکن نقش موثری در امکان سنجی یک فناوری بعده 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 ترمهاي از قبيل ارزش زمين ، هزينه هاي زيربنای تامين انبوهي مسکن ، شهرسازی و اقتصاد شهری و از اين قبيل را شامل نميشود . ميزان امتياز حاصل از سوالات معیار هزینه ساخت با احتساب ضريب وزني سوالات ، طول ضلع مربوط به هزینه ساخت مثلث را تعیين ميکند.

### 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 فناوری در قالب سیستم کامل ساختمانی ، زیر سیستم اجزاء ساختمانی ، مواد و مصالح مصرفي و يا شيوه نوين اجرائي خواهد بود و اين معیار را در چرخه ارزیابی تعریف میکند ، بعارت دیگر سرعت ساخت و رساندن فناوری به بهره برداری تاثیر مستقیم در هزینه هاي تمام شده داشته و در زمرة اهداف رقابتی قرار میگيرد . در اين مقوله تاثير زمان بر ارزش افروده سرمایه در ايجاد فناوری مدل نظر نمیباشد بلکه زمان مورد نیاز از پروسه شروع تا بهره برداری از یک فناوری مطابق آنچه که بيان گردید ، منظور میگردد . ميزان امتياز حاصل از سوالات معیار سرعت ساخت با احتساب ضريب وزني سوالات ، طول ضلع مربوط به سرعت ساخت مثلث را تعیين ميکند .

### ۴- اعتبار سنجی مدل

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

### ۵- ساختهای ارزیابی

انتظار میروند با بکارگیری مدل مثلث معیارهای ارزیابی ، هر فناوری در جایگاه مشخصی از حیث قابلیت استفاده قرارگیرد و البته در بروز رسانی ارزیابی فناوریهای نوین ساختمانی احتمال ارتقاء یا تنزل جایگاه نیز وجود دارد . در واقع رشد ، توسعه و اصلاح هر یک از فناوریهای نوین ارزیابی شده در هر زمان و به روز رسانی آن سبب تغییر در ميزان امتياز کسب شده آن فناوری و همچنین تغییر در جایگاه آن فناوری و سایر فناوری ها در بانک اطلاعاتی موجود و به روز شده خواهد شد . منظور نمودن ویژگیهای منتج به تعیین امتياز و جایگاه یک فناوری مستلزم مشخص نمودن اجزاء تشکیل دهنده آن فناوری خواهد بود . بعارت دیگر اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی میبايستی دارای محتوى مهندسى برگرفته از انواع فناوریهای نوین ساختمانی در قالب سیستم ساختمانی کامل ، زیر سیستم اجزاء ساختمانی ، مواد و مصالح مصرفي و یا شيوه نوين اجرائي باشند . بعارت دیگر ویژگیهای مهندسى ، ارزش کاربردی به هر یک از اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی فناوری نوین خواهد داد . بنابراین بررسی اين ویژگیها بسیار حائز اهمیت بوده و در دو بخش ویژگیهای کلی و ویژگیهای اختصاصی در یک فناوری نوین مطرح میشوند .

### ۱- شاختهای کلی

۱- سازگاری با آئین نامه ها و مقررات ملی ساختمان در کشور مدنظر 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- تامين 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 کارخانه تولیدی

۱۰- تامين 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 فناوری:

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 مدنظر نبوده و به آن پرداخته نمیشود . بطور کلی ویژگیهای مهندسی در هر یک از تقسیم بندی فناوری نوین بیان شده بعنوان اجزاء اصلی ساختمان به شرح زیر خواهد بود.

#### ۲-۵-۱- شاخصهای ایمنی شامل :

۱-۲-۵-۱- سازه

۲-۵-۱-۲- آتش

#### ۲-۵-۲- شاخصهای بهره برداری شامل :

۱-۲-۴-۲-۱- معماری

۲-۴-۲-۲- انرژی

۳-۴-۲-۳- آکوستیک

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

#### ۱-۲-۵-۱- سازه

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

۲- امکان تحلیل خطی با نرم افزارهای متداول

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

۴- امکان توسعه در ساختمنهای میان مرتبه

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

۶- قابل کاربرد در تمامی پهنه بندیهای لرזה 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

#### ۱-۲-۵-۱-۲- حریق

۱- رفتار مشخص اجزاء در مقابل حریق

۲- تامین الزامات با توجه به تعداد طبقات مورد نیاز

#### ۱-۲-۵-۲-۱- 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

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 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 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 می نامیم. 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 :

۱- اضلاع مثلث معیارهای ارزیابی غیر صفر میباشند .

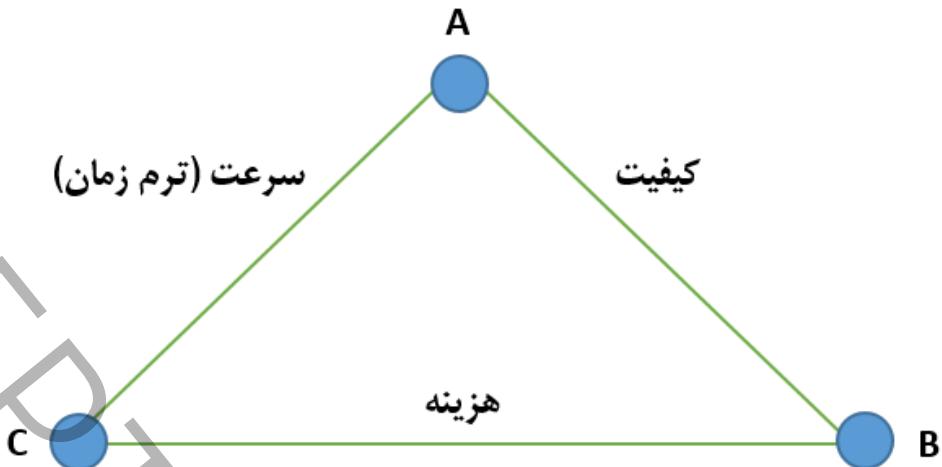
$$AB, BC, CA > 0 \quad (1)$$

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

$$AB + BC > CA \quad , \quad BC + CA > AB \quad , \quad CA + AB > BC \quad (2)$$

۳- نسبت یک ضلع به مجموع اضلاع مثلث

$$\lambda = \frac{AB}{L}, \lambda = \frac{BC}{L}, \lambda = \frac{CA}{L} \quad L = AB + BC + CA \quad (3)$$



شکل شماره ۴: مدل مثلث معیارهای ارزیابی فناوری نوین ساختمانی

Figure No. 4: Similar model of new construction technology evaluation criteria

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

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

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 . در این خصوص برای یک فناوری دو سناریو رخ میدهد ، سناریو اول عدم تامین ایمنی ساختمان مرتبط با فناوری مورد بحث میباشد که در دو ترم ایمنی سازه و ایمنی آتش مطرح میگردد و بدان معناست که فناوری 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 فناوری توانایی تامین ایمنی را دارد لیکن رعایت الزامات و مقررات فنی و نیز ارتقاء سطح کیفی فناوری 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 ، بطوریکه 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 .

۲-۱-۳- ضلع معیار کمینه سازی هزینه صفر گردد :

یکی از اهداف استفاده از فناوریهای 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 فناوری نوین ساختمانی دارای آثار قابل توجه در میزان رسیک و یا موفقیت یک پروژه خواهد داشت . یک فناوری 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 معیار کمینه 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 ، عملاً 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 .

۳-۱-۳- ضلع سرعت صفر گردد :

سرعت اجرای یک فناوری نوین تاثیرگذار در مدت زمان احداث ساختمان خواهد بود و البته این مهم بستگی به نوع فناوری نیز خواهد داشت چرا که فناوری نوین میتواند 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 فناوری بیشتر باشد ، مدت زمان تحمیل شده بر پروژه کمتر خواهد شد . نقش سرعت در بکارگیری یک فناوری 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 چغرافیای 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 بعده خواهد داشت . چنانچه زمان اجرای فناوری 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 میتواند طول این ضلع را به مقدار ناچیزی کاهش دهد که عملاً به صفر نزدیک خواهد بود .

### ۳-۲-مجموع طول دو ضلع از مثلث بزرگتر از ضلع دیگر میباشد.

$$AB + BC > CA \quad , \quad BC + CA > AB \quad , \quad CA + AB > BC \quad (2)$$

در ایده مثلث معیارهای ارزیابی ، یکی از خصوصیات بارز مورد استفاده بکارگیری قضیه بیان شده در این بخش میباشد ، این موضوع در ارزیابی یک فناوری 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 . عبارت دیگر نقض یکی از این روابط در خصوص یک فناوری نوین به منزله آنست که فناوری قابلیت استفاده خود را از دست میدهد و یا اینکه بکارگیری این فناوری توان با ریسک بالا خواهد 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 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 .



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

Figure 5: Your image is an evaluation triangle for a risky technology

### ۳-۳-نسبت یک ضلع به مجموع اضلاع مثلث

$$\lambda = AB/L \quad , \quad L = (AB + BC + CA) \quad (4)$$

این رابطه در مدل مثلث معیارهای ارزیابی یک فناوری نوین ، کاربرد مهندسی در تامین اهداف رقابتی خواهد داشت که در بند ۱-۲-۲ مقاله به تشریح آن پرداخته شده است. مقدار نسبت بیان شده در رابطه (۳) میتواند بین  $0 \text{ و } 0.5/0.5$  قرارگیرد . مقدار صفر این پارامتر چنانچه صورت کسر ضلع مربوط به معیار کیفیت در ارزیابی باشد به منزله عدم تامین اینمی ساختمان مرتبه با فناوری مورد بحث میباشد که در بند ۱-۱-۳ به تفسیر به ان پرداخته شده است و مطابق رابطه شماره (۴) بیان میشود ، اما تعريف این پارامتر در حوزه تامین اهداف رقابتی مد نظر است و اهداف اینمی را شامل نمیشود ، بنابر این مقدار صفر در آن معنا نخواهد داشت . از طرفی مقدار این پارامتر  $0/5$  هم نمیتواند باشد چرا که در اینصورت تعریف مفهومی مثلث نقض میشود که در بند ۲-۳ بررسی گردیده است .

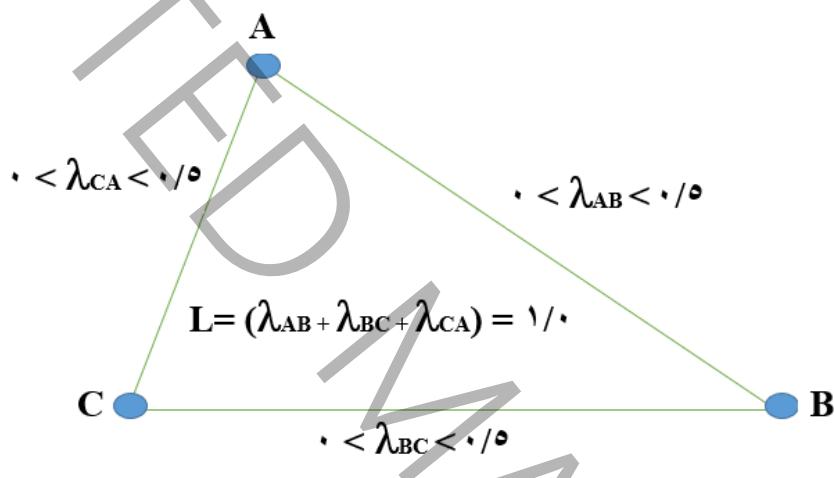
$$\lambda = AB/L, \lambda = BC/L, \lambda = CA/L \quad L = AB + BC + CA \quad (3)$$

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 (۵) قرار میگیرد.

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

مقدار این 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 . بعبارت دیگر با ارائه این پارامتر مثلث معیارهای ارزیابی به یک مثلث با طول اضلاع نرمال شده مطابق شکل شماره (۶) خواهد بود.

$$\lambda_{AB} + \lambda_{BC} + \lambda_{CA} = 1, 0 < \lambda < 0/5 \quad (6)$$



شکل شماره ۶: تصویر شما یک از مثلث نرمال شده معیارهای ارزیابی در یک فناوری

Figure 6: Your image is a normalized triangle of evaluation criteria in a technology

از رابطه شماره (۶) 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 از 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 ۲-۴ 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 .

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 اینمنی ( با زیر گروههای سازه و حريق) 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 اینمنی و رقابتی تشکیل میشود که عدم تامین اینمنی ( سازه و حريق) در یک فناوری سبب میگردد تا در ارزیابی کمی طول ضلع کمیت صفر گردد و مثلث تعريف خود را از دست میدهد و این به معنای بازدارندگی و منع استفاده از فناوری 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 قرار میگیرد (جز 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 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

α پارامتر ریسک مثلث نرمال شده ارزیابی

## ۶- منابع و مراجع

- Eduard Hromada , Stanislav Vitasek , Jakub Holcman, Renata Schneiderova Heralova and Tomas Krulicky, “Residential Construction with a Focus on Evaluation of the Life Cycle of Buildings” *Buildings* 2021, 11, 524. <https://doi.org/10.3390/buildings11110524>
- Petri Uusitalo & Rita Lavikka . (2021) “Technology transfer in the construction industry” *The Journal of Technology Transfer* 46, pages 1291–1320 (2021)
- 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
- Sobek, Werner “Nachhaltiges Bauen mit Stahl - Aufgabe für Architekten und Ingenieure”. Lecture held at the Internationaler Architektur-Kongress. Essen, Germany. Jan 13, 2010.
- ABB AG , Smart Home and Intelligent Building Control , Energy Efficiency in Buildings with ABB i-bus® KNX, , www.abb.com/knx , Germany, 2009 .
- Gambin, L. et al., Sector Skills Insights: Construction. Evidence Report 50. UKCES, London , 2012

- 7. Brinkley, M. SIPs: The New Build Standard. Homebuilding and Renovating, January , 2012.
- 8. ORNL, Building Technologies Research and Integration Center, ORNL, Oak Ridge, Tennessee, 2013, [www.ornl.gov/sci/ees/etsd/btric/](http://www.ornl.gov/sci/ees/etsd/btric/).
- 9. 4th International Conference and Exhibition on New Findings of Civil, Architectural and Iran Building Industry Ircivil 2019

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

Rasoul Ahmadi

Department of Structural Engineering and Technical Building - Road, Housing and Urban Development Research Center [r.ahmadi@bhrc.ac.ir](mailto:r.ahmadi@bhrc.ac.ir)

### Abstract

Evaluating new construction technologies based on quantitative analysis and before applying the technology in the construction industry can minimize the risk of using a technology. The experimental part includes the review of the information of 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 mathematical model presented for the first time by the author is presented in this article under the title of 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 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.