

سازگاری ساختاری سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی

دکتر جلیل اولیا، مهندس علیرضا تقدیری^۱، مهندس سارا قنبرزاده قمی^۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۱۶

چکیده:

نوشته حاضر به مشکلات موجود در روش‌ها و سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی در پاسخ به نیازهای جمعیت در حال رشد، کیفیت نسبتاً پایین محصول نهایی، تقاضا برای ساخت با کیفیت بالاتر، بالا بودن میزان مصرف انرژی و مواد اولیه در ساختمان سازی و تأثیرات منفی محیطی ناشی از تولید انبوه زباله و نخاله‌های ساختمانی می‌پردازد. علاوه بر لزوم ساخت ساختمان‌های جدید، کیفیت ضعیف فرآیند ساخت، باعث تسریع استهلاک ساختمان‌های موجود شده و در نهایت، تقاضا برای ساختمان‌های جدید را افزایش می‌دهد. علاوه بر موارد فوق، دوره‌های زمانی طولانی بازیافت مصالح از نخاله‌های ساختمانی، آلودگی محیط زیست در فرآیند بازیافت مصالح، بالا بودن هزینه مصالح و ماشین‌آلات ساختمانی، تأثیر تغییرات (عملکردی، تکنولوژیک، اقتصادی، فرهنگی و اکولوژیک) مداوم بر ساختمان‌ها در دوره عمر آنها، نیاز متغیر و روزافزون به بناها و گسترش‌پذیری و انعطاف‌پذیری نامناسب و اندک بناهای موجود نیز جزو مهمترین مسایل سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی هستند که دوره عمر مورد انتظار ساختمان‌های موجود را به شدت کاهش داده و باعث ایجاد تغییرات کلی و اساسی ساختاری در دوره‌های زمانی کوتاه مدت می‌شوند.

مهمترین اهداف این مقاله عبارت است از تبیین اهمیت ساختار و اجزای سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی و ارزیابی امکان، روش‌ها و مزایای سازگاری و بروزآوری آنها بعد از دوره عمر مفید است. علاوه بر این، روش‌های عملی و تکنیکی دستیابی به سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی با قابلیت بروزآوری، سازگاری و استفاده مجدد مورد بررسی قرار گرفته و روش‌های سازگارسازی سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی در برابر تغییرات موثر ارائه شده است؛ به نحوی که:

الف) این سیستم‌های ساختمانی، پاسخی درخور در برابر نیاز به ساختمان جدید داشته باشند ب) با دارا بودن امکان استفاده مجدد از اجزای ساختاری در برابر تغییرات موثر در طول دوره عمر ساختمان، بتوانند پاسخی مناسب براساس طرح، بنا، شرایط و نیاز جدید را ارائه دهند.

واژگان کلیدی:

سازگاری، سیستم صنعتی ساختمان سازی، مدولاسیون، ماندگاری.

۱. استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۲. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

(۱) مقدمه:

معماری منعطف شامل بناهایی می‌شود که طوری طراحی شده‌اند تا به سهولت در برابر تغییر در دوره زندگی خود پاسخ دهند. مزایای چنین رویکردی در طراحی قابل ملاحظه است: چنین طرحی قابلیت استفاده برای مدت زمان بیشتری را داراست، با هدف همخوانی بیشتری دارد، با تجربه و مداخله استفاده‌کننده مطابقت پیدا می‌کند، از مزایای ابداعات تکنیکی به سهولت برخوردار می‌شود و ماندگاری اقتصادی و اکولوژیکی بیشتری دارد.

بناهای منعطف در صدد پاسخ به شرایط متغیر دوره استفاده، عملکرد یا مکان هستند. ساختمان‌ها دوره زندگی طولانی و پیچیده‌ای دارند و در طی آن پارامترهای کاربریشان تغییر گسترده‌ای پیدا می‌کند. اغلب در سایت‌های دائمی ساخته می‌شوند ولی به همان صورت که سایر ساختمان‌ها گسترش می‌یابند یا جایگزین می‌شوند، محیط پیرامونی آنها نیز به صورت مداوم تغییر می‌یابد. نیاز به انعطاف‌پذیری و سازگاری با شرایط جدید، نه تنها از شرایط مطلوب و امکان، بلکه از اقتصاد و نیاز نیز نشأت می‌گیرد.

رشد روزافزون جمعیت، نیاز به انبوه‌سازی در حجم بسیار زیاد و در حداقل زمان، جابجایی تجهیزات کارگاهی و ساختمان‌های ساخته شده به منظور استفاده مجدد در محل جدید و حتی در شهرهای مختلف، صنعت ساختمان را به سوی ساخت ساختمان‌های صنعتی سبک، با قابلیت جابجایی و نصب سریع سوق می‌دهد. با توجه به مطالب فوق، نیاز به پژوهش در زمینه تولید صنعتی ساختمان کاملاً محسوس است و ایجاد تدابیری به منظور رفع نقاط ضعف آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این نوشته ضمن اشاره به مفاهیم و روش‌های مطرح در تولید صنعتی ساختمان، به جایگاه صنعتی‌سازی، مزایا و محدودیت‌های سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی و امکان تولید صنعتی ساختمان پرداخته می‌شود و در ادامه سیستم صنعتی ساختمان‌سازی سازگار و با قابلیت استفاده مجدد می‌شود؛ به نحوی که این سیستم ساختمانی پاسخی درخور به نیاز ساکنان متغیر داشته باشد و استفاده مجدد از تمامی و یا بخش عمده‌ای از ساختار و اجزای سیستم ساختمانی در ساختمان و یا کاربردی جدید میسر باشد.

(۱-۱) سازگاری:

سازگاری در لغت به مفهوم قابلیت انطباق یا اصلاح برای شرایط یا استفاده‌کنندگان جدید (Oxford dictionary)، قابلیت مناسب‌سازی برای کاربرد یا موقعیت خاص یا جدید، اغلب به وسیله تغییر (Merriam-Webster dictionary)، مناسب بودن برای نیازها یا شرایط، اصلاح یا تغییر متناسب / مناسب بودن برای کاربرد یا حالت خاص (American heritage dictionary) و قابلیت تغییر به منظور موفقیت در شرایط جدید و متفاوت (Longman dictionary) است و در اصطلاح، توانایی محصول برای تطابق با نیازهای متغیر کاربرد می‌باشد (Hashemian, 2005). به عبارت دیگر، سازگاری شامل هرگونه فعالیتی می‌شود که بر روی ساختمان به صورت تعمیر و نگهداری انجام می‌شود تا ظرفیت، عملکرد یا کارایی آن را تغییر دهد و مربوط به مدیریت و کنترل تغییر در زمینه ویژگی‌های عملکردی و کالبدی ساختمان‌های موجود بوده و بر این فرض استوار است که ساختمان‌ها از لحاظ استفاده یا ویژگی‌ها در دوره زندگی خود ایستا نیستند و میزان فعالیت یا شدت اشغال فضا در طول موجودیت کلی ساختمان، ثابت باقی نمی‌ماند. به بیان دیگر، هرچند که این مفهوم به صورت تخصصی به عنوان عملیات

تطبیق دهنده تغییر در استفاده، یا اندازه و یا کارکرد یک ساختمان شامل روش‌های مختلف دگرگونی، گسترش، ارتقا و سایر فعالیت‌های اصلاح‌کننده آن در نظر گرفته شده است، با این وجود به عنوان فرآیند تطبیق و تغییر یک ساختار یا ساختمان و یا محیط آن به منظور درخور و مناسب بودن با شرایط جدید مورد توجه است (Douglas, 2006). لذا می‌توان چنین استنباط نمود که سازگاری به مفهوم خاصیتی بالقوه از محصول می‌باشد که بر طبق آن، امکان هماهنگی با شرایط مختلف استفاده پدید می‌آید.

(۱-۲) سیستم صنعتی ساختمان‌سازی:

سیستم ساختمانی شامل قوانین طراحی و سیستم تولید می‌شود؛ به نحوی که بخش‌های آن، امکان سازگاری دارند و از اجزای ساختمانی و قابل مونتاژ مختلفی بهره می‌برد. سازگاری اجزا و روش‌های گوناگون مونتاژ سیستم ساختمانی به وسیله سیستم ابعادی و خطای مجاز و همچنین به وسیله اتصالات و فواصل حاصل می‌آید. در واقع، سیستم ساختمانی عبارت است از ایجاد سیستمی برای ساختمان‌سازی یا مجموعه‌ای از اجزای ساختمانی که به طرق مختلف مونتاژ می‌شوند تا آرایش‌های ساختمانی مختلفی را ایجاد کنند (Sarja, 1998) و شامل تمامی فعالیت‌های لازم برای نوع خاصی از ساخت بنا به همراه تکنیک‌ها و روش‌های اجرایی می‌باشد. چنین سیستمی شامل روش‌های مختلف تکنیکی و مدیریتی برای تولید و مونتاژ عناصر برای هدف معینی بوده و به عنوان مجموعه‌ای از عناصر مرتبط می‌باشد که این عناصر با یکدیگر فعالیت می‌کنند تا عملکرد معین ساختمان را فراهم آورند (Warszawski, 1999).

سیستم ساختمانی معمولاً بر پایه روش‌های غیرسنتی و صنعتی استوار است و شامل تولید ترکیبی از مصالح و روش‌ها برای طراحی و ساخت می‌شود و طرح و تکنیک ارائه می‌دهد و در نتیجه با فرم‌های اختصاصی ساخت مترادف می‌باشد (Douglas, 2006).

اصطلاح صنعتی‌سازی ساختمان برای توصیف و دربرگرفتن مفاهیم مدولساز، پیش‌ساخته‌سازی و مونتاژ به کار می‌رود و به مفهوم هزینه کردن در تجهیزات، امکانات و تکنولوژی با هدف افزایش خروجی، کاهش کار دستی و ارتقای کیفیت می‌باشد (Sebestyen, 2003) و مشخصه‌هایی چون تمرکز تولید، تولید انبوه^۲، استانداردسازی، تخصص، سازماندهی مناسب و همگرایی، جزو شرایط لازم برای موفقیت این فرآیند هستند (Warszawski, 1999). امروزه تولید صنعتی ساختمان به معنای به کارگیری روش‌های مدرن و سازمان یافته طراحی، برنامه‌ریزی تولید و کنترل و نیز پروسه تولید مکانیزه و اتوماسیون بوده و عبارت است از به کارگیری تکنولوژی‌ها به منظور جایگزینی استادکار با ماشین. چنین پدیده‌ای به طور طبیعی در کارگاه، یا کارخانه و یا در سایت مورد نظر و ضمن جایگزینی ماشین‌آلات به جای استادکار روی می‌دهد. صنعتی‌سازی شامل موارد زیر نیز می‌باشد:

■ تولید سری: تولیدات حاصل از عملیات یکسان برای ساخت محصولات یکسان، یا

■ استفاده از اتوماسیون: محصولات در حیطه معینی بدون اتلاف یا خسارتی در تولید، دارای تنوع نیز هستند. بدین منظور ابزار تولید نسبت به دستورالعمل دریافتی مربوط به هر محصولی سازگار شده است (Sarja, 1998).

روش‌های ساخت متداول و ساخت صنعتی در جدول (۱) مقایسه شده‌اند:

جدول ۱: تفاوت‌های ساخت صنعتی و ساخت متداول (Warszawski, 1999: 8)

ساخت صنعتی ^۵	ساخت متداول ^۴
تمامی فعالیت در یک مکان دائمی انجام می‌شود.	فعالیت در مکان‌های موقت متعددی انجام می‌شود.
طول عمر کم تا متوسط یک نوع محصول	طول عمر طولانی یک محصول ویژه
درجه بالایی از تکرار و استانداردسازی	استانداردسازی کم؛ هر پروژه جنبه‌های متمایزی دارد.
تعداد محدودی وظایف ساده برای تولید محصول معین ضروری است.	وظایف زیادی نیازمند مقدار زیادی مهارت دستی لازم برای تکمیل پروژه ساخت معینی است
تمامی وظایف در ایستگاه کاری ثابتی انجام می‌شود.	هر فعالیتی در محل کاری وسیع توسط کارگرانی در حال رفت و آمد از مکانی به مکانی دیگر انجام می‌شود.
محل کار به دقت براساس نیازهای انسان تنظیم شده است.	محیط کاری سخت و ناملایم
در مقایسه، نیروی کاری ثابت	تغییر زیاد کارگران
اختیار واحد تصمیم‌گیری برای طرح، تولید و بازاریابی	اختیار تصمیم‌گیری میان حامی، طراحان، دولت محلی، پیمانکار و پیمانکاران جز تقسیم شده است.

یکنواختی ایجاد کرد که در طول چند سال اغلب به مناطق زاغه‌نشین رو به ویرانی تبدیل شد.

پ) سیستم‌های صنعتی در برابر تغییرات مورد نیاز در ساختمان، در طول دوره زندگی اقتصادی خود، صلب بودند. این مورد به ویژه زمانی که فضاهای پیش‌ساخته در ابعاد یک اتاق و با دهانه کم مورد استفاده قرار می‌گرفتند آشکارتر می‌شد.

ت) تکنولوژی، سازماندهی و طراحی سیستم‌های ساختمانی پیش‌ساخته، هرگز به عنوان بخشی از دانش تخصصی مهندسان و معماران، مشابه سایر موضوعات آموزشی آکادمیک منظم، مطرح نشد (Warszawski, 1999).

۱-۲-۴) انواع و روش‌های صنعتی سازی ساختمان:

پنج نوع و روش اصلی تولید صنعتی ساختمان قابل شناسایی است. چهار سطح نخستین آن عبارتند از: پیش‌ساختگی^۶، مکانیزاسیون^۷، اتوماسیون^۸ و به کارگیری هوش مصنوعی و ربات‌ها در تولید^۹. با وجود اینکه این انواع و روش‌های مختلف تولید، به سرمایه‌گذاری در تاسیسات و ملزومات تولید نیاز دارند اما اغلب همان روند ساخت سنتی را پیاده می‌کنند و صرفاً وظایف از استادکار به ماشین منتقل می‌شود. سطح پنجم که باز تولید^{۱۰} نامیده می‌شود، تحقیق و توسعه در زمینه فرآیندهای ابتکاری قادر به ساده‌سازی روش‌های تولید را در برمی‌گیرد (Richard, 2005). مطابق تصویر (۱) با پیشرفت تکنولوژی در روش‌های به کار رفته در فرآیند ساخت صنعتی اجزای ساختمان در کارخانه و یا کارگاه، انعطاف‌پذیری بیشتری در فرآیند و روش‌های ساخت حاصل شده و علاوه بر آن، محصول نهایی نیز سازگاری و انطباق‌پذیری بیشتری با سایر محصولات و شرایط محلی نصب و احداث دارا خواهد بود.



تصویر ۱: رابطه تکنولوژی و انعطاف‌پذیری

در فرآیند ساخت صنعتی ساختمان (افزایش انعطاف‌پذیری در روش‌های تولید با تکنولوژی بالاتر)

۱-۲-۱) مشخصه‌های اصلی سیستم صنعتی ساختمان‌سازی:

الف) در حد امکان، عناصر ساختمانی به صورت پیش‌ساخته در خارج از سایت تولید می‌شوند. این فعالیت در یک ساختمان مرکزی انجام می‌شود که تجهیزات تخصصی و سازماندهی برای این هدف می‌تواند دایر شود.

ب) فعالیت‌های ساختمانی مختلفی با کمترین نیاز به برپاسازی، اتصال و پرداخت نهایی عناصر در سایت در عناصر قابل مونتاژ پیش‌ساخته، یکی شده‌اند.

پ) به کارگیری مصالح و اجزا در سایت به صورت مکانیزه می‌باشد؛ در صورت به کارگیری اجزای بتنی، عناصر فولادی استاندارد، بتن با اختلاط قبلی و پمپ‌های بتن مورد استعمال قرار می‌گیرد.

ت) طراحی، تولید و برپاسازی در سایت، کاملاً به هم مرتبط هستند و باید به عنوان بخشهایی از یک فرآیند همگرا مدنظر قرار گرفته و بدین صورت برنامه‌ریزی و هماهنگ شوند.

ث) اتوماسیون می‌تواند وارد فرآیند ساختمان‌سازی شود تا درگیری انسان را کاهش و کیفیت طراحی، تولید و ساخت در سایت را ارتقا دهد (Warszawski, 1999).

۱-۲-۲) مزایای سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی:

الف) کاهش کار دستی در سایت (تا حدود ۵۰-۴۰ نیروی مصرف شده در ساخت متداول)، به ویژه در فعالیت‌های مهارتی چون قالببندی، بنایی، اندودکاری، نجاری، کاشیکاری و لوله‌کشی (تاسیسات الکتریکی و آبی).

ب) فرآیند ساخت سریعتر تا پروژه‌های ساختمانی زودتر تکمیل شوند.

پ) کیفیت بالاتر اجزای سازنده، انتخاب دقیق مصالح، کاربرد ابزار تولید بهتر و کنترل دقیق کیفیت (Warszawski, 1999).

۱-۲-۳) معایب سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی:

الف) تحول سریع داد و ستد ساختمان و کاهش کلی در تقاضای پروژه‌های مسکونی عمومی در اغلب کشورهای توسعه یافته باعث شد ریسک سرمایه‌گذاری در تجهیزات تولید، در مقایسه با روش‌های متداول بیشتر شود.

ب) گرایش شدید به تکرار و استانداردسازی در پروژه‌های عمومی که صنعتی‌سازی در بسیاری موارد به کار بست، مجموعه‌های

۱-۳) ساختمان باز^{۱۱}:

هابرکن^{۱۲} در دهه ۱۹۶۰ میلادی ایده ساختمان باز را مطرح کرد. امروزه اصطلاح ساختمان باز، تعدادی ایده مربوط به ساختمان و محیط آنها را شامل می‌شود که هابرکن در سال ۲۰۰۶ بدین ترتیب آنها را ارائه نمود:

■ ایده‌ای که طراحی پروسه‌ای با تعداد زیادی افراد مرتبط و همچنین انواع مختلفی از حرفه‌ها را شامل می‌شود.

■ ایده‌ای که فصل مشترک میان سیستم‌های تکنیکی با امکان جایگزینی یک سیستم با سیستم دیگری را که پاسخگوی همان عملکرد باشد فراهم می‌آورد.

■ ایده‌ای که در آن محیط مصنوع در حال دگرگونی ثابت است و تغییر باید مورد توجه قرار گیرد و درک شود (Gibb and others, 2007).

ایده "ساختمان باز" به مفهوم امکان مونتاژ محصولات تولیدکنندگان دیگر در ساختمان و مبادله اطلاعات میان دست‌اندرکاران پروسه تولید و شبکه‌های تجاری است و در واقع، سیستمی است که اشیاء یا اطلاعات را با محیط پیرامونی خود مبادله می‌کند و به مفهوم طرح آزاد برای نیازمندی‌های متفاوت، رقابت آزاد پیمانکاران و تولیدکنندگان، تغییرات آتی در کاربرد، و استفاده مجدد و بازیافت می‌باشد (Sarja, 1998). به بیان دیگر، ساختمان باز به مفهوم طراحی بر روی سطوح است به نحوی که بتوان چیدمان‌های مختلف معماری را ایجاد کرد. سیستم صنعتی ساختمان‌سازی باز نیز سیستمی است که امکان می‌دهد قطعات ساختمانی پیش‌ساخته در چیدمان‌های مختلف و مورد نظر، ساختارهای معماری متفاوتی را ایجاد کنند.

۲) افزایش دوره کاربرد سیستم صنعتی ساختمان‌سازی با رویکرد پایداری محیطی:

پایداری^{۱۳} محیطی مجموعه‌ای است از فرآیندهای مورد نظر در رسیدن به عناصر ارزشمند ساخته شده به صورت کارآمد در دوره زمانی طولانی (Douglas, 2006). پروفیسور آسکو سارجا نیازهای چندگانه ساختمان‌های پایدار را به صورت عوامل عنوان شده در تصویر (۲) دانسته‌اند که یکی از این موارد، ماندگاری می‌باشد.

افزایش دوره کاربرد طبیعی سیستم ساختمانی، ماندگاری خوانده می‌شود و کاربردپذیری آنرا صرفاً در حالت موثر کنونی افزایش می‌دهد (Hashemian, 2005). این مفهوم، توانایی ساختمان یا بخش‌های آن در ایفای عملکردهای مورد نیاز در دوره زمانی و تحت تاثیر عوامل یا مکانیزم‌های داخلی و خارجی زوال و پوسیدگی می‌باشد و معیاری برای توانایی ساختمان برای مقاومت در برابر زوال است (Douglas, 2006) و به بیان دیگر، عبارت است از ظرفیت سازه در حفظ کمترین مقدار کارآیی تحت بارهای فرساینده محیطی واقعی (Sarja, 2006) که به صورت مفهومی چندضابطه‌ای، از گذشته برای توصیف بقای مصنوعات یا استمرار همیشگی در زمان و هم توانایی مقاومت آن در برابر استعمال، پوسیدگی و خوردگی به کار رفته است (Saleh, 2008). بدین ترتیب، افزایش ماندگاری ساختمان به معنای افزایش دوره زندگی پیش‌بینی شده^{۱۴} آن است.

دو مفهوم «دوره زندگی طولانی» و «تغییر شرایط موجود» کالبد ساختمان، مزایایی در کاهش بار منفی محیطی و حفظ منابع محدود دارند (Eun-Kyung and others, 2007). به لحاظ زیست محیطی، در صورتی که کارآیی عملکردی یکسانی به لحاظ محیطی حاصل شود، نوسازی انتخاب مناسبتری نسبت به ساخت بنایی جدید می‌باشد

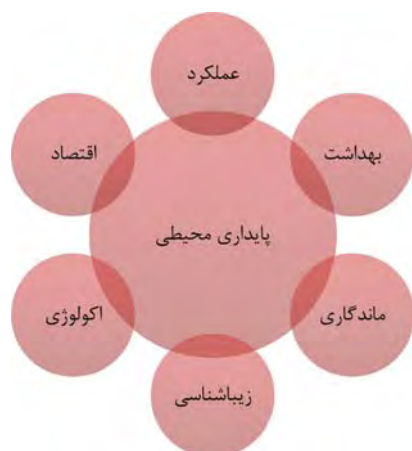
(Erlandsson and Levin, 2005). ایده تکنولوژی ساختمان‌های منعطف / سازگار، تعمیر و نگهداری بنا را میسر می‌سازد و تغییرات لازم بدون اعمال هزینه‌های زیاد، عملی می‌شوند (Lee, 2000).

با وجود اینکه امکان استفاده از مصالح، اجزا و فرم‌های ساختمانی بازیافتی یا تغییر مکان یافته وجود دارد (Meer, 2006)، از دیدگاه زیست محیطی و حفظ ذخایر انرژی، نخاله‌های ساختمانی و مصالح به دست آمده از تخریب ساختمان غیرقابل جایگزینی با مصالح متداول حاصل از معادن است. چرا که کیفیت مورد نظر در بسیاری از فعالیت‌های ساختمانی اجازه استفاده از مصالح بازیافتی را نمی‌دهد. علاوه بر آن، کاهش کیفیت، اتلاف مصالح، مصرف انرژی و آلودگی حاصل از پروسه بازیافت از محدودیت‌ها و مشکلات بازیافت می‌باشد. لذا استفاده‌های ترکیبی از مصالح اولیه و مصالح بازیافتی پاسخ مناسبی است (Blengini, 2009).

صنعت ساختمان علاوه بر مصالح ساختمانی مناسب، به تکنولوژی مناسب نیز توجه داشته باشد تا قادر به حفظ ذخایر انرژی و کاهش هزینه‌ها باشد. سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی بیشتر از تکنیک‌های ساخت در جای متداول ضوابط بهره‌وری سبز را پاسخ می‌دهند (Outhred and Graham, 1995).

تکنولوژی ساختمان‌سازی به روش IFD^{۱۵} می‌تواند باعث کاهش زباله در حین تولید اجزای ساختمانی و ساخت واقعی و همچنین در طول عمر ساختمان و فاز تخریب گردد و به طور همزمان تاثیر مثبتی بر ضوابط محیطی استخراج مواد خام و حفظ ذخایر انرژی دارد (Hendriks and Vingerling, 2000). سیستم‌های مدولار نیز می‌توانند باعث ارتقای پایداری محیطی ساخت و ساز انبوه‌سازان شوند (Oxley, 2006).

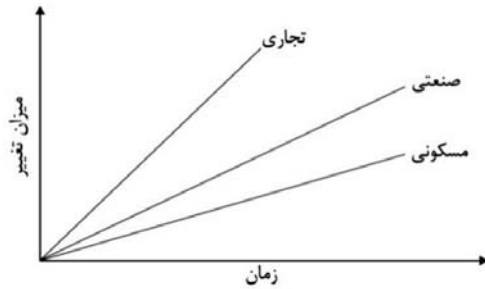
تولید ضایعات با انتخاب روش پیش‌ساخته‌سازی کاهش چشمگیری پیدا خواهد کرد (Tam and others, 2007). کاهش زباله، طول عمر بیشتر ساختمان، ساده‌سازی و تسریع فرآیند ساخت و بازسازی، کاهش سر و صدا و گرد و غبار، استفاده کمتر از مواد خام، کنترل کیفیت بهتر و استفاده کمتر از انرژی از مزایای سیستم ساختمانی قابل دمونتاژ شدن است.



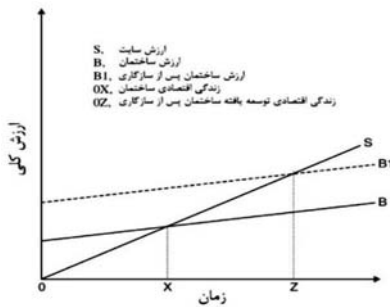
تصویر ۲: نیازهای چندگانه ساختمان‌های پایدار (Sarja, 1998: 144)



تصویر ۳: طول عمر محصول

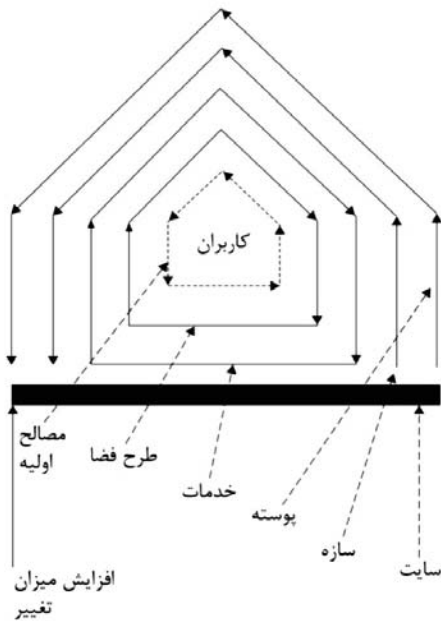


تصویر ۵: تاثیر سازگاری بر زندگی اقتصادی ساختمان (Douglas,2006: 10)



تصویر ۶: نرخ تغییر پذیری سه نوع کاربرد ساختمانی متداول (Douglas,2006: 11)

لایه‌های متغیر ساختمان نیز به ترتیب در تصویر (۷) و جدول (۲) معرفی شده‌اند. براساس این جدول، پوسته خارجی و سازه بنا به دلیل دارا بودن بیشترین طول عمر، ارزش بیشتری برای سازگاری دارند.



تصویر ۷: لایه‌های متغیر ساختمان (Douglas,2006: 12)

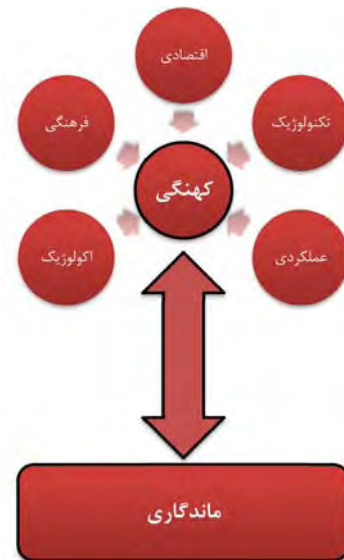
جدول ۲: لایه‌های متغیر ساختمان (Douglas,2006: 12)

لایه‌ها	طول عمر/ فعالیت نمونه
سایت	دایمی
سازه	۳۰-۳۰۰ سال
پوسته	۲۰ سال
خدمات	۲۰-۷ سال
طرح فضا	۳ سال
مصلح اولیه	کمتر از ۳ سال
کاربران	روزانه

۳) لزوم سازگاری سیستم صنعتی ساختمان‌سازی:

طول عمر یک محصول صنعتی به سه فاز قابل تقسیم است: السف (تولید (ایجاد)، ب) کاربرد (بهره‌برداری)، و پ) کنار گذاشته شدن (انهدام/بازیافت) و افزایش طول عمر و یا کاربردپذیری محصول صنعتی نیز به دو صورت زیر قابل دستیابی است: الف) افزایش طول عمر محصول در حالت موثر طبیعی آن (ماندگاری) و ب) انطباق محصول با شرایط عملی جدید (سازگاری) (Hashemian,2005).

سازگاری، بر ظرفیت ساختمان در تطبیق دادن تغییرات مهم دلالت دارد. در دوره عمر ساختمان، تغییرات هم در شرایط اجتماعی، اقتصادی و کالبدی پیرامونی و هم در نیازها و انتظارات ساکنان، غیرقابل اجتناب هستند (Russel and Moffatt,2001). سازگاری سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی برای مقابله با پدیده زوال^۶ و یا به عبارتی کاهش توانایی در ایفای نقش در حد استاندارد و قابل قبول می‌باشد. در این حالت از شرایط منسوخ، قدیمی و از مد افتاده شدن سیستم ساختمانی ناشی از وجود تغییر سریع در نیازها یا انتظارات مربوط به محافظت، آسایش، سودمندی یا کارایی مورد انتظار جلوگیری به عمل می‌آید. این کهنگی‌ها^۷ به دلیل تغییر عملکردی، اقتصادی، تکنیکی یا اجتماعی و فرهنگی روی می‌دهد (تصویر ۴)، (Douglas,2006). به عبارت دیگر، در چنین شرایطی کاهش توانایی یک عنصر یا عناصر ساختمانی در ایفای نقش به طور رضایت‌بخش به دلیل تغییرات در نیازهای اقتصادی، عملکرد، انسانی (ایمنی، سلامت و آسایش) یا اکولوژیک پدیدار می‌شود (Sarja,2006). لذا، هدف از سازگاری سیستم صنعتی ساختمان‌سازی افزایش دوره کاربردپذیری است به نحوی که این هدف، ارتباط منطقی کمبود منابع و نیاز به سازگاری را آشکار می‌کند.



تصویر ۸: رابطه کهنگی و انواع آن با ماندگاری

زندگی اقتصادی ساختمان را به صورت تصویر (۵) می‌توان نشان داد. براساس این نمودار، میزان افزایش ارزش سایت ساختمان ثابت بوده و سازگاری در افزایش ارزش کلی آن بی‌تاثیر است. با این حال ارزش ساختمان پس از سازگاری افزایش یافته است (تصویر ۵). نرخ تغییرپذیری سه نوع کاربرد ساختمانی متداول نیز در تصویر (۶) نشان داده شده است. براساس این نمودار میزان تغییر ساختمان‌ها برحسب زمان به ترتیب در عملکردهای مسکونی، صنعتی و تجاری افزایش می‌یابد.

۳-۴) روش‌های بازیابی محصول صنعتی:

- الف) ماندگاری، تعمیر و نگهداری که بهره‌برداری طبیعی را افزایش می‌دهد.
- ب) سازگاری که طول عمر را در حالت کاربردی جدید افزایش می‌دهد.
- پ) بازیافت بخشی از محصول که اجزا را به همان حالتی که هستند مورد استفاده مجدد قرار می‌دهد.
- ت) بازیافت مصالح که مصالح موجود را برای ساخت اجزای جدید مورد استفاده قرار می‌دهد.
- ث) بازیافت مصالح که شامل خردکردن و عمل‌آوری مجدد مصالح خام است (تصویر ۸)، (Hashemian, 2005).

۴) روش‌های سازگاری سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی در برابر تغییرات موثر:

تاکنون پروژه‌های اندکی با به کارگیری اصول ساختمان باز ساخته شده‌اند و پروژه‌های تکمیل شده از انعطاف‌پذیری ذاتی مورد نظر، بهره‌ای نبرده‌اند (Verweij and Poleman, 2006). ساختمان‌های قدیمی بسیار اندکی موجود هستند که با رویکرد سازگاری طراحی شده باشند و شواهد بسیار کمی وجود دارد که سازگاری یک اصل طراحی موثر در بهبود کارایی محیطی است. در این راستا مشکل اصلی، دشواری پیش‌بینی نیازهای آتی ساختمان‌هاست. نوع تغییراتی که در قرن بیست و یکم رخ خواهد داد شدیدتر و کاملاً غیرمشابه با نوع تغییرات گذشته خواهد بود (تحول رایانه، ماهیت در حال تغییر کار، اقلیم در حال تغییر) (Russel and Moffatt, 2001).

سیستم منعطف در برابر تغییر، پاسخو می‌باشد (Kozlowski, 1990). سیستم‌های ساختمانی موجود انعطاف‌پذیری معینی را ممکن می‌سازند ولی امکان بهبود وجود دارد (Radt, 2007). سیستم‌های ساختمانی متداول برای تغییر طراحی نشده‌اند و هر تغییر شکلی در بنا با تخریب بخش و یا گاه تمامی آن همراه خواهد بود. برای افزایش ظرفیت تغییر شکل ساختمانها، ساخت بناها باید بر سامان‌مندتر شدن ساختمان و روش‌های ساخت نوآورانه تمرکز بیشتری پیدا کند تا سازه‌های منعطفتری حاصل آمده و اجزای این سازه‌ها به راحتی قابل جایگزینی، استفاده مجدد یا بازیافت باشند (Durmisevic and Linthorst, 2000). همچنین، روش‌های گذشته و کنونی انبوه‌سازی فاقد تعادل مناسب میان جنبه‌های عملکردی، زیبایی‌شناسی و ظرفیت شخصیسازی برای ساکنان بوده است و انبوه‌سازی مسکن با اعمال رویکردهای طراحی صنعتی^{۱۹} می‌تواند ارتقا یابد (Al Arayedh, 2006).

۴-۱) روش‌های پیشرفته ساخت: برای دستیابی به روش‌های ساخت سریع و انعطاف‌پذیری در ساخت، سیستم ساختمانی باید براساس تولید محصول با استفاده از روش‌های مدرن، مونتاژ سریع و ساخت خارج از سایت مورد استفاده قرار گیرد و دو مفهوم زیر می‌تواند قابلیت انطباق ساختمان‌ها را تشریح سازد:

الف) آرایش فضایی مجدد^{۲۰}: این مفهوم استفاده مجدد از سه مفهوم اصلی پایداری (کاهش مصرف منابع^{۲۱}، استفاده مجدد^{۲۲} و بازیافت^{۲۳}) است. استدلال اولیه در حمایت از آرایش فضایی مجدد، تغییر در نیازهای جامعه در مکان مشخصی است.

ب) پیش‌آرایی^{۲۴}: دومین جنبه انعطاف‌پذیری، در حالتی که

۳-۱) مزایای سازگاری سیستم صنعتی ساختمان سازی:

الف) برای استفاده‌کننده (کاربرد گسترده‌تر محصول): سازگاری باعث می‌شود استفاده‌کننده از همان سیستم در شرایط متغیر بهره‌برد در نتیجه سیستم‌های متعدد با یک سیستم جایگزین می‌شوند. با این وجود، کارکردهای سازگاری باید به راحتی قابل اعمال توسط استفاده‌کننده باشد. سیستم سازگار در طول عمر^{۱۸} خود با تعداد زیادی سیستم جایگزین شده و در نتیجه باعث صرفه‌جویی در سرمایه، فضای انبار، نگهداری و هزینه‌های نصب می‌شود.

ب) برای تولیدکننده (کاربرد گسترده‌تر طرح): سازگاری باعث می‌شود تولیدکننده امکان استفاده مجدد از دانش طراحی موجود و زیرساخت‌های تولید صنعتی را داشته باشد.

پ) برای محیط: سازگاری میزان کل تولید را کاهش می‌دهد و در عوض، سیستم‌هایی را ارائه می‌دهد که نسبت به موارد مشابه متداول، کارایی بیشتری دارد. واکنش‌های جبرانی موجود در طبیعت برای مقابله با معضل کنار گذاشته شدن سیستم عبارت است از تکنیک‌های بازیافت که بر پایه هدایت مجدد جریان سیستم‌های مستعمل از توده‌های زباله به زنجیره تامین سیستم قرار دارد. سازگاری سیستم نیز تاثیر مشابهی دارد زیرا سازگاری نیز سیستم کنار گذاشته شده را به سوی کاربرد جدید هدایت مجدد می‌کند (Hashemian, 2005).

سازگاری به ویژه زمانی مزیت بیشتری خواهد داشت که سیستم در حالی که هنوز در شرایط کاری مناسبی قرار دارد، کنار گذاشته می‌شود. این کنار گذاشته شدن پیش از موقع برای سیستم به دلایل زیر اتفاق می‌افتد:

- الف) با تغییر نیازها یا انتظارات استفاده‌کننده،
- ب) با تغییر شرایط فعالیت یا قوانین دولتی و به صورت در حال افزایش در داد و ستد مهندسی مدرن،
- پ) با کهنگی تکنولوژیک اجزا.
- در چنین مواردی، سازگاری باعث ایجاد طول عمر جدید برای محصول می‌شود.

۳-۲) شرایط سازگاری سیستم‌های صنعتی ساختمان سازی:

الف) سازگاری افزایش دوره کاربرد در روش‌های عملی «متفاوت» است. این شرط، روش‌های طولانی کردن طول عمر طبیعی محصولات از جمله روش‌های طراحی برای ماندگاری، تعمیر، و نگهداری را دربر نمی‌گیرد.

ب) سازگاری فرآیندی است که اجزا به همان صورتی که هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شرط، روش‌های بازیابی مصنوعات به صورت سایر فرم‌ها از جمله بازیافت مصالح را دربر نمی‌گیرد.

پ) یک مصنوع به شرطی سازگار شده محسوب خواهد شد که بخش قابل توجهی از آن در حالت عملی جدید به صورت یکپارچه باقی بماند. این شرط، روش‌های طراحی برای استفاده مجدد از بخشی از محصول اولیه را دربر نمی‌گیرد (Hashemian, 2005).

۳-۳) اصول سازگاری:

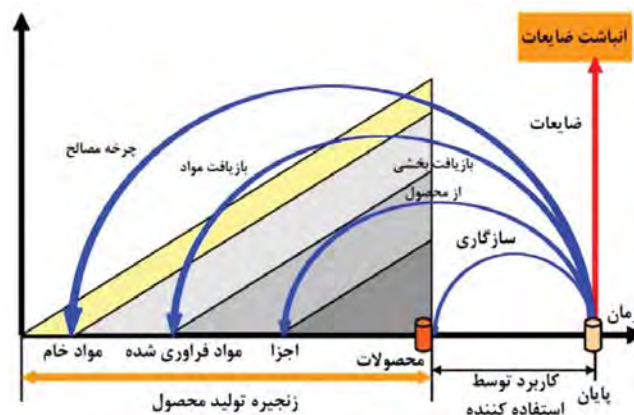
اصول سازگاری عبارتند از مجزا بودن، امکان بهبود، سازگاری دوره زندگی و نگهداری مدارک (جدول ۳). لایه‌های ساختاری ساختمان که به منظور تامین سازگاری باید به صورت مجزا قرار گیرند، به همراه عناصر مرتبط و دوره زندگی متوسط هر یک از آنها در جدول (۴) دسته‌بندی شده است.

جدول ۳: اصول سازگاری (Russel and Moffatt, 2001: 7)

مجزا بودن	قرارگیری سیستم‌ها در یک ساختمان به نحوی که به اجزا امکان حذف یا بهبود را بدهد و کارایی سیستم‌های مرتبط تحت تاثیر قرار نگیرد.
امکان بهبود	گزینه‌های سیستم‌ها و اجزای پیش‌بینی‌کننده و تطبیق‌دهنده نیازهای مربوط به کارایی افزایش یافته
سازگاری دوره‌زندگی	عدم ایجاد اتصال میان اجزای با دوره زندگی کوتاه و اجزای با دوره زندگی طولانی
نگهداری مدارک	حفظ اطلاعات اجزا و سیستم‌های ساختمان برای استفاده در آینده

جدول ۴: لایه‌هایی که باید در ساختمان به صورت مجزا قرار گیرند (Russel and Moffatt, 2001: 8)

لایه‌ها	عناصر	دوره زندگی متوسط
توده	سازه ساختمان، به انضمام پوسته باربر	بیشتر از ۵۰ سال
بخش‌های خدماتی	لوله‌ها، داکت‌ها، کابل‌ها، ماشین‌آلات، آسانسورها، پله‌برقی‌ها	حدود ۱۵ سال
صحنه	پارتیشن‌بندی، سقف، آندوها	حدود ۶ سال
دستگاه	لوازم، مبلمان، رایانه‌ها	ماهانه



تصویر ۸: سازگاری و چرخه‌های بازیافت (Hashemian, 2005: 82)

طولانی را به خود اختصاص دهد. در نتیجه با تقسیم وظایف برای تیم‌های تخصصی مختلف، هر جزیی به صورت مستقل و موازی می‌تواند انجام یابد.

ب) ساخت صنعتی: حجم بالاتر تولید، میزان هزینه به ازای هر واحد تولید شده را کاهش می‌دهد. از طریق به کارگیری مدولاسیون استاندارد با امکان استفاده در محصولات صنعتی گوناگون، می‌توان حجم تولید یک واحد معین را بالا برد و هزینه را کاهش داد.

پ) مونتاژ: هدف از طراحی مدولار برای مونتاژ، مدول بندی یک محصول به بخش‌های قابل مونتاژ می‌باشد به نحوی که امکان ساخت و مونتاژ جداگانه هر یک وجود داشته باشد. این نوع مدولاسیون برای طرح‌های بزرگ و پیچیده با زمان مونتاژ بسیار طولانی اهمیت بسزایی می‌تواند داشته باشد.

ت) تعمیر و نگهداری: در زمان ایجاد نارسایی در محصول مدولار و قابل دمونتاژ شدن، هر یک از اجزا به راحتی قابل شناسایی، بررسی و در صورت لزوم تعمیر و یا جایگزینی خواهد بود.

ث) ارتقا و نوسازی: از طریق مدول بندی یک محصول صنعتی می‌توان در صورت لزوم جز یا اجزایی را با نمونه‌های مشابه و ارتقا یافته‌تری جایگزین کرد. در این حالت به دلیل استفاده مجدد از سایر اجزای طرح اولیه، هزینه چندان کمی نخواهد شد.

ج) تنوع محصول: از طریق ساخت اجزای مدول و استاندارد می‌توان به ترکیبات مختلف و متنوعی از محصول صنعتی دست یافت.

چ) بازیافت و استفاده مجدد: اجزای مختلف یک محصول صنعتی

سیستم‌های ساختمانی برای افزایش گوناگونی در سری اول محصول نهایی به کار رفته باشند، پیش‌آرایی است (Gibb and others, 2007).

۴-۲) **مدولاسیون:** سیستم‌های مدولار ساختمان‌سازی^{۲۵}، سیستم‌های بسته‌ای^{۲۶} هستند که اجزا به صورت پیش ساخته در کارخانه و به صورت مستقل از ساختمان خاصی تولید شده‌اند. در این حالت کل سیستم به نحوی به زیرمجموعه‌هایی تقسیم می‌شود که گسترش عمده‌ای قابل انطباق و مستقل باشد. مدول به عنصری نیز دلالت دارد که در یک سیستم به صورت پایه جانمایی شده و اساسی‌ترین بعد دسته بندی هندسی سیستم ساختمانی است. سازماندهی و مونتاژ اجزای مدولار نیز براساس قوانین هندسی و ساختمان سازی انجام می‌شود (Staib and others, 2008). در زمینه صنعتی سازی سیستم ساختمانی، رویکرد طراحی و به کارگیری اجزای ساختمانی مناسبتر از روش مدولاسیون بوده و باعث تنوع براساس نیاز استفاده کنندگان می‌شود و هزینه اقتصادی کمتری تحمیل می‌کند (Singh Pall, 1976). با این وجود، مدولاسیون در سازه‌ها به منظور کنترل تغییرات مختلف اجزای ساختمان در طول زمان و دستیابی به طول عمر مورد انتظار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Flager, 2003). تاثیر مثبت استفاده از مدولاسیون بر طول عمر سیستم صنعتی ساختمان سازی به عنوان یک محصول صنعتی را چنین می‌توان عنوان کرد:

الف) تقسیم وظایف به صورت توسعه موازی محصول: ساخت متوالی اجزای گوناگون یک محصول پیچیده ممکن است مدت زمان

سازه‌هایی با نیازهای متغیر نظیر پیشرفت‌های تکنولوژیک انطباق می‌یابند (Häuplik-Meusburger and others, 2009).

۴-۵) **شناخت استفاده‌کنندگان نهایی:** شناخت استفاده‌کنندگان نهایی و نیازهای آنها، انعطاف‌پذیری و نیازهای چندعملکردی در محیط‌های عمومی، عاملی کلیدی در توسعه صنعت ساختمان بوده و پایه‌ای برای توسعه سیستم‌های ساخت صنعتی ساختمان باز و سیستم‌های منعطف می‌تواند باشد (Thompson, 2007).

۴-۶) **اقتصاد:** گسترش ساختمان‌ها به طور گسترده‌ای برای متولیان امر مشکلات عدیده‌ای ایجاد کرده است. در این زمینه، گوناگونی زیاد نیازها عامل اصلی بوده و این نیاز در تمام مدت در حال تغییر است. این ترکیب گوناگونی و تغییر، مسایل زیادی را در برنامه‌ریزی ایجاد می‌کند و تغییر ساختمان‌ها زمانی که هیچ سیستم منعطفی به کار نرفته است، بسیار گرانتر خواهد بود. در نتیجه توجه به هزینه اولیه به کارگیری سیستم منعطف صحیح نبوده و هزینه نهایی کل دوره زندگی بنا باید مورد لحاظ قرار گیرد (Geraedts, 2000).

صنعتی‌سازی ساختمان روشی کارآمد در بهره‌گیری از مصالح و تکنولوژی‌های نوین می‌باشد و روش‌های تولید صنعتی به ویژه در حوزه مسکن از روش‌های متداول ساخت صرفه اقتصادی بیشتری را داراست (Yu Hong, 2006). هزینه اجرای ساختمان به صورت پیش‌ساخته اندکی بیشتر از ساخت با روش‌های متداول می‌باشد. هرچند که به واسطه کیفیت بهتر، کاهش زمان اجرا و عملیات محیطی بهبود یافته در سایت تا حدود زیادی متعادل می‌شود (Jaillon and Poon, 2007). ساختمان‌های ترکیب یافته از اجزای مختلف پاسخ مناسبی برای انعطاف‌پذیری بوده و هزینه‌های اولیه برای انعطاف‌پذیری موجه می‌باشد (Cuperus and Korpershoek, 2000).

با این وجود سازگاری همیشه به لحاظ عملی ممکن نیست. برخی سازگاری‌ها برحسب هزینه و تلاش منطقی قابل دستیابی است. دشواری سازگاری سیستم صنعتی ساختمان‌سازی برای شرایط جدید استفاده بستگی به تفاوت میان کاربرد جدید و کاربرد اصلی دارد. میزان این تفاوت نشان می‌دهد که چگونه محصول قابل تغییر از حالت کنونی به حالت مورد نیاز خواهد بود (Hashemian, 2005).

۵) نتیجه‌گیری:

به کارگیری متناوب و گسترده اجزای پیش‌ساخته و تولید شده با روش‌های صنعتی به منظور کاهش هزینه‌ها ضروری است. روش‌های پیش‌ساخته‌سازی در مقایسه با روش‌های ساخت سنتی مزایایی چون کنترل کیفیت ارتقا یافته، کاهش زمان ساخت، کاهش زباله و نخاله‌های ساخت، کاهش گرد و غبار در سایت و کاهش نیاز به نیروی انسانی در سایت داشته است. تولید صنعتی ساختمان به سوی استفاده از روش‌های طراحی غیراستاندارد به وسیله عناصر مدولار سوق پیدا کرده و مشخصه‌های پایداری بیشتری را به دست آورده است. پیشرفت تکنیک‌های صنعتی‌سازی می‌تواند مزایای اقتصادی و زیست محیطی عمده‌ای داشته باشد.

در نوشته حاضر ضمن تبیین مفهوم ساختار و اجزای سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی به امکان، روش‌ها و مزایای به‌روزآوری این سیستم‌ها پرداخته شد. به عبارت دیگر، روش‌های عملی و تکنیکی دستیابی به سیستم‌(های) صنعتی ساختمان‌سازی با قابلیت به‌روزآوری، سازگاری و استفاده مجدد مورد بررسی قرار گرفت

از مصالح مختلفی ساخته شده‌اند و در نتیجه نیازمند فرآیندهای بازیافت متفاوتی هستند. به کارگیری مدولاسیون در چنین محصولاتی امکان دمونتاز، بازیافت و یا استفاده مجدد از برخی اجزا را فراهم می‌آورد.

ح) **سفارشی‌سازی:** مدولاسیون روش مناسبی برای پاسخگویی به سلیقه‌های گوناگون افراد می‌باشد. از طریق آرایش مجدد و جایگزینی اجزای مدول یکسان، محصولات صنعتی گوناگونی را با ظاهر و کارکرد متنوع به صورت تولید انبوه و مطابق سلیقه افراد می‌توان ارائه داد (Hashemian, 2005).

۳-۴) **سیستم تاسیساتی:** علاوه بر مدولاسیون امکان اصلاحات و تطابق‌ها در ساختمان به وسیله عناصر تاسیساتی قابل دستیابی است و با استفاده از راه‌حلی منعطف، نه صرفاً بر پایه طراحی سازه‌ای ساختمان و اجزای آن بلکه به وسیله عناصر تاسیساتی، میان جنبه‌های دایمی و متغیر، و میان چرخه زندگی طولانی و چرخه زندگی کوتاه امکان تمایز خواهد بود (Geraedts, 2000).

۴-۴) **جزئیات سازه‌ای:** ضعف عمده سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی موجود در مفاصل و روش‌های اتصال دشوار آنها است که در برابر خطاها و اجراهای نامرتب بسیار حساس هستند و در صورتی که توجه ویژه‌ای به مکان عناصر صلب ساختمان از جمله تکیه‌گاه‌های سازه‌ای و سیستم‌های خدماتی معطوف شود انعطاف‌پذیری قابل ملاحظه‌ای با توجه به تغییرات محتمل به دست می‌آید (Warszawski, 1998).

سیستم‌های ساختمانی بتنی پیش‌ساخته باربر به دلیل بتن‌ریزی درجا در اتصالات صلب، انعطاف‌پذیری و قابلیت دمونتاز چندان نخواهند داشت. دهانه‌های آزاد وسیع باعث ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتری در آرایش فضا شده و در نتیجه ساختمان سازگاری با اهداف عملکردی جدید برای آینده ایجاد خواهد شد (Boedianto, 2000). سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی قادر به ساده‌سازی سیستم‌های تولید، کاهش هزینه و کیفیت بالا هستند. در نتیجه کیفیت و دقت بالا، امکان اجرای اتصالات خشک به دست می‌آید و با ایجاد امکان تغییر در سیستم بدون نیاز به تخریب کلی یا جزئی، انعطاف‌پذیری و قابل دمونتاز بودن حاصل می‌شود (Richard, 2006). با این وجود، اندازه اجزای ساختمانی در انطباق با خواسته‌های مصرف‌کننده نسبتی معکوس دارد (Verweij and Voorbij, 2007).

ساختمان‌سازی به صورت پیش‌ساخته سازگار با نیازهای استفاده‌کننده نهایی، راه‌حلی کارآمد برای دستیابی به ترکیبات فضایی مختلف و پاسخگو در برابر پیچیدگی رو به رشد محیط‌های با تراکم بالا است و روش‌های پیش‌ساختگی سازگار مورد استفاده در ساخت بناهای بلندمرتبه رویکردی بهینه برای نیل به این هدف می‌باشد (Kin Kai Lam, 2007).

ترکیب‌های ساختاری برخی اجزای ساختمانی سیستم قاب سبک فولادی می‌تواند فرم‌های ساختمانی منعطفی را تولید کند و مدول‌ها و سیستم‌های پانلی می‌توانند ترکیب شوند و دهانه‌های وسیع‌تر و استفاده‌های مکرر از اجزا را ممکن سازند و افزایش سرعت ساخت و امکان گسترش‌های آتی حاصل شود (Lawson and Ogden, 2007).

سازه‌های سبک وزن و تاشونده ظرفیت باربری بسیار زیادی داشته و با افزایش میزان کاربرد و استفاده به منظور سکونت، کمترین مقدار به کارگیری مصالح را دارا هستند. همچنین ایده سازه‌های سازگار از مهمترین راه‌حل‌های دستیابی به پایداری می‌تواند باشد. چنین

عملی فوق برای نیل به اهداف زیر موثر خواهند بود:
 الف) دستیابی به چیدمان‌ها، آرایش‌های فضایی گوناگون و تغییرات ساختاری و کالبدی برحسب نیازهای متغیر آتی.
 ب) کاهش میزان تخریب و تولید نخاله‌ها، مصرف مصالح ساختمانی و در نتیجه کاهش ورود آلاینده‌ها به محیط زیست.
 پ) کاهش نقل و انتقال اجزای ساختمانی، ماشین‌آلات و نیروی انسانی.

و روش‌های سازگارسازی سیستم‌های صنعتی ساختمان‌سازی در برابر تغییرات موثر ارائه گردید به نحوی که این سیستم(های) ساختمانی پاسخی درخور در برابر نیاز به ساختمان جدید داشته و با دارا بودن امکان استفاده مجدد از ساختار در برابر تغییرات موثر در طول دوره زندگی ساختمان، قابلیت ارائه پاسخی مناسب نسبت به طرح، بنا، شرایط و نیاز جدید را داشته باشد. به کارگیری روش‌های

پی‌نوشت:

1. Adaptability
2. Industrialized Building System

۳. تولید انبوه عبارت است از تولید صنعتی محصولات همانند به تعداد زیاد با استفاده از خطوط مونتاژ بزرگ (Hashemian, 2005).

4. Construction
5. Manufacturing
6. Prefabrication
7. Mechanization
8. Automation
9. Robotics
10. Reproduction
11. Open building
12. Habraken
13. Sustainability

۱۴. دوره زندگی پیشبینی شده (Design Life) عبارت است از دوره زمانی مورد انتظار که یک ساختمان یا سیستمی داخلی از ساختمان یا جز سازنده حداقل کمترین میزان قابل قبول کارایی را ارائه دهد و صرف هیچ هزینه اضافی برای عملیات نگهداری یا تعمیر یک جز سازنده یا ساختار بر اساس آنچه که در نحوه استفاده ثبت شده، نیاز نباشد (Douglas, 2006).

15. Industrial flexible and demountable building system
16. Deterioration
17. Obsolescence
18. Service life
19. Industrial Design
20. Re-configuration
21. Reduce
22. Reuse
23. Recycle
24. Pre-Configuration
25. Modular Construction systems
26. Closed Systems

فهرست منابع:

- Al Arayedh, Shaima Ghazi (2006), The Mass Housing Dilemma-An Industrial Design Process in Architecture, Degree of Master of Science in Architecture, Mississippi State University, USA.
- Blengini, Gian Andrea. (2009). Life Cycle of Buildings. Demolition and Recycling Potential: A Case Study in Turin, Italy. Building and Environment (319-330) Volume 44, Issue 2, Elsevier.
- Boedianto, Pauline (2000). Open Building with Precast Concrete Components. Continuous Customization in Housing, 16-18 October, Tokyo, Japan.
- Cuperus, Ype and Korpershoek, Maarten (2000). Hybrids. Continuous Customization in Housing, 16-18 October, Tokyo, Japan.
- Douglas, James (2006). Building Adaptation (2nd edn). Oxford, Elsevier Ltd.
- Durmisevic, Elma and Linthorst, Patrick (2000). Industrialization of housing (Building with Systems). Continuous Customization in Housing, 16-18 October, Tokyo, Japan.
- Erlandsson, Martin and Levin, Per (2005). Environmental Assessment of Rebuilding and Possible Performance Improvements Effect on a National Scale. Building and Environment (1459-1471) Volume 40, Issue 11, Elsevier.
- Eun-Kyung, H.E., Am, K-S, Ho, L-S, and Ok, L-S. (2007). A Study on the Amendment of Regulations for the Activation of Long Life

- Span Multifamily Housing. Construction for Development. 14–17 May. Cape Town. South Africa.
- Flager, Forest. Lee (2003). 'The Design of Building Structures for Improved Life-Cycle Performance'. Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering. Massachusetts Institute of Technology. United States.
- Geraedts, Rob P. (2000). Upgrading the Flexibility of Buildings. Continuous Customization in Housing. 16–18 October. Tokyo. Japan.
- Gibb, Alistair, Austin, Simon, Dainty, Andrew, Davison, Nigel and Pasquire, Christine (2007). Towards Adaptable Buildings: Pre-configuration and Re-configuration – Two Case Studies. ManuBuild 1st International Conference. 25–26 April. Rotterdam. Netherlands.
- Hashemian, Mehdi (2005). Design for Adaptability. Doctoral Dissertation in Philosophy. University of Saskatchewan. Canada.
- Häuplik-Meusburger, Sandra, Sommer, Bernhard and Aguzzi, Manuela. (2009). Inflatable Technologies: Adaptability from Dream to Reality. Acta Astronautica. (841–852) Volume 65. Issues 5–6. Elsevier.
- Hendriks, Nico A. and Vingerling, Hans (2000). Industrial, Flexible and Dismantable (IFD) Building Technology: A Key to Sustainable Construction. RILEM/CIB/ISO International Symposium. 22–24 May. Helsinki. Finland.
- Jailion, L. and Poon, C.S. (2007). Advantages and Limitations of Precast Concrete Construction in High-rise Buildings: Hong Kong Case Studies. Construction for Development. 14–17 May. Cape Town. South Africa.
- Kin Kai Lam, Michael (2007). A Case for High-density Living. A Study of Adaptable Prefabricated Construction for High-rise Residential Buildings in Hong Kong. Master Dissertation in Architecture. Carleton University. Canada.
- Kozlowski, Radoslaw (1990). The Adaptable Apartment: A Search for Design Methods and Criteria. Master Dissertation in Architecture. University of Toronto. Canada.
- Lawson, R. Mark and Ogden, Ray G. (2007). Hybrid Modular and Panel Construction in Light Steel Framing. The Transformation of the Industry– Open Building Manufacturing. 25–26 April. Rotterdam. Netherlands.
- Lee, Stephen R. (2000). Demonstrating Design for Flexibility in the Susquehanna Prototype House. Continuous Customization in Housing. 16–18 October. Tokyo. Japan.
- Meer, S.E. and van, der (2006). Minimizing C&D Waste Through Rehabilitation. International Conference on Adaptable Building Structures. 03–05 July. Eindhoven. Netherlands.
- Outhred, Geoff and Graham, P. (1995). How Green are Residential Prefabricated Building Systems?. London. RICS Research.
- Oxley, David, Richard (2006). Role of Prefabricated Modular Housing Systems in Promoting Sustainable Housing Practices. Master of Civil Engineering in Civil. RMIT University. Australia.
- Radt, Max (2007). Catalonia. a Particular Experience in Building Prefabricated Schools' The Transformation of the Industry– Open Building Manufacturing. 25–26 April. Rotterdam. Netherlands.
- Richard, Roger-Bruno (2005). Industrialised Building Systems: Reproduction Before Automation and Robotics. Automation in Construction (442–451) Volume 14. Issue 4. Elsevier.
- Richard, Roger, Bruno (2006). Industrialised, Flexible and Demountable Building Systems: Quality, Economy and Sustainability. The CRIOCM 2006 International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. 3–5 November. Beijing, China.
- Russel, P. and Moffatt, S. (2001). Assessing Buildings for Adaptability. Canada. IEA Annex 31.
- Saleh, Joseph. H. (2008). Analyses for Durability and System Design Lifetime. Cambridge. Cambridge University Press.
- Sarja, Asko (1998). Open and Industrialised Building. London. Taylor & Francis e-Library.
- Sarja, Asko (2006). Predictive and Optimised Life Cycle Management. London. Taylor & Francis e-Library.
- Sebestyen, Gyula (2003). New Architecture and Technology. Oxford. Architectural Press.
- Singh Pall, Avtar (1976). Concrete Prefabricated Buildings. Degree of Master of Engineering. Concordia University. Canada.
- Staib, Gerald, Dorrhofer, Andreas and Rosenthal, Markus (2008). Components and Systems. Munich. Birkhauser.
- Tam, Vivian W.Y., Tam, C.M., Zeng, S.X. and Ng, William C.Y. (2007). Towards Adoption of Prefabrication in Construction. Building and Environment (3642–3654) Volume 42. Issue 10. Elsevier.
- Thompson, Steve (2007). A People-focussed, Sustainable Approach to Design Using Open Building Manufacturing. The Transformation of the Industry– Open Building Manufacturing. 25–26 April. Rotterdam. Netherlands.
- Verweij, S. and Voorbij, A.I.M. (2007). Scenarios for Future Development of Flexible Housing. The Transformation of the Industry– Open Building Manufacturing. 25–26 April. Rotterdam. Netherlands.
- Warszawski, Abraham (1999). Industrialized and Automated Building Systems (2nd edn). London. E&FN Spon.
- Yu Hong, Pan (2006). Application of Industrialized Housing System in Major Cities in China–A Case Study of Chongqing. Doctoral Dissertation in Philosophy. The Hong Kong polytechnic university. China.