

ارائه الگوی تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان BIM

بهنام صالحی: کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، salehibehnam9@gmail.com

محمدعلی نکویی: استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

علیرضا آزموده اردلان: استاد دانشگاه تهران و مدیر قطب علمی مهندسی نقشه برداری در مقابله با سوانح طبیعی

علیرضا انصاری فرد: رییس پدافند غیرعامل و مدیریت بحران شرکت ملی نفت ایران، دکتری پزشکی

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۲۸

چکیده

هدف این پژوهش ارائه الگوی جامع تاب‌آوری در صنعت ساختمان است. داده‌های اولیه در قالب پرسشنامه پس از جمع‌آوری گروه‌بندی، تجزیه و تحلیل و حذف شاخص‌های مازاد از ۶۴ شاخص اولیه از طریق مدل آماری تحلیل عاملی بر اساس آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) استخراج شد. مؤلفه‌های استخراج شده در قالب ۶ فاز و ۴۶ زیرمعیار قرار گرفته‌اند. با توجه به بررسی مطالعات انجام شده در سازه‌های نوساز در تمامی فازهای صنعت ساخت‌وساز به جز در حوزه فاز عملیاتی (بخش اجرا) مدل‌سازی اطلاعات ساختمان فرآیندی مناسب جهت بهبود و تسهیل در عملکرد است. در مورد سازه‌های موجود فاز مدیریت ساخت، بخش سازه، فاز مدیریت ساخت، بخش معماری، فاز تعمیر و نگهداری و فاز مدیریت پایان عمر پروژه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان عملکردی خوب داشته و در سایر فازهای سازه‌های موجود نقش BIM کم‌رنگ‌تر بوده است.

کلمات کلیدی: تاب‌آوری، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، صنعت ساختمان، فاکتور کلیدی موفقیت

Providing resiliency pattern in construction industry implementing building information model

Behnam Salehi¹, Mohammad Ali Nekouei², Alireza Azmoudeh Ardalan³, Alireza Ansari fard⁴

Abstract

In this research, field studies have been used in the field of statistical modeling and building information modeling. Grouping, the study of surplus indicators from 64 primary indicators was performed through a factor analysis model based on the principal component analysis (PCA). The extracted components were grouped in the form of 6 phases and 46 sub-criteria. Then using the Delphi model, the resilience capacity of each resilience index of the construction industry was investigated. The results showed that in all six phases defined in the comprehensive resilience model, the absorption capacity has a high participation rate. On the other hand, the matching capacity in the end-of-life management phase, the maintenance phase, the operational phase in the time and phase of the initial studies, and the In particular, the restoration capacity according to the results in all phases, except for the phase of the initial studies, shows an acceptable percentage of participation. In the sequel, one of the most important goals of the research, namely the operation of the resilience indicators or the key factors of success, is to be prioritized. One The most powerful key factors of success in resilience, information modeling Building (BIM) was investigated. According to the study of studies in new structures, the construction of the phase of the phase, except for the operational phase (operation section), due to the type of indicators in this phase, BIM is a suitable process for improving performance. Regarding existing structures, the management phase of the construction, the structural part, the construction phase, the architectural part, the maintenance phase, and the management phase of the end of the project life are good, and in the remaining phase of the existing structures, the role of the BIM is dimmer.

key word: Resilience, BIM, Building industry, PCA

1. salehi, behnam - Malek Ashtar University of Technology, salehibehnam9@gmail.com

2. Faculty Member of Malek Ashtar University of Technology

3. Uni. Prof

4. defense and crisis management of NIOC

مختلف مقوله تاب‌آوری را مورد مطالعه قرار داده‌اند. مفهوم تاب‌آوری به صورت عام می‌تواند در یک مقیاس گسترده کلیه‌ی جوانب اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و سایر جوانب درگیر با سازه را شامل شود (مقاله‌های یان دیویس و یاسمین ایزدخواه) و در جای دیگر در مقیاس خیلی کوچک‌تر تاب‌آوری یک عنصر سازه‌ای در برابر تنش‌ها و نیروهای ناشی از زلزله ممکن است مورد نظر باشد (مقاله‌ی بروئو). در مورد اول مناسبات اجتماعی، سیاسی و اقتصادی تحلیل می‌شود و در دومی نیروهای فیزیکی، مقاومت مصالح و هزینه‌ی اتصال طراحی شده است. بنابراین با توجه به وسعت دامنه کاربرد مفهوم تاب‌آوری لازم است مقیاس و حوزه‌ی کاربرد این واژه و همین‌طور برخی از اصطلاحات مورد استفاده از دیدگاه پژوهش به روشنی تبیین شود [۱].

تعاریف تاب‌آوری سیستم

با توجه به بررسی انجام‌شده در تحقیقات حوزه تاب‌آوری، مطابق جدول (۱) محققان و صاحب‌نظران زیادی تعاریفی از تاب‌آوری در حیطه‌های گوناگون بیان کرده‌اند که در ادامه به بیان و بررسی برخی از این تعاریف که در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ ارائه شده، پرداخته می‌شود.

پس از مطالعه و بررسی تعاریف محققان و صاحب‌نظران، تنها تعریف تاب‌آوری سیستم ساختمان توسط یان دیویس و همکاران^(۲۰۰۶) به صورت «توانایی یک سیستم ساخت‌وساز در پایداری در برابر نیروها و مطالبات ناشی از سوانح و بازگشت سریع به شرایط قبل از سازه و آماده شدن برای مقابله با خطرات احتمالی آتی» بیان شده است [۱].

مروری بر تحقیقات

از مطالعات مطرح در این زمینه می‌توان به مقاله‌ی سید عین‌الدین و ژانت کومار روتری با عنوان «خطر زلزله و جوامع تاب‌آور در منطقه‌ی بلوچستان پاکستان» اشاره کرد. در این مقاله با استفاده از معیارها و شاخص‌های مختلف از روش میانگین فاصله از حد بهینه (میزان عددی شاخص‌ها در ژاپن به منزله‌ی میزان بهینه‌ی تاب‌آوری انتخاب شده است) به این نتیجه دست یافته‌اند که در این منطقه برخی پهنه‌ها از ابعاد اجتماعی و اقتصادی تاب‌آورتر تلقی می‌شوند [۹]. تند جونز و همکاران هم پژوهش دیگری با عنوان «برنامه ریزی منطقه‌ای و آینده‌ی تاب‌آوری: مدل مقصد و توسعه‌ی گردشگری» در منطقه‌ی ساحلی مرجانی نینگالو در استرالیا انجام داده‌اند. روش تحقیق مقاله بررسی میزان همبستگی میان شاخص‌های تاب‌آوری و میزان جذب گردشگر بوده و از شاخص‌های میزان اشتغال، عوامل زیست‌محیطی، وجود زیرساخت‌ها و تنوع انتخاب میان شیوه‌های مختلف حمل‌ونقلی بهره گرفته شده است. نتایج این پژوهشی حاکی از وجود همبستگی میان میزان تاب‌آوری و جذب گردشگر در منطقه‌ی مورد مطالعه بوده است [۱۰]. در مقاله‌ی «مدیریت بحران اجتماع محور: بررسی اجمالی فرآیند آن در کشور چین» با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی به ارائه‌ی چارچوبی جهت مدیریت سوانح اجتماع محور در کشور چین پرداخته شده است. در این مقاله که زنگ و همکاران انجام داده‌اند، بر شاخص‌های ایجاد نهادهای

در دهه‌های اخیر تلاش‌های بسیاری در جهت پررنگ‌تر ساختن نقش صنعت ساختمان در مدیریت مخاطرات صورت پذیرفته و پیشرفت‌های قابل توجهی هم در این زمینه از جنبه‌های مختلف حاصل شده است. با وجود این در عمل مشاهده می‌کنیم که مدیریت مخاطرات قادر نیست چارچوب مناسبی جهت تبیین نقش همه‌جانبه صنعت ساختمان در مواجهه با سوانح در دست گیرد. در اغلب کشورهای در حال توسعه، صنعت ساختمان یکی از صنایع زیر بنایی به شمار می‌رود. از سوی دیگر بسیاری از این کشورها در معرض سوانح متعددی قرار دارند که تهدیدی جدی برای کالبد فیزیکی و دستاوردهای توسعه‌ای آنها محسوب می‌شود. در چنین شرایطی دولت‌مدان ناگزیر هستند سوانح را به عنوان واقعیتهای غیرقابل اجتناب در روند توسعه خود بپذیرند و برای مواجهه با آن تدابیر لازم را در برنامه‌های توسعه‌ای خود اتخاذ کنند. بدیهی است با توجه به گستردگی صنعت ساختمان در این کشورها و همچنین تأثیرپذیری مستقیم آن از سوانح متعدد، لازم است زیر ساخت‌های این صنعت هم از منظر تعامل با مدیریت مخاطرات مورد بازنگری جدی قرار گیرد. در چند سال اخیر تلاش‌هایی در زمینه‌ی تقویت نقش صنعت ساختمان در جهت کاهش آسیب‌پذیری در مدیریت بحران انجام شده است. به عنوان مثال می‌توان به سبک‌سازی و ارتقای استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی و... در ساختمان‌ها اشاره کرد. با این وجود هنوز بسیاری از پتانسیل‌های صنعت ساختمان در کاهش و ترمیم صدمات ناشی از سوانح همچنان مورد غفلت واقع شده و این امر منجر به کم‌رنگ شدن حضور مؤثر صنعت ساختمان در بسیاری از مقاطع مدیریت مخاطرات شده است. در این پژوهش ضمن تأکید بر لزوم تقویت نقش صنعت ساختمان در کلیه مراحل مدیریت مخاطرات ناشی از سوانح، تلاش می‌شود این امر در رویکردی فناوری محور و به موازات اقدامات مدیریت مخاطرات و همسو با آن مطرح شود. راهکار پیشنهادی شامل شناسایی و تقویت کیفیت توسعه پایدار در ساختار سیستم‌های ساخت‌وساز، تحت عنوان تاب‌آوری سیستم‌های ساخت‌وساز با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان است. این کیفیت ناظر بر قابلیت یک سیستم به‌ویژه ساختمانی در مواجهه با سازه و کاهش آسیب‌پذیری آن در درجه اول و در مرحله بعد توانایی ترمیم عوارض کوتاه‌مدت و بلندمدت ناشی از آن است. علاوه بر این با توجه به محدودیت زمان و هزینه در بیشتر پژوهش‌های ساخت‌وساز در شرایط مختلف، با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌توان با کمترین زمان و هزینه مدل‌هایی را اجرایی را مشاهده کرده و از کارکرد و نواقص احتمالی پروژه آگاه شد. این رویکرد با الهام از ایده تاب‌آوری مقوله‌ی مدیریتی که به تازگی در مدیریت مخاطرات مطرح شده، مورد توجه قرار گرفته و تعمیم آن به یک سیستم ساختمانی خاص شکل گرفته است.

تاب‌آوری در حوزه صنعت ساختمان

تاب‌آوری می‌تواند ابعاد مختلف سازوکارهای درگیر با سوانح را در سطوح مختلف دربرگیرد. پژوهش‌های متعدد از جنبه‌های

جدول (۱) بررسی تعاریف تاب‌آوری از نظر صاحب‌نظران این حوزه. [۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸].

محققین	توضیحات
هالینگ و گاندرسون ^۱ ، ۲۰۰۲	شدت اختلالی که سیستم می‌تواند آن را جذب کند، قبل از اینکه ساختار سیستم از طریق تغییر متغیرها و فرآیندهایی که رفتار آن را کنترل می‌کنند، به ساختار متفاوتی تبدیل شود.
ادگر و همکاران ^۲ ، ۲۰۰۵	تاب‌آوری به ظرفیت سیستم‌های اکولوژیکی برای جذب اختلالات و نیز برای حفظ بازخوردها، فرآیندها و ساختارهای لازم و ذاتی سیستم اطلاق می‌شود.
کاتر و همکاران ^۳ ، ۲۰۱۰	تاب‌آوری به ظرفیت جذب و عملکردهای اساسی به‌ویژه در طی سوانح و هم ظرفیت بازیابی «برگشت به تعادل» پس از سانحه اطلاق می‌شود.
موبرگ و سیمونسن ^۴ ، ۲۰۱۱	موبرگ و سیمونسن؛ بر اهمیت آموزش در تاب‌آوری تأکید دارند. به عبارت دیگر توانایی کسب تجربه از شرایط بحرانی و استفاده بهینه از این تجارب در آینده است.
بون و همکاران ^۵ ، ۲۰۱۲	تاب‌آوری فرآیند پویایی است و در افرادی به‌وجود می‌آید که می‌توانند با گذشت زمان خود را با شرایط منطبق و به شرایط پاسخ دهند. این فرآیند به آنها این امکان را می‌دهد که بتوانند سرپا بایستند و عملکرد سالم خود را حفظ کنند.
ترنر ^۶ ، ۲۰۱۳	فرآیند دگرگونی تقویت ظرفیت جمعیت، جوامع، سازمان‌ها و پیش‌بینی، بازدارندگی، بازیابی و دگرگونی کشورها پس از وقوع شوک‌ها، استرس و تغییرات را تاب‌آوری می‌نامند.
کیوتم و الجابری ^۷ ، ۲۰۱۵	تاب‌آوری به ظرفیت سیستم‌های اکولوژیکی برای جذب اختلالات و نیز برای حفظ بازخوردها، فرآیندها و ساختارهای لازم و ذاتی سیستم اطلاق می‌شود.

متخصص و صاحبان سرمایه که هر یک دیدگاه مختص به خود و انگیزه‌های خود داشته و از نقطه‌نظری در منافع کار شریک هستند، لازم است برآیندی به دست آورده و اجرای ساختمان را بهینه کرد. با مطالعات گسترده‌ای که در سطح جهان در این زمینه انجام شده مشخص شده که مهمترین رکن، ایجاد ارتباط مؤثر و همکاری در بین بخش‌های مختلف است. اولین نمود این همکاری و ارتباط کاهش زمان رفت و برگشت اسناد و نقشه‌ها و بالا رفتن دقت در این اسناد است؛ زیرا فاصله برقراری ارتباطات را کوتاه کرده و خطا را کاهش می‌دهد. در این صنعت هر خطای کوچکی کلیه اهداف پروژه را ممکن است تحت تأثیر قرار دهد. هماهنگی و همکاری چه در فاز طراحی و چه در فاز ساخت و بهره‌برداری باعث کاهش هزینه‌ها و صرف وقت و در نظر گرفتن ملاحظات مربوطه می‌شود تا کلیه بخش‌ها با اتفاق نظر به برآیندی سودآور برای خود و یکدیگر برسند و در جریان انتقال اطلاعات در یک فاز یا در بین فازها دچار خطا نشوند. در این راستا با توجه به پیشرفت علم فناوری اطلاعات در همه زمینه‌های صنعتی و غیرصنعتی در سطح جهان و استفاده فراگیر متخصصان صنعت ساختمان از نرم‌افزارها و کمک‌های کامپیوتری، روشی به نام BIM مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یا یکپارچندی جامع ساختمان ابداع شده که با هماهنگی کردن کلیه نرم‌افزارها و بخش‌های کار ساخت‌وساز، زمینه بروز خطا و ناهماهنگی‌ها را تا حد بسیار زیادی کاهش داده و باعث می‌شود متخصصان بتوانند کلیه پتانسیل حرف‌های خود را در پروژه بروز دهند. به تعبیری BIM فضای کار را به صورت دهکده‌ای خودکفا در می‌آورد که کلیه بخش‌های آن به هم مرتبط بوده و بنابراین هر مشکلی قبل از گسترش و نیاز به برگشت یا تخریب رفع می‌شود. در صنعت مهندسی، معماری و ساخت‌وساز سوء تعبیری به وجود

غیردولتی و آموزشی در برابر بحران‌ها، تولید و انتقال دانش، ایجاد سازمان‌ها^۹ و تعریف عملکرد سازمانی آنها در برابر بلایا و بحران‌ها تأکید شده است [۱۱]. در گزارشی که مرکز تحقیقات اقتصاد فضایی با عنوان «به سوی مناطق تاب‌آور: سیاست توسعه‌ی مناطق» در سال ۲۰۱۰ انتشار داد، استوارت داوولی و همکارانش با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و با تأکید بر بعد اقتصادی تاب‌آوری و تحلیل شاخص‌های نرخ اشتغال، مراکز اقتصادی بزرگ مقیاس، درآمد، تولید ناخالص و میزان تحرک دانش به معرفی فرآیند تاب‌آور کردن مناطق پرداختند [۱۲]. در پژوهشی که با عنوان «بررسی یک مورد مطالعاتی جهت فهم تاب‌آوری منطقه‌ای» کترین فاستر انجام داده، تاب‌آوری منطقه‌ی کلانشهری بوفالو نیگارا فالز در بازه‌ی زمانی ۱۹۷۰-۲۰۰۰ با استفاده از شاخص‌های تراکم جمعیت، درصد جمعیت شاغل، درصد سرانه‌ی درآمد و درصد جمعیت زیر خط فقر ارزیابی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تاب‌آوری اجتماعی منطقه در طول این بازه زمانی افزایش و تاب‌آوری اقتصادی این منطقه کاهش یافته است [۱۳].

همان‌گونه که از بررسی و تجزیه و تحلیل مطالعات انجام شده در حوزه تاب‌آوری برداشت می‌شود، در بیشتر موارد مبحث تاب‌آوری در علوم اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی معرفی شده و کمتر مطالعه مشاهده می‌شود که تاب‌آوری در حوزه عمرانی و شهر سازی مطرح شده باشد. بنابراین از این رو در این پژوهش تلاش شده تا با ارائه الگوی جامع تاب‌آوری صنعت ساختمان گامی مهم در این حوزه برداشته شود.

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان* BIM

با توجه به تعدد متصديان پروژه‌های ساخت‌وساز از طراح و محاسب تا تکنسین راه‌اندازی تأسیسات، بهره‌برداران، مدیران

را شناسایی کرد. وی اثر مثبت BIM را روی بهره‌وری در عوامل انسانی مهم‌تر از عوامل فنی دانست [۲۱].

مشاهده می‌شود که کاربردهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان گستره‌ای از فاز ارزیابی ایده‌سازی تا فاز تخریب را شامل می‌شود که با توجه به مزیت‌های استفاده از آن می‌تواند بهره‌وری آن بخش را افزایش دهد. پس از بیان مبانی نظری و پیشینه تحقیق در مورد مفاهیم تاب‌آوری و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و تجزیه و تحلیل ابزارها و الگوهای موجود جهت دستیابی به هدف تحقیق و همچنین بررسی مطالعات انجام شده در زمینه تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز در ادامه به ارائه روش پژوهش و مدل آماری و نهایتاً الگوی تاب‌آوری صنعت ساختمان پرداخته شده است. پس از آن به فاکتور موفقیت پروژه جهت اجرایی شدن الگو پرداخته شده است.

روش شناسایی پژوهش

شرکت‌ها و کارگاه‌های ساختمانی محدوده غرب و شرق تهران و همچنین شرکت‌های خصوصی در زمینه‌ی مورد مطالعه به‌عنوان جامعه آماری مدنظر برای جمع‌آوری داده‌های اولیه شناسایی شدند. سپس با حضور در شرکت‌ها و کارگاه‌ها با مدیر پروژه، سرپرست کارگاه و مهندسان شرکت مصاحبه صورت گرفت. همچنین بخشی از پرسشنامه‌ها هم پس از توضیحات کامل در مورد تعاریف مورد نیاز پرسشنامه و اهداف آن در اختیار مهندسان شرکت یا کارگاه قرار گرفت و تکمیل شد. نظر به وجود تعداد زیادی از شاخص‌های تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز، به‌منظور مدیریت مناسب‌تر آنها ضروریست با توجه به همبستگی موجود بین مؤلفه‌ها، دسته‌بندی منطقی بین آنها صورت پذیرد. به‌منظور دسته‌بندی مؤلفه‌های استخراج شده، لازم است روش‌های آماری مناسب مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق روش تحلیل عاملی به‌منظور محدود کردن تعداد متغیرها و سپس دسته‌بندی آنها به‌کار می‌رود. در این قسمت کوشش شده که ۶۴ شاخص شناخته شده مؤثر بر تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز دسته‌بندی شوند و الگویی که نشان‌دهنده مؤلفه‌های تأثیرگذار بر موضوع باشد، توسعه داده شود. به همین منظور از روش تحلیل عاملی استفاده شده است. جدول مورگان یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای محاسبه حجم نمونه آماری است و به ازای مقادیر مختلف از جمعیت جامعه با استفاده از فرمول کوکران به دست آمده است. برای یافتن تعداد نمونه‌ها ابتدا فرض بر این شد که در مناطق مورد نظر تعداد شرکت‌هایی با مفاهیم تاب‌آوری آشنا بوده و از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) استفاده کرده‌اند. در مقابل مابقی شرکت‌ها به نسبت ۱۰ به ۹۰ است. در این فرمول سطح اطمینان ۹۵ درصد و سطح خطا ۵ درصد در نظر گرفته شد.

$$N = \frac{z^2 pq}{e^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در فرمول بالا:

N تعداد نمونه؛

Z درصد اطمینان قابل قبولی؛

آمده که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان تنها یک نرم‌افزار است. گرچه قسمت نرم‌افزاری قسمت مهمی از آن است؛ اما مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یک ابزار کاربردی به حساب می‌آید. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یک تغییر جدید در شیوه طراحی و مستندسازی در صنعت ساخت است که اطلاعاتی در باره کلیت ساختمان به ما می‌دهد و اسنادی کامل و تجمیع شده را در یک پایگاه داده در اختیار ما می‌گذارد. همه این اطلاعات پارامتری هستند و بنابراین با یکدیگر در ارتباط هستند [۱۴].

مروری بر مطالعات انجام شده در حوزه BIM

کلیبرال (۲۰۰۹) با بررسی موردی ۴۰۸ پروژه طی ۶ سال دریافت دستورات تغییر بر اساس قرارداد در پروژه‌های با مدل‌سازی دوبعدی ۱۸،۴۲ درصد، فقط سه‌بعدی ۱۱،۱۷ درصد و همراه ۲،۶۸ درصد بوده است [۱۵].

خانزاده و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای موردی بر روی شرکت‌های تأسیساتی ساختمان (MEP) عنوان کردند که BIM ۲۰ تا ۳۰ درصد در نیروی کار پیمانکاران جز تأسیساتی صرفه‌جویی می‌کند و تا ۱۰۰ درصد امکان پیش‌سازی برای پیمانکار لوله‌کشی وجود دارد. همچنین دوباره‌کاری را در پیمانکاران جزء تأسیساتی کمتر از ۰،۲ درصد و تعداد درخواست‌های اطلاعات انگشت‌شمار اعلام کردند. ۶ ماه صرفه‌جویی در زمان و ۹ میلیون دلار در هزینه هم از نتایج مثبت BIM بود. [۱۶].

کوپرناسی و ماک (۲۰۰۹) در یک بررسی موردی مزایای BIM را مشخص کردند که شاخص‌ترین آنها کاهش دوباره‌کاری، کاهش مدت زمان ساخت، قابلیت مشاهده همه قسمت‌ها، پیش‌سازی و کاهش تعارضات است. [۱۷].

بارلیشی و سالیوان (۲۰۱۲) با بررسی ۲۱ مطالعه موردی پیرامون مزایای BIM کاهش زمان، افزایش هماهنگی و کاهش دوباره‌کاری را پرتکرارترین مزایای BIM عنوان کردند [۱۵]. در نهایت کارفرمایان و طراحان بر این باورند که مزایا و صرفه‌جویی هزینه یک طراحی انعطاف‌پذیر در درازمدت از خطر بروز دوباره‌کاری مهمتر است [۱۸].

بوروال و هواج (۲۰۱۳) استفاده از BIM را در پروژه‌های ساخت عمومی بررسی و بیان کردند که یک ترکیب قراردادی بر اساس BIM می‌تواند به بهبود بهره‌وری، هماهنگی بهتر و کاهش خطا و دوباره‌کاری را منجر شود [۱۹].

سورمن (۲۰۰۹) اثر BIM را بر روی ۶ شاخص کلیدی عملکرد شامل کنترل کیفیت، تکمیل به موقع، هزینه، ایمنی، هزینه اجرا بر واحد سطح و بهره‌وری که برای صنعت ساخت مفیدترین تعریف شده بودند، بررسی کرد. او دریافت که BIM پتانسیل بیشترین اثرگذاری روی کنترل کیفیت، تکمیل به موقع و بهره‌وری (واحد بر ساعت کار) را دارد [۲۰].

چلسون (۲۰۱۰) شاخص‌های کلیدی BIM شامل تعداد درخواست اطلاعات، مقدار دوباره‌کاری، انطباق با زمان‌بندی و دستور تغییر در اثر تضاد در نقشه‌ها که بر روی بهره‌وری مؤثرند

می‌رود. اگر ضریب آلفای کرونباخ ۰,۷ یا بیشتر است، پرسشنامه از پایایی مطلوبی برخوردار است و می‌توان از بابت همبستگی درونی سوالات مطمئن شد، ولی اگر مقدار الفا در بازه بین ۰,۵ تا ۰,۷ به دست آید، اعتبار پرسشنامه در حد متوسط ارزیابی می‌شود.

ضریب آلفای کرونباخ ۰,۸۲

همان‌گونه که مشاهده شد، مقدار ضریب آلفای کرونباخ با استفاده از نرم‌افزار Spss مقداری بالاتر از ۰,۷ به دست آمد و می‌توان گفت که پرسشنامه از پایایی مطلوبی برخوردار است.

دسته‌بندی و کاهش داده‌های تعیین عوامل مؤثر بر تاب‌آوری در صنعت ساخت‌وساز

دسته‌بندی و کاهش داده‌ها فرآیندی است که بر اساس تجزیه و تحلیل‌های عاملی امکان‌پذیر است. فلسفه زیربنایی کاهش ابعاد، حذف متغیرهای زائد (با همبستگی بالا) از داده‌ها و احتمالاً جایگزینی کل داده‌ها با تعداد محدودتری از متغیرهای غیر همبسته است. در تحلیل عاملی ابتدا این امر بررسی می‌شود که آیا متغیرهای موجود را می‌توان به صورتی گروه‌بندی کرد که به تعداد کمتری متغیر مرکب رسید.

تحلیل عاملی بر دو نوع است که شامل تحلیل عاملی اکتشافی^{۱۳} و تحلیل عاملی تاییدی^{۱۴} است. در این تحقیق از روش تحلیل عاملی اکتشافی استفاده شده است. در تحلیل عاملی اکتشافی محقق درصدد کشف ساختار زیربنایی مجموعه نسبتاً بزرگی از متغیرها است و پیش فرض محقق آن است که هر متغیری ممکن است با هر عاملی ارتباط داشته باشد. به عبارت دیگر محقق در این روش هیچ تئوری اولیه‌ای ندارد. نظر به وجود تعداد زیادی از شاخص‌های تاب‌آوری در صنعت ساخت‌وساز، به منظور مدیریت مناسب‌تر آنها ضروریست با توجه به همبستگی موجود بین مؤلفه‌ها دسته‌بندی منطقی بین آنها صورت پذیرد. به منظور دسته‌بندی مؤلفه‌های استخراج شده لازم است روش‌های آماری مناسب استفاده شود. در این تحقیق روش تحلیل عاملی به منظور محدود کردن تعداد متغیرها و سپس دسته‌بندی آنها به کار می‌رود. در این قسمت کوشش شده که ۶۴ شاخص شناخته شده مؤثر بر تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز دسته‌بندی شوند و الگویی که نشان‌دهنده مؤلفه‌های تأثیرگذار بر موضوع باشد، توسعه داده شود. به همین منظور از روش تحلیل عاملی^{۱۵} (PCA) استفاده شده است. این روش به صورت کلی در ۵ مرحله شامل گام‌های زیر ارائه می‌شود.

- شاخص KMO و آزمون بارتلت؛

P نسبتی از جمعیت دارای صفت معین؛

q نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین و e درجه اطمینان یا دقت احتمالی مطلوب است. از این فرمول تعداد نمونه ۱۳۸ به دست آمد.

جمع‌آوری داده‌های پرسشنامه

مطابق جدول ۲ تعداد ۱۰۱ پرسشنامه در شرکت‌ها، کارگاه‌ها و پژوهشکده‌های پدافند غیرعامل توزیع شد که از این تعداد ۵ مورد آن را مصاحبه تشکیل می‌دهد. با هماهنگی متخصصان حوزه مورد مطالعه تعداد ۲۱ پست الکترونیکی ارسال شد و در گروه‌های اجتماعی تخصصی هم ۲۵ پرسشنامه برخط درج شد که نرخ بازگشت هر یک مطابق جدول زیر است:

در روش پژوهش حاضر، بر جمع‌آوری نظرات متعدد با استفاده از پرسشنامه تأکید شده است، بنابراین پس از تهیه و اصلاح پرسشنامه ۲۹ نفر از نخبگان، کارشناسان و مدیران دولتی و خصوصی در حوزه عمران شهر تهران و برخی از شهرستان‌های کشور به صورت پرسشنامه فیزیکی، فضای مجازی، پست الکترونیکی و مصاحبه مورد پرسش قرار گرفتند و سپس در راستای پاسخ به سؤالات پژوهش داده‌های حاصل از توزیع پرسشنامه و مصاحبه‌ها مورد تجزیه و تحلیل و تفسیر واقع شدند. در این بخش ابتدا جهت بررسی پایایی داده‌های برداشت شده از پرسشنامه‌ها از روش آلفای کرونباخ استفاده شد و سپس به کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف یک نمونه‌ای، نوع توزیع داده‌های جمع‌آوری شده تعیین شد. سپس بر اساس روش آنالیز اجزای اصلی، شاخص‌های با درجه اهمیت بالا تعیین شدند. در این بین چند عامل مشخص دسته‌بندی شد و در ادامه گام‌های پژوهش ارائه می‌شود.

بررسی پایایی و اعتبار سنجی

بعد از طراحی اولیه پرسشنامه لازم است که آزمون‌هایی روی آن صورت گیرد و در صورت لزوم اصلاحات مورد نیاز اعمال شود تا روایی (صوری و محتوایی) و پایایی مورد نیاز و قابل قبول حاصل شود. سپس گردآوری نهایی اطلاعات آغاز خواهد شد. ضریب آلفا کرونباخ برای سنجش میزان هماهنگی درونی نگرش‌ها، قضاوت‌ها و معیارها در یک پرسشنامه به کار می‌رود. این روش یکی از روش‌های محاسبه پایایی پرسشنامه است. نتیجه این آزمون شرط اساسی برای تایید پرسشنامه است. این آزمون که حاصل آن یک ضریب به نام آلفای کرونباخ است، برای استفاده در آزمون قابلیت اعتماد یا پایایی^{۱۳} پرسشنامه‌ای که به صورت طیف لیکرت طراحی شده و جواب‌های آن چند گزینه‌ای هستند، به کار

جدول (۲) اطلاعات پرسشنامه‌های توزیع و پاسخ داده شده

روش پیمایش	پرسشنامه‌های توزیع شده	پرسشنامه‌های بازگشتی	پرسشنامه‌های درست	نرخ پاسخ (%)
پرسشنامه فیزیکی	۵۰	۴۵	۴۲	۸۴٪
مصاحبه	۵	۵	۵	۱۰۰٪
پرسشنامه برخط	۵۰	۱۸	۱۵	۳۰٪
پست الکترونیکی	۳۳	۱۸	۱۷	۵۱٪
مجموع	۱۳۸	۸۶	۷۹	۷۸٪

این صورت متغیرها ارتباط معنی‌داری با هم نداشته و در نتیجه امکان شناسایی عامل‌های جدید بر اساس همبستگی متغیرها وجود ندارد. حالت دوم هم زمانی است که ماتریس همبستگی بین متغیرها یک ماتریس واحد و همانی نباشد که در این صورت ارتباط معنی‌داری بین متغیرها وجود داشته و بنابراین امکان شناسایی و تعریف عامل‌های تازه‌ای بر اساس همبستگی متغیرها وجود دارد. اگر P-Value آزمون بارتلت کوچک‌تر از ۵ درصد باشد، تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است؛ زیرا فرض شناخته شده بودن ماتریس همبستگی رد می‌شود. از این رو مطابق جدول (۳) با توجه به اینکه مقدار شاخص KMO بیش از ۰,۵ و P-Value کمتر از ۰,۰۵ است، ماتریس و داده‌های موجود شرایط لازم برای تحلیل PCA را دارد.

جدول (۳) آزمون بارتلت و شاخص KMO

	مقدار شاخص KMO	۰,۶۴۶
آزمون بارتلت	مقدار آماره آزمون بارتلت (تقریبی از آماره کای دو)	۹۷۰,۱۰۲۳
	درجه آزادی P-Value	۲۰۸۰

گام ۲: تهیه جدول اشتراکات^{۱۹}

ستون اول و چهارم جدول (۳) ناظر به متغیرهای ورودی یا همان سؤالات پرسشنامه است. ستون دوم و پنجم جدول تخمینی از واریانس هر یک از متغیرهای ورودی است که توسط کلیه مؤلفه‌ها تبیین می‌شوند. در رویکرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی به تعداد متغیرهای ورودی مؤلفه خواهیم داشت و از این رو ۱۰۰ درصد کل واریانس هر متغیر توسط مؤلفه‌ها قابل توضیح است. در این راستا ستون سوم و ششم از جدول (۴) دربرگیرنده برآوردی از واریانس هر متغیر است که توسط مؤلفه‌های استخراج شده یا همان مؤلفه‌های اصلی تبیین می‌شود. از آنجا که همه مقادیر ستون سوم و ششم جدول اشتراکات قابل توجه و معنی‌دار است (بالتر از ۰,۶

- تهیه جدول اشتراکات^{۱۶}؛
- جدول مقادیر ویژه و درصد واریانس‌های شناسایی شده مؤلفه‌های اصلی در متغیرهای ورودی^{۱۷}؛
- رسم نمودار Scree Plot جهت تعیین نقاط شکست و زانویی؛
- جدول ماتریس مؤلفه‌ها^{۱۸}.

پس از نهایی شدن شاخص‌ها و دسته‌بندی آنها در این بخش یک عنوان به هر گروه اختصاص یافته و زیر مجموعه‌های هر بخش آن را مشخص می‌کنیم و مدل نهایی تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز ارائه می‌شود.

مراحل اجرای تکنیک تحلیل عاملی بر اساس PCA

اجرای تکنیک تحلیل عاملی در این تحقیق شامل دو مرحله استخراج و چرخش عامل است. هدف اصلی از مرحله اول اتخاذ تصمیم درباره تعداد مؤلفه اصلی در یک مجموعه از متغیرهای اندازه‌گیری شده است. هدف مرحله دوم دستکاری نتایج آماری (چرخش عامل‌ها) به منظور قابل تفسیر کردن عوامل و همچنین تصمیم‌گیری درباره عوامل اصلی از مجموعه متغیرهای اندازه‌گیری شده است. در مورد پرسشنامه این تحقیق تعداد ۶۴ متغیر اولیه (سؤالات پرسشنامه (معیارها)) و مقادیر آنها به عنوان ورودی فرآیند در نظر گرفته شده است. در بخش‌های ذیل نتایج اعمال تکنیک PCA بر روی داده‌های ورودی پرسشنامه تحقیق، تجزیه و تحلیل می‌شود.

گام ۱: شاخص KMO و آزمون بارتلت

در انجام تحلیل آماری ابتدا باید از این مسئله اطمینان حاصل شود که می‌توان داده‌های موجود را برای تحلیل مورد استفاده قرار داد. به عبارت دیگر آیا تعداد داده‌های موردنظر برای تحلیل عاملی مناسب هستند یا خیر؟ بدین منظور از شاخص KMO و آزمون بارتلت استفاده می‌شود. شاخص KMO شاخصی از کفایت نمونه‌گیری است که کوچک بودن همبستگی بین متغیرها را بررسی می‌کند و آزمون بارتلت برای شناسایی ساختار به‌کار می‌رود. ماتریس همبستگی دارای دو حالت است: زمانی که ماتریس همبستگی بین متغیرها یک ماتریس واحد و همانی است. در

جدول (۴) جدول اشتراکات

اشتراکات					
سؤالات	اولیه	استخراج شده	سؤالات	اولیه	استخراج شده
M 1	1	0.806	M 34	1	0.795
M 2	1	0.8	M 35	1	0.758
M 3	1	0.777	M 36	1	0.841
M 4	1	0.894	M 37	1	0.772
M 5	1	0.848	M 38	1	0.793
M 6	1	0.802	M 39	1	0.854
M 7	1	0.768	M 40	1	0.778
M 8	1	0.788	M 41	1	0.803
M 9	1	0.759	M 42	1	0.834
M 10	1	0.802	M 43	1	0.812



ادامه جدول (۴) جدول اشتراکات

M 11	1	0.827	M 44	1	0.756
M 12	1	0.803	M 45	1	0.79
M 13	1	0.773	M 46	1	0.759
M 14	1	0.795	M 47	1	0.763
M 15	1	0.749	M 48	1	0.797
M 16	1	0.788	M 49	1	0.748
M 17	1	0.742	M 50	1	0.727
M 18	1	0.776	M 51	1	0.749
M 19	1	0.824	M 52	1	0.783
M 20	1	0.825	M 53	1	0.782
M 21	1	0.76	M 54	1	0.795
M 22	1	0.803	M 55	1	0.846
M 23	1	0.767	M 56	1	0.821
M 24	1	0.777	M 57	1	0.798
M 25	1	0.832	M 58	1	0.841
M 26	1	0.781	M 59	1	0.787
M 27	1	0.801	M 60	1	0.793
M 28	1	0.81	M 61	1	0.884
M 29	1	0.828	M 62	1	0.843
M 30	1	0.782	M 63	1	0.786
M 31	1	0.801	M 64	1	0.841
M 32	1	0.811			
M 33	1	0.757			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

جدول (۵) مقدار ویژه نهایی استخراج شده

Component	واریانس کلی استخراج شده					
	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	of Variance %	% Cumulative	Total	of Variance %	% Cumulative
1	25.97	39.954	39.954	25.97	39.954	39.954
2	11.158	17.166	57.12	11.158	17.166	57.12
3	9.542	14.68	71.8	9.542	14.68	71.8
4	6.9	10.615	82.415	6.9	10.615	82.415
5	6.507	10.01	92.425	6.507	10.01	92.425
6	4.004	6.16	98.585	4.004	6.16	98.585

Extraction Method: Principal Component Analysis.

دیده می شود، تنها ۶ مؤلفه اصلی اول دارای مقادیر ویژه بزرگتر از یک هستند. بنابراین همانطور که در بخش های قبلی بدان اشاره شد، تنها مقادیر بزرگتر از یک به عنوان مؤلفه های اصلی نگه داشته می شوند. از سوی دیگر دیده می شود که با نگر داشتن این ۶ مؤلفه اصلی در حدود ۹۸,۵۸۵ درصد از واریانس کل شناسایی می شود. به عبارت دیگر می توانیم پیچیدگی مجموعه داده ها را با در نظر گرفتن همین ۶ مؤلفه و از دست دادن تنها ۱,۵ درصد از اطلاعات به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهیم.

است) می توان این گونه استدلال کرد که مؤلفه های استخراج شده جایگزین کننده مناسبی از متغیرهای ورودی هستند.

گام ۳: جدول مقادیر ویژه و درصد واریانس های شناسایی شده مؤلفه های اصلی متغیرهای ورودی^{۲۰}

در این مرحله صرفاً مؤلفه هایی استخراج می شوند که مقادیر ویژه تعلق گرفته به آنها بالاتر از یک باشد. در جدول (۵) مقادیر ویژه یا درصد واریانس متغیرهای ورودی که توسط هر یک از مؤلفه ها قابل شناسایی و تبیین است، ارائه شده است. همچنان که

ماهیت و محتوای مؤلفه‌های استخراج شده و متغیرهای داخل هر یک از این مؤلفه‌ها باشد.

«فاز تعمیر و نگهداری»، «فاز مدیریت پایان عمر پروژه (فاز تخریب)»، «فاز مطالعات اولیه»، «فاز عملیاتی (اجرا)»، «فاز محیط و ذی‌نفعان» و «فاز مدیریت ساخت (فازهای صفر، یک و دو)» نام‌هایی هستند که به ترتیب برای عامل‌های اساسی یک، دو، سه، چهار، پنج و شش در نظر گرفته شده‌اند. پس از تکمیل شدن الگوی اولیه هر یک از شاخص‌های به دست آمده با بهره‌گیری از پرسشنامه و مصاحبه مدل دلفی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. به صورت کلی با دوبار توزیع پرسشنامه در میان جامعه آماری مهندسان و کارشناسان پاسخ مد نظر به دست آمد. در بخش بعد به ارائه، ارزیابی و تحلیل نتایج پرداخته شده است.

بحث و نتایج

همان‌گونه که در بخش پیشین پژوهش مشاهده شد، پس از ارائه مدل تحلیل آماری در بحث پایایی، اعتبارسنجی، استفاده از تکنیک تحلیل عاملی بر اساس PCA در فرآیند حذف فاکتورهای اضافه، پوشش آنها با فاکتورهای جامع‌تر و دسته‌بندی فاکتورها در گروه‌های مشخص در این بخش به ارائه نتایج مدل جامع و تحلیل آن پرداخته شده است.

پس از پرکردن آن نسخه پرسشنامه اولیه، تحلیل‌های عاملی بر اساس «آنالیز مؤلفه اصلی» که در بخش قبل به تفسیر توضیح داده شد، از ۶۴ متغیر و شاخص ابتدایی ۴۶ شاخص اصلی در قالب ۶ عامل اصلی در فرآیند مطالعه مورد نظر استخراج شد. نحوه توزیع این شاخص‌ها و مؤلفه‌ها در این ۶ عامل اصلی مطابق جدول (۷) به شرح زیر است:

- عامل مربوط به فاز مطالعات اولیه (SF) با ۶ مؤلفه و شاخص؛
- عامل مربوط به فاز مدیریت ساخت (MF) با ۱۳ مؤلفه و شاخص؛

جدول (۶) امتیازهای ماتریس مؤلفه‌ها برای هر یک از شاخص (متغیرها)

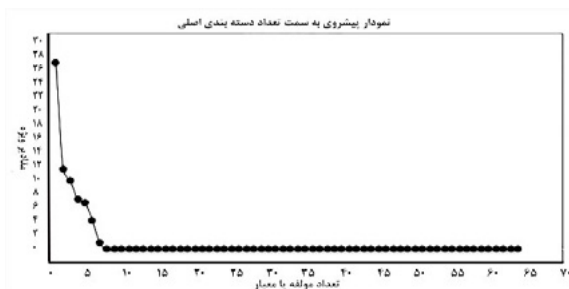
	ماتریس مؤلفه‌های چرخیده شده					
	Component					
	1	2	3	4	5	6
M1	0.27	0.46	-0.006	-0.029	-0.067	0.921
M2	0.27	0.98	-0.006	-0.029	-0.067	-0.021
M3	0.27	0.76	-0.006	-0.029	-0.067	-0.021
M4	0.056	0.277	-0.917	0.851	-0.065	-0.269
....
M64	0.27	0.43	-0.006	-0.029	-0.067	-0.021

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.
a. Rotation converged in 9 iterations.

*- سؤالاتی که قرمز شدند؛ با توجه به نداشتن مقادیر و امتیازهای بالا در هیچ یک از مؤلفه‌ها حذف شدند. همچنین مواردی که زرد شدند، نشان از سؤالات و متغیرهای با درجه اهمیت بالاتر هستند که هر کدام در دسته مؤلفه‌های خود قرار می‌گیرند.

گام ۴- رسم نمودار Scree Plot: برای تعیین نقاط شکست و زانویی

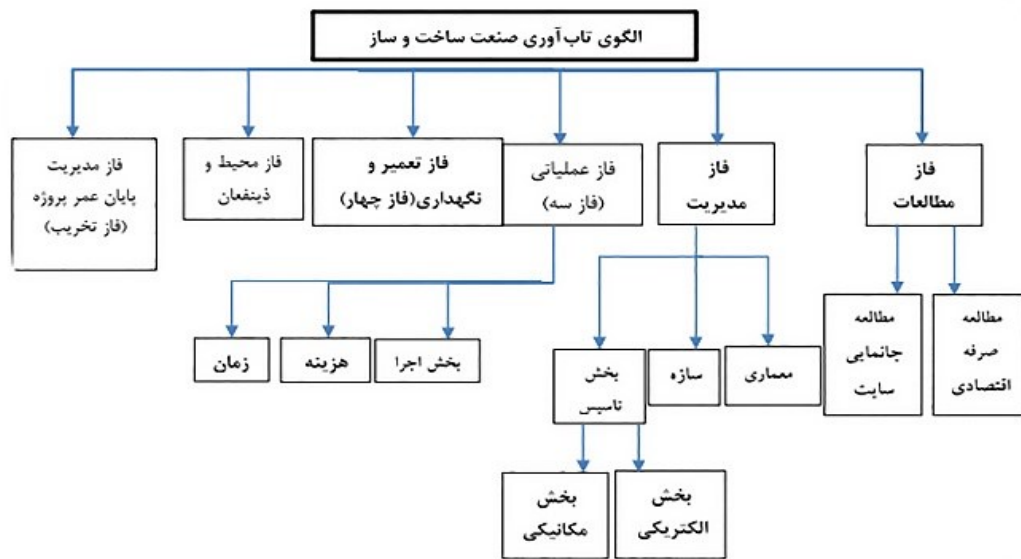
در تصویر (۱)، نمودار Scree Plot نمایش داده شده است. همچنان‌که در این نمودار نیز دیده می‌شود، تنها ۶ مؤلفه اصلی اول دارای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک هستند. از سوی دیگر در مؤلفه اصلی ششم نقطه زانویی وجود دارد که باز هم بیانگر آن است که باید ۶ مؤلفه اصلی اول نگه داشته شوند. مؤلفه‌های قرارگرفته بر روی شیب کند نمودار مشارکت ناچیزی در خروجی نهایی داشته و از این رو حذف شده است.



تصویر (۱) نمودار Scree Plot

گام ۵: جدول ماتریس مؤلفه‌ها^۲

این ماتریس مطابق جدول (۶) نشان می‌دهد که هر یک از مؤلفه‌ها کدام یک از متغیرهای ورودی یا همان سؤالات پرسشنامه هستند. جدول (۶) ماتریس چرخیده شده اجزا را نشان می‌دهد که شامل بارهای عاملی هر یک از متغیرها در عامل‌های باقی‌مانده پس از چرخش است. هر چقدر قدر مطلق این ضرایب بیش‌تر باشد، عامل مربوطه نقش بیشتری در کل تغییرات متغیر مورد نظر دارد. سایر متغیرها هم با توجه به اینکه از مقدار و امتیاز کمی برخوردار بودند، حذف و یا اینکه در سایر معیارها ادغام شدند. با توجه به مرور ادبیات تلاش شده برای مؤلفه‌های استخراج شده نام مناسبی انتخاب شود، نامی که تا حدود زیادی نشان‌دهنده



تصویر (۱) ساختار الگوی تاب آوری صنعت ساختمان

مدیریت شوند، می‌توانند اثر قابل ملاحظه‌ای بر موفقیت پروژه‌ها داشته باشند. پس از بررسی انجام شده در مورد الگوی تاب آوری در صنعت ساخت و ساز، همچنین استخراج و گروه‌بندی شاخص‌های تاب آوری در حوزه مورد مطالعه به روش تحلیل عاملی، یکی از مهمترین اهداف پژوهش یعنی اجرایی شدن شاخص‌های تاب آوری صنعت ساخت و ساز مد نظر قرار می‌گیرد و یا به عبارت دیگر جستجوی عامل و یا عوامل کلیدی موفقیت برای اجرایی شدن در اولویت قرار می‌گیرد.

فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یکی از ابزارهای امیدوارکننده به منظور حل مشکلات پروژه‌های عمرانی در صنعت ساخت و ساز است که توسط انستیتو ملی علوم ساختمانی به صورت رویه‌رو تعریف می‌شود: «مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نمایشی دیجیتالی از خصوصیات کاربردی و فیزیکی یک ساختمان است. همین‌طور به عنوان یک منبع دانشی به اشتراک گذاشته شده برای کسب اطلاعات در مورد یک ساختمان عمل می‌کند که اساس قابل اتکایی برای اتخاذ تصمیم‌ها در طول چرخه عمر ساختمان از اول تا آخر ایجاد می‌کند.» نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌توانند به سه فناوری ضروری زیر مجموعه آن یعنی: ۱- فناوری کد سه بعدی ۲- فناوری شیء‌محور و ۳- فناوری طراحی پارامتریک شکسته شوند. ترکیب این سه فناوری یک بستر ارزشمند برای مدیریت بهتر اطلاعات، مدیریت بهتر تغییرات و همکاری بهتر بین استفاده‌کنندگان نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان خلق می‌کند. فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به دلیل ویژگی‌هایی که از آن یاد شد، مزایای زیادی برای استفاده‌کنندگان آن ایجاد می‌کند که از آن جمله می‌توان صرفه‌جویی در زمان و هزینه، بهبود بهره‌وری، کاهش دوباره‌کاری و همچنین کاهش دورریز را نام برد. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) مفهوم و یا ابزاری قدرتمند است که می‌تواند یکی از عوامل کلیدی موفقیت در این پژوهش معرفی شود. با توجه به بررسی مطالعات محققان

- عامل مرتبط با فاز عملیاتی (OF) با ۹ مؤلفه و شاخص؛
- عامل مربوط به فاز تعمیر و نگهداری (MOF) با ۵ مؤلفه و شاخص؛
- عامل مربوط به فاز محیط و ذی‌نفعان (EOF) با ۶ مؤلفه و شاخص؛
- عامل مربوط به فاز مدیریت پایان عمر پروژه (LF) با ۷ مؤلفه و شاخص.

با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل آماری تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) در تصویر (۱) به ساختار جامع الگوی تاب آوری صنعت ساخت و ساز و زیرمجموعه‌های آن پرداخته شده است. همان‌طور که در این تصویر ملاحظه می‌شود، این تقسیم‌بندی عبارت است از فاز مطالعات اولیه شامل مطالعه صرفه اقتصادی و مطالعه جانمایی سایت، فاز مدیریت ساخت شامل بخش‌های معماری، سازه و تأسیسات و فاز عملیاتی شامل بخش‌های اجرا، هزینه و زمان می‌شود.

همان‌گونه که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، مؤلفه‌های استخراج شده به صورت کلی در ۶ گروه و ۴۶ زیرمعیار قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه در دسته‌بندی انجام شده، ملاک کار تفهیم و پیاده‌سازی راحت معیارها از اولویت‌هاست، در ادامه به بیان هر یک از معیارهای منتخب در جدول زیر پرداخته شده است.

بخش‌های فرآیند این صنعت در قالب ۶ فاز شامل فاز مطالعات اولیه با ۶ معیار، فاز مدیریت ساخت با ۱۳ معیار، فاز عملیاتی با ۹ معیار، فاز تعمیر و نگهداری با ۵ معیار، فاز محیط و ذی‌نفعان با ۶ معیار و فاز مدیریت پایان عمر با ۷ معیار طبقه‌بندی شد.

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)؛ یکی از فاکتورهای حیاتی موفقیت در مسیر دستیابی به تاب آوری

شناسایی عوامل کلیدی موفقیت^{۲۲} در هر سازمان یا پروژه‌ای برای به موفقیت رساندن اهداف آن لازم است. عوامل کلیدی موفقیت عبارتند از مشخصه‌ها، شرایط یا متغیرهایی که اگر درست

جدول (۷) توزیع شاخص‌ها و زیرمؤلفه‌ها در هر یک از عوامل اصلی تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز

استفاده از مصالح ساختمانی استاندارد	۵	فاز مطالعات اولیه	
آشنایی عوامل اجرایی با مراحل اجرا	۶	تناسب کاربری سازه مورد نظر با سازه‌های اطراف	۱
سهولت در آواربرداری و تخریب	۷	شرایط مناسب اجتماعی و فرهنگی مناسب در محدوده	۲
بخش هزینه	۸	میزان دسترسی بالا	۳
بخش زمان	۹	سهولت استفاده از انرژی‌های طبیعی	۴
فاز تعمیر و نگهداری (فاز چهارم)		شرایط مناسب اقلیمی منطقه	۵
کنترل مناسب دوره‌ای تأسیسات	۱	ارزیابی قابل قبول اقتصادی	۶
کنترل مناسب دوره‌ای پایداری ساختمان و سازه‌ها یا بررسی پس از وقوع رویداد مؤثر	۲	فاز مدیریت ساخت (فازهای صفر، یک و دو)	
افزایش تمایل به رفع عیوب و نواقص احتمالی برای جلوگیری از وقوع آسیب‌های بزرگ	۳	چندمنظوره‌سازی فضاها با حداقل تغییرات مشخصات فنی	۱
استفاده از عوامل مجرب در کنترل و بازرسی	۴	امکان تنوع در طرح معماری	۲
استفاده از مصالح و تجهیزات بر اساس عمر مفید آن	۵	قابلیت انطباق با شیوه طراحی مدولار	۳
فاز محیط و ذی‌نفعان		همسانی طرح معماری نمای خارج ساختمان با محیط اطراف	۴
انطباق ساختمان با بهداشت و ایمنی محیط (محل استقرار امنیت منطقه، بهداشت منطقه و ...)	۱	در نظر گرفتن فرهنگ کشور در طرح معماری ساختمان (ماندگاری بیشتر ساختمان‌های قدیمی با معماری خاص)	۵
پیش‌بینی محل استقرار برای توسعه آتی (هم از لحاظ موقعیتی و هم از نظر بخش‌های داخل ساختمان مانند تأسیسات و ...)	۲	معماری پایدار (زیرشاخه مبحث توسعه پایدار)	۶
قابلیت استفاده دوباره از محصولات و تجهیزات مورد استفاده	۳	هماهنگی یک بنا از نظر معماری با کاربری آن	۷
سازگاری بنا با اقلیم و شرایط آب و هوایی و تأثیر آن بر ماندگاری در گذر زمان	۴	چابک‌سازی (ساخت‌وساز ناب)	۸
سازگاری بنا و معماری با فطرت انسان و تأثیرش بر به‌جای ماندن یک بنا	۵	وجود دانش فنی، ضوابط و آیین‌نامه‌ها در طراحی سیستم سازه	۹
استفاده از انرژی‌های طبیعی جهت تامین انرژی مورد نیاز در ساختمان	۶	قابلیت ایجاد تغییرات در سازه مورد نظر پس از اجرا	۱۰
فاز مدیریت پایان عمر پروژه (فاز تخریب)		قابلیت استفاده از قطعات و تجهیزات اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای در نقش‌های متفاوت	۱۱
سهولت در آواربرداری و تخریب	۱	استفاده از مصالح بومی مقاوم سازه در مقابل مخرب اقلیم منطقه	۱۲
استفاده از عوامل مجرب و مجری ذی صلاح در مرحله‌ی تخریب	۲	استفاده از مصالح استاندارد مطابق با طراحی سازه	۱۳
امکان استخراج مصالح قابل بازیافت در بخش‌های تخریب شده	۳	فاز عملیاتی (فاز سه)	
اطمینان از ایستایی ذاتی هم‌جواری‌ها و حصول اطمینان از استحکام هم‌جواری‌ها	۴	سهولت در اجرا	۱
تناسب و هماهنگی روش تخریب با وضعیت پروژه	۵	کم بودن مراحل اجرا و نصب	۲
افزایش ایمنی از منظر بهداشت، خسارات جانی، روانی و مالی	۶	استفاده از قطعات و تجهیزات پیش‌ساخته	۳
تسریع فرآیند تخریب در پایان عمر مفید ساختمان	۷	استفاده از عوامل اجرایی مجرب	۴

اطلاعات ساختمانی در راستای شاخص‌های الگوی جامع تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز پرداخته شده است.

و مطالعات میدانی انجام شده در این خصوص، در ادامه به تشریح خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در مورد توانایی مدل‌سازی

نتیجه‌گیری

صنعت ساختمان حوزه‌ای بسیار گسترده است. پروژه‌های ساختمانی طیف گسترده‌ای از بناها با ساختارهای گوناگون از نظر کاربری، ابعاد فضا، تعداد طبقات و نوع خدمات را در بر می‌گیرند که هر یک از آنها از ویژگی‌ها، اولویت‌ها، مطالبه‌های فنی، فناوری اجرایی و برنامه‌ریزی متفاوتی برخوردارند. این حوزه از صنعت ساختمان شامل فناوری‌هایی است که از نظر پیچیدگی سازه‌ای، ابعاد و اندازه‌ی دهانه‌ها و ارتفاع طبقات در سطح بالایی قرار ندارند و از این‌رو در ساخت ساختمان‌های منفرد عمومی و بزرگ کاربرد ندارند. این سیستم‌ها با تأکید بر مسائل اقتصادی، سرعت اجرا در پروژه‌های با پیچیدگی کمتر و تعداد زیاد در احداث ساختمان‌های مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به پژوهش انجام‌شده، بخش‌های فرآیند صنعت ساختمان در قالب ۶ فاز شامل فاز مطالعات اولیه با ۶ معیار، فاز مدیریت ساخت با ۱۳ معیار، فاز عملیاتی با ۹ معیار، فاز تعمیر و نگهداری با ۵ معیار، فاز محیط و ذی‌نفعان با ۶ معیار و فاز مدیریت پایان عمر با ۷ معیار طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که در تمامی ۶ فاز تعریف‌شده، مدل جامع تاب‌آوری ظرفیت جذب مشارکت چشمگیری دارد. با توجه به اینکه در طبقه‌بندی انجام‌شده ملاک عمل سهولت در تفهیم و پیاده‌سازی معیارها از اولویت‌هاست، بنابراین برخی از این ۶ دسته به زیردسته‌های مشخص تقسیم‌بندی شده‌اند. این تقسیم‌بندی در فاز مطالعات اولیه شامل مطالعه صرفه اقتصادی و مطالعه جانمایی سایت، در فاز مدیریت ساخت شامل بخش‌های معماری، سازه و تأسیسات و در فاز عملیاتی شامل بخش‌های اجرا، هزینه و زمان می‌شود. پس از دستیابی به الگوی تاب‌آوری در صنعت ساخت‌وساز در ادامه به یکی از مهمترین اهداف پژوهش یعنی اجرایی شدن شاخص‌های تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز و یا به عبارت دیگر جستجوی عامل و یا عوامل کلیدی موفقیت برای اجرایی شدن در اولویت قرار می‌گیرد. در این میان یکی از توانمندترین فاکتورهای کلیدی موفقیت در تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز یعنی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) مورد

- تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر توسعه پایدار از دیدگاه کاهش مصرف انرژی و دورریز؛
- بررسی تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر کیفیت ساخت با تمرکز بر کاهش دوباره‌کاری؛
- بررسی تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر تصمیم‌گیری‌های کارگاهی؛
- بررسی تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر زمان و هزینه؛
- بررسی تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر تحلیل چرخه عمر انرژی در اقلیم‌های کشور.

ارزیابی عملکرد BIM در دستیابی به شاخص‌های تاب‌آوری صنعت ساختمان

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در مورد قابلیت مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه، در ادامه به بررسی عملکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در دستیابی به فازهای تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز پرداخته شده است. برای این منظور با توجه به مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای و با توجه به مصاحبه‌های انجام‌شده با متخصصان این حوزه، در ادامه به ارائه عملکرد و یا عدم عملکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز در دو حالت سازه‌های موجود و ساختمان‌های نوساز پرداخته شده است.

با توجه به جدول (۸) در سازه‌های نوساز و در تمامی فازهای صنعت ساخت‌وساز به جز در حوزه اجرا، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان فرآیندی مناسب برای بهبود و تسهیل در عملکرد است. در مورد سازه‌های موجود فاز مدیریت ساخت، بخش سازه و معماری، فاز تعمیر و نگهداری و فاز مدیریت پایان عمر پروژه، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان عملکردی خوب داشته و در سایر فازهای سازه‌های موجود نقش BIM کم‌رنگ‌تر بوده است. همان‌گونه که در بخش مطالعات انجام‌شده در حوزه BIM ملاحظه می‌شود، با توجه به توانایی‌های دانش‌نوین مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، می‌توان این مفهوم را به عنوان ابزاری قدرتمند در راستای دستیابی به الگوی جامع تاب‌آوری در صنعت ساخت‌وساز معرفی کرد.

جدول (۸) مقایسه عملکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در سازه‌های موجود و سازه‌های نوساز

ردیف	فازهای صنعت ساختمان	BIM	
		قابلیت پیاده‌سازی در سازه‌های موجود	قابلیت پیاده‌سازی در سازه‌های نوساز
۱	فاز مطالعات اولیه بخش مطالعه جانمایی سایت	☒	☑
۲	فاز مدیریت ساخت، بخش سازه	☑	☑
۳	فاز مدیریت ساخت، بخش معماری	☑	☑
۴	فاز عملیاتی، بخش اجرا	☒	☒
۵	فاز عملیاتی، بخش هزینه	☒	☑
۶	فاز عملیاتی، بخش زمان	☒	☑
۷	فاز تعمیر و نگهداری	☑	☑
۸	فاز محیط و ذی‌نفعان	☒	☑
۹	فاز مدیریت پایان عمر پروژه	☑	☑

6. BOON, H. J., COTTRELL, A., KING, D., STEVENSON, R. B. & MILLAR, J. (2012). Bronfenbrenner's bioecological theory for modelling community resilience to natural disasters. *Natural Hazards*, 60, 381-408.
7. TURNER, M. D. (2013). Political ecology I an alliance with resilience? *Progress in Human Geography*, 0309132513502770. Retrieved from: <http://phg.sagepub.com/content/early/2013/09/13/0309132513502770>.
8. KUTUM, I. & AL-JABERI, K. (2015). Jordan Banks Financial Soundness Indicators. *International Journal of Finance & Banking Studies* (ISSN: 2147-4486), 4, 44-56.
9. Kimhi, S.; Shamai, M. (2004). Community Resilience and the Impact of Stress, Adult Response to Israel's Withdrawal from Lebanon. *Journal of Community Psychology*, 32 (4), 439-451.
10. Jones, T. et al. (2011). Regional Planning and Resilient Futures: Destination Modeling and Tourism Development—Case of the Ningaloo Coastal Region in Western Australia. *Planning Practice and Research*, 26 (4), 393-415.
11. Zhang, X.; Yi, L.; Zhao, D. (2013). Community-Based Disaster Management: A Review of Progress in China. *Natural Hazards*, 65 (3), 2215-2239
12. Foster, K. A. (2007). A Case Study Approach to Understanding Regional Resilience. *Institute of Urban & Regional Development*.
13. Dawley, S.; Pike, A.; Tomaney, J. (2010). Towards the Resilient Region? : Policy Activism and Peripheral Region Development. *Spatial Economic Research Center*.
14. Krygiel, Eddy, and Bradley Nies. "Green BIM." *Successful Sustainable Design with Building Information Modeling* (2008).
15. Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM— A case study approach. *Automation in construction*, 24, 149-159.
16. Khanzode, A., Fischer, M., & Reed, D. (2008). Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13(22), 324-342.
17. Kuprenas, J. A., & Mock, C. S. (2009). Collaborative BIM modeling case study—Process and results. *In Computing in Civil Engineering* (2009) (pp. 431-441).
18. Gil, N., Tommelein, I. D., Stout, A., & Garrett, T. (2005). Embodying product and process flexibility to cope with challenging project deliveries. *Journal of construction engineering and management*, 131(4), 439-448.
19. Porwal, A., & Hewage, K. N. (2013). Building Information Modeling (BIM) partnering framework for

بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به بررسی مطالعات انجام شده در سازه‌های نوساز، در همه فازهای صنعت ساخت و ساز به جز در حوزه فاز عملیاتی (بخش اجرا) مدل‌سازی اطلاعات ساختمان فرآیندی مناسب برای بهبود و تسهیل در عملکرد است. در مورد سازه‌های موجود فاز مدیریت ساخت، بخش سازه، بخش معماری و فازهای تعمیر و نگهداری و مدیریت پایان عمر پروژه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان عملکردی خوب داشته و در سایر فازهای سازه‌های موجود نقش BIM کم‌رنگ‌تر بوده است.

پی‌نوشت

1. Holling and Gunderson, 2002.
2. Adger, 2005.
3. Cutter, 2010.
4. Moberg and Simonsen, 2011.
5. Boon, 2012.
6. Turner, 2013.
7. Kutum and Al-Jaberi, 2015.
8. Ian Davis & Yasamin O. Izadkhah, 2006.
10. Building Information Modeling.
11. Factor Analysis
12. Reliability
13. Exploratory
14. Confirmatory
15. Factor Analysis
16. Communalities
17. Total Variance Explained
18. Component Matrix
19. Communalities
20. Total Variance Explained
21. Component Matrix
22. Critical Success Factors (CSF)

منابع

1. Ian Davis & Yasamin O. Izadkhah, Building resilient urban communities, open house international Vol 31, No.1, March 2006
2. HOLLING, C. S. & GUNDERSON, L. H. (2002). Resilience and adaptive cycles. *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*, 25-62.
3. ADGER, W. N., HUGHES, T. P., FOLKE, C., CARPENTER, S. R. & ROCKSTRÖM, J. (2005). Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309, 1036-1039.
4. CUTTER, S. L., BURTON, C. G. & EMRICH, C. T. (2010). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1), 1-24.
5. MOBERG, F. & HAUGE SIMONSEN, S. (2011). What is Resilience? An introduction to social-ecological research. Stockholm: Stockholm Resilience Centre, 1-20.

- public construction projects. *Automation in Construction*, 31, 204-214.
20. Suermann, P. C. (2009). Evaluating the impact of building information modeling (BIM) on construction. University of Florida.
21. Chelson, D. E. (2010). The effects of building information modeling on construction site productivity. University of Maryland, College Park.
22. Sertyesilisik, B. (2017). Building Information Modeling as a Tool for Enhancing Disaster Resilience of the Construction Industry. *TRANSACTIONS of the VŠB-Technical University of Ostrava, Safety Engineering Series*, 12(1), 9-18.
23. Drogemuller, R. (2015). BIM support for disaster response. In *Proceedings of the 9th Annual International Conference of the International Institute for Infrastructure Renewal and Reconstruction (8-10 July 2013) (Vol. 1, No. 1, pp. 391-405)*. Queensland University of Technology.
24. Sertyesilisik, B., & Kivircik, I. (2017). Integrated BIM Usage in Construction Project Management: As a Way of Enhancing Sustainability and Lean Performance of Construction Industry. *Integrated Building Information Modelling*, 204.
25. Sertyesilisik, B., & Kivircik, I. (2017). Integrated BIM Usage in Construction Project Management: As a Way of Enhancing Sustainability and Lean Performance of Construction Industry. *Integrated Building Information Modelling*, 204.
26. Wehbe, F., Al Hattab, M., & Hamzeh, F. (2016). Exploring associations between resilience and construction safety performance in safety networks. *Safety science*, 82, 338-351.

۱۱۱

ویژه نامه هفته
پدافند غیرعامل
پاییزه زمستان
۱۳۹۹

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



ارائه الگوی تاب‌آوری صنعت ساخت‌وساز با بهره‌گیری از
مدل سازی اطلاعات ساختمان BIM