مزایای پیش‌ساخته‌سازی در مقایسه با ساخت و ساز متعارف*

علیرضا تقدیری**– سارا قنبرزاده قمی***

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱۱
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۳/۶/۱

چکیده

پیشرفت‌های گسترده در صنایع گوناگون و مزایای حاصل از آن‌ها به ندرت در صنعت ساختمان دیده می‌شود. در این مقاله، جایگزین‌سازی ساختمان‌سازی متداول و فعالیت‌های دستی در کارگاه با سیستم‌های ساختمانی پیش‌ساخته در اغلب مراحل و فرآیندهای ساختمان‌سازی به عنوان پاسخی به این کاستی معرفی می‌شود. امکان استفاده، مزایا، معایب، جنبه‌های اقتصادی، الگوهای مؤثر، موانع و توسعه پیش‌ساختگی در صنعت ساختمان‌سازی مورد بحث قرار گرفته‌است و به منظور مقایسه این موارد، پرسشنامه‌ای به دست‌اندرکاران صنعت ساختمان در شهر تهران و شهرهای جدید پردیس و پرند ارائه شده‌است. از پرسشنامه‌های تکمیل‌شده، داده‌ها استخراج و دسته‌بندی شده‌است. براساس یافته‌ها، مزایای مختلف پیش‌ساختگی دارای ارزش‌های متفاوتی هستند و نظارت بهتر بر ارتقاء کیفیت محصولات پیش‌ساخته، حائز بالاترین ارزش می‌باشد. برخی از معایب سیستم‌های ساختمانی پیش‌ساخته نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. طبق داده‌های به‌دست‌آمده، ساختمان‌های پیش‌ساخته در برابر تغییرات آتی منعطف نیستند. لذا، مورد صلبیت در برابر تغییر به‌عنوان مهم‌ترین نارسایی پیش‌ساختگی مورد شناسایی قرار گرفته‌است. بررسی امکان به‌کارگیری سیستم‌های پیش‌ساخته در پروژه‌های ساختمانی نیز نشان می‌دهد که سیستم‌های ساختمانی متداول برای ساخت فونداسیون و اجزای غیراستاندارد مناسب‌تر می‌باشد. این در حالی است که اجزای ساختمانی پیش‌ساخته نیز برای اجرای قاب‌های سازه‌ای فولادی، پوشش‌های خارجی، سقف‌های بتنی و سیستم‌های دیوار خشک ارجحیت دارند. بسیاری از اجزای ساختمانی پیش‌ساخته نیز قابلیت باربری داشته و ارتقاء اجزای ساختمانی پیش‌ساخته سبک‌وزن باید مدنظر قرارگیرد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که سیستم‌های ساختمانی متداول، نتایج رضایت‌بخشی در صنعت ساختمان نداشته‌اند. با این وجود، از طریق به‌کارگیری روش‌های پیش‌ساختگی می‌توان ضایعات حاصل از ساخت‌وساز را تا نصف کاهش داد. همچنین، استفاده از طرح‌های ساختمانی استاندارد و منظم در این زمینه مؤثر خواهدبود و با بهره‌گیری از فرآیندهای مکانیزه، استفاده از مصالح بازیافت شده یا قابل بازیافت و مونتاژ اجزای ساختمانی پیش‌ساخته به روش صنعتی می‌توان هزینه‌ها را تا حد چشمگیری کاهش داد.

واژگان کلیدی: سیستم ساختمانی پیش‌ساخته، ضایعات ساختمانی، پایداری زیست‌محیطی، تولید انبوه، عملیات تخریب.

Archive of SID

* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی علیرضا تقدیری (مجری طرح) و سارا قنبرزاده قمی (همکار طرح) با عنوان «الگوهای سکونت موقت پیش‌ساخته پس از سانحه برای جمعیت آسیب‌دیده و نیازمند مسکن» می‌باشد.

** استادیار معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران (نویسنده مسئول).
Email: ataghdiri@riau.ac.ir
*** کارشناسی‌ارشد معماری و مدرس مدعو، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران.

www.SID.ir

مقدمه

ضایعات حاصل از ساخت‌وساز از عوامل اصلی تأثیرگذار بر محیط‌زیست است. این ضایعات در حین ساختمان‌سازی، بازسازی[۱] و تخریب[۲] کارگاه ساختمانی یا سایت پروژه و سازه‌های مهندسی، ایجاد و تخلیه می‌شوند (Blengini, 2009; Cheung, 1993). با افزایش احداث پروژه‌های زیرساختی عظیم به همراه توسعه روزافزون ساختمان‌های تجاری و بناهای مسکونی، مقدار متنابهی از ضایعات ساختمانی به جای می‌ماند. رویکردهای متفاوتی نیز در مدیریت ضایعات وجود دارد. مشارکت اجتماعی در مدیریت و کنترل میزان تولید ضایعات ساختمانی و همچنین کاهش تأثیرات منفی آن بر محیط‌زیست ضروری است (Durmisevic & Linthorst, 2000; Petts, 1995). کاهش قابل ملاحظه‌ای در تولید ضایعات ساختمانی از طریق مدیریت آن به عنوان بخشی از کارکردهای مدیریت پروژه قابل دستیابی است (Coffey, 1999). درحالی‌که رویکرد تولید کمترین مقدار ضایعات از طریق توجه به الزامات اقتصادی قابل دستیابی است، هر عملیاتی در راستای کاهش آن، قابل حمایت می‌باشد. ارائه آموزش‌های لازم برای دست‌اندرکاران، رویکرد بسیار مؤثری در مدیریت ضایعات ساختمانی است. با این وجود، در مقایسه با هزینه و یا زمان اجرا، توجه کمتری نسبت به مدیریت ضایعات معطوف شده‌است. در اغلب موارد، هزینه چنین مدیریتی نسبت به مزایای احتمالی آن، بیشتر مدنظر می‌باشد (Lingard et al., 2000; Shen & Tam, 2002).

در سال‌های اخیر، توجه بیشتری به بازیافت[۳] و استفاده مجدد[۴] از ضایعات ساختمانی معطوف بوده است تا از این طریق میزان ضایعات کاهش یافته و محیط زیست مورد حمایت قرار گیرد (Chun et al., 1997; Erlandsson & Levin, 2005; Olia et al., 2010; Meer, 2006). با این حال، به دلیل مهیا نبودن زمینه‌ها و شرایط مورد نیاز (موقعیت مناسب کارگاه ساختمانی و تجهیزات دسته‌بندی، تجربه کافی در بازیافت، دست‌اندرکاران آموزش دیده، دانش به‌کارگیری مصالح دست دوم و قوانین زیست‌محیطی و ایمنی)، کارآیی آن بسیار محدود شده است. این نوشته، امکان کاربرد پیش‌ساختگی[۵] در ساختمان‌سازی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. موضوعات مورد بحث به قرار زیر است:

- بررسی مدیریت ضایعات در ساخت و ساز،
- بررسی مزایا، معایب و ارزیابی به‌کارگیری روش‌های پیش‌ساخته‌سازی،
- ارائه مدل‌های مؤثر در پیش‌ساختگی برای پروژه‌های مختلف،
- ارائه ارزیابی اقتصادی از به‌کارگیری پیش‌ساختگی.

۱. رویکرد مدیریت ضایعات ساختمانی

مدیریت ضایعات در ساخت‌وساز برای حفظ محیط‌زیست موردتوجه بسیار است. به نحوی که ضایعات حاصل از عملیات ساختمان‌سازی به شدت در آلودگی محیط‌زیست مؤثر است و ایمنی و سلامت را تهدید می‌کند. همچنین، فضای قابل اختصاص برای انباشت ضایعات در حال کاهش است. صنعت ساختمان مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از ضایعات را به صورت روزانه تولید می‌کند و این مقدار به حدود ۴۰ درصد ضایعات انباشته شده می‌رسد (Karimloo, 2010).

روش‌های متداول ساختمان‌سازی شامل فعالیت‌های گسترده درجا می‌شود. مقادیر زیادی از مصالح قابل استفاده به دلیل کمبود فضای انباشت، اتلاف می‌شوند و درنتیجه، روش‌های متداول در کنترل میزان اتلاف مصالح ساختمانی در کارگاه‌ها، کارآمد نیستند. به منظور توسعه پایدار و حفظ ظرفیت‌های منطقه‌ای، نیاز مبرمی برای به‌کارگیری روش‌ها و یا فناوری‌های جدید ساختمان‌سازی دیده می‌شود. به نحوی که به طور مؤثری میزان ضایعات، کاهش‌یابد. بدین‌ترتیب، پیش‌ساختگی به طور گسترده‌ای در کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲. گردآوری داده

بسیاری از اجزای ساختمانی پیش‌ساخته در ساختمان‌سازی کاربرد زیادی دارند و به طور مؤثری میزان تولید ضایعات و در نتیجه تأثیر منفی بر محیط‌زیست را کاهش می‌دهند. به منظور آشکارسازی مزایا، موانع و توسعه بیشتر پیش‌ساختگی در کارگاه‌های ساختمان‌سازی، پرسشنامه‌ای برای ۶۰ بخش شامل: دست‌اندرکاران، مشاوران، پیمانکاران اصلی و جزء مشغول فعالیت ساختمانی در شهر تهران و شهرهای جدید پردیس و پرند ارائه شد. از سی و هفت پرسشنامه تکمیل شده، نتایج زیر حاصل شد:

۳. نتایج و بررسی‌ها

۳-۱- مزایای به‌کارگیری پیش‌ساختگی

بسیاری از پژوهشگران به مزایای استفاده از پیش‌ساختگی اشاره کرده‌اند. هفت مزیت اصلی به‌کارگیری پیش‌ساختگی برای جمع‌آوری داده‌ها به قرار زیر مورد استفاده قرار گرفته‌است: طراحی قوی در مراحل اولیه طراحی به منظور به‌کارگیری

Archive of SID
www.SID.ir

بهتر پیش‌ساختگی، نظارت بهتر بر ارتقاء کیفیت محصولات پیش‌ساخته، کاهش هزینه‌های کلی ساخت، کاهش زمان اجرا، کارکرد زیست‌محیطی بهتر از طریق کاهش میزان ضایعات، یکپارچگی طراحی و اجرا و جنبه‌های زیبایی‌شناسانه ساختمان (Golabchi & Mazaherian, 2012; Sarja, 1998; Sarja, 2006; Staib et al., 2008; Vafamehr, 2010; Warszawski, 1999).

مزایای به‌کارگیری پیش‌ساختگی دارای ارزش‌های متفاوت برای ساخت‌وساز هستند و مهم‌ترین تأکید پرسشنامه، تعیین میزان اهمیت و ارزش‌گذاری آن‌هاست. برای تعیین ارزش هر مورد، پرسش‌شوندگان میزان اهمیت هریک را از طریق طیف ارزشی پنج گانه (کمترین، نسبتاً، متوسط، بسیار، بسیارزیاد) مشخص کرده‌اند که نتایج حاصل در جدول ۱، ارائه شده‌است.

جدول ۱: مزایای به‌کارگیری پیش‌ساختگی

مزایای پیش‌ساختگی	کمترین (درصد)	نسبتاً (درصد)	متوسط (درصد)	بسیار (درصد)	بسیار زیاد (درصد)	میانگین
طراحی قوی در مراحل اولیه	۳	۳	۱۶	۵۶	۲۲	۳/۹۱
نظارت بهتر	۰	۳	۶	۶۹	۲۲	۴/۰۹
کاهش هزینه ساخت	۰	۱۶	۲۲	۴۷	۱۶	۳/۶۳
کاهش زمان ساخت	۶	۱۳	۲۲	۴۴	۱۶	۳/۵۰
ارتقاء کارکرد زیست محیطی	۱۶	۵۹	۱۳	۱۳	۰	۲/۲۲
یکپارچگی ساختمان	۹	۱۶	۱۶	۵۰	۹	۳/۳۴
جنبه‌های زیبایی شناسانه	۶	۶	۳۱	۵۶	۰	۳/۳۸

به منظور تعیین میزان اهمیت هریک از موارد فوق، روش دیگری نیز به منظور محاسبه ارزش‌های میانگین مورد استفاده قرار گرفته است. براساس جدول ۱، «نظارت بهتر بر ارتقاء کیفیت محصولات پیش‌ساخته» با میانگین حدود ۴/۰۹ حائز بیشترین ارزش شد. پرسش‌شوندگان عنوان کرده‌اند که پیش‌ساختگی اجزای ساختمانی از طریق نظارت بهتر و دقیق‌تر و در نتیجه آزمایش و بازرسی قبل از نصب در کارگاه ساختمانی، باعث تولید محصولات با کیفیت‌تر خواهد شد (شکل ۱). «طراحی قوی در مراحل اولیه طراحی به منظور به‌کارگیری بهتر پیش‌ساختگی» و «کاهش هزینه‌های کلی ساخت‌وساز» به‌ترتیب دومین و سومین رتبه با امتیاز ۳/۹۱ و ۳/۶۳ شده‌اند. یکی از پرسش‌شوندگان اظهار کرده‌است که اگر طرح‌های استاندارد شده در مراحل اولیه و مشابه پروژه‌های پیشین مورد استفاده قرار گیرد، کاهش هزینه‌ها قابل دسترس‌تر خواهد بود. به‌کارگیری پیش‌ساختگی و تولید انبوه اجزای ساختمانی می‌تواند در کاهش هزینه ساخت و ساز مؤثر باشد.

براساس پرسشنامه‌های تکمیل شده، پیش‌ساختگی علاوه بر کاهش هزینه ناشی از به‌کارگیری طرح اولیه استاندارد، می‌تواند بهره‌وری و کارآیی ساختمان‌سازی را افزایش داده و در نتیجه زمان مورد نیاز را کاهش دهد. این مورد با میانگین ارزشی ۳/۵۰، حائز رتبه چهارم دسته‌بندی مزیت‌های پیش‌ساختگی می‌باشد.

شکل ۱: نظارت دقیق‌تر و بهتر بر کیفیت محصولات پیش‌ساخته در پروژه کمپ عسلویه

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۳- معایب پیش‌ساختگی

علاوه بر مزایای پیش‌ساختگی، معایب به‌کارگیری پیش‌ساختگی نیز مورد توجه قرار گرفته‌است. ده مورد از این معایب تحت عناوین زیر در تدوین پرسشنامه مورد استفاده قرار گرفته‌است: غیرمنعطف در برابر اعمال تغییرات در طرح، هزینه اولیه زیاد، کمبود پژوهش‌های مرتبط، زمان‌بر در مراحل اولیه طراحی، توجه اندک به مزایای به‌کارگیری روش‌های متداول ساخت در کارگاه، فضای محدود کارگاه ساختمانی برای دپوی اجزای پیش‌ساخته، مشکلات اجرای درزبندی در زمان اتصال اجزای پیش‌ساخته، تجربه اندک پیمانکاران، یکنواختی زیبایی‌شناسانه در ساختمان، و تقاضای اندک برای اجزای ساختمانی پیش‌ساخته (Golabchi & Mazaherian, 2012; Sarja, 1998; Sarja, 2006; Staib et al., 2008; Vafamehr, 2010; Warszawski, 1999).

مشابه روش آنالیز مزایای پیش‌ساختگی، طیف ارزشی پنج‌گانه‌ای در نظر گرفته‌شد که جدول ۲ پاسخ‌های ارائه شده را نشان می دهد. مورد «غیرمنعطف در برابر اعمال تغییرات در طرح» با میانگین ارزشی ۳/۶۲ به عنوان مهم‌ترین نقص پیش‌ساختگی شناسایی شده‌است، به نحوی که مشاوران و کارفرماها رضایت چندانی برای استفاده از پیش‌ساختگی در پروژه‌ها ندارند (شکل ۲).

جدول ۲: معایب به‌کارگیری پیش‌ساختگی

معایب پیش‌ساختگی	کمترین (درصد)	نسبتاً (درصد)	متوسط (درصد)	بسیار (درصد)	بسیار زیاد (درصد)	میانگین
غیرمنعطف در برابر تغییرات	۰	۱۰	۲۸	۵۲	۱۰	۳/۶۲
هزینه اولیه زیاد	۲	۱۹	۱۹	۵۸	۲	۳/۳۹
کمبود پژوهش‌های مرتبط	۰	۱۲	۴۰	۴۰	۸	۳/۴۴
زمانبر در مراحل اولیه طراحی	۲	۲۵	۲۰	۴۸	۵	۳/۲۹
توجه اندک به روش‌های متداول	۸	۱۰	۴۰	۳۹	۳	۳/۱۹
فضای محدود کارگاه	۰	۲۸	۳۴	۳۵	۳	۳/۱۳
مشکلات اجرای درزبندی	۳	۳۷	۲۸	۳۲	۰	۲/۸۹
تجربه اندک پیمانکاران	۳	۴۶	۲۳	۲۳	۵	۲/۸۱
یکنواختی زیبایی شناسانه	۳	۳۸	۲۸	۲۸	۳	۲/۹۰
تقاضای اندک	۰	۵۲	۳۵	۸	۵	۲/۶۶

«هزینه اولیه زیاد» با میانگین ۳/۳۹ در رتبه چهارم قرار گرفته است. اگرچه هزینه اولیه برای پیمانکار بالا خواهد بود، با ارجاع بخشی از پروژه به صنایع سنگین، هزینه‌ها کاهش خواهد یافت. هرچند «مشکلات اجرای درزبندی در زمان اتصال اجزای پیش ساخته» با میانگین ۲/۸۹ به عنوان معضل خاصی در استفاده از پیش‌ساختگی شناسایی نشده‌است، به نظر نمی‌رسد در ساخت و سازهای کنونی پاسخ مناسبی به آن داده شده‌باشد.

شکل ۲: صلبیت دیوارهای بتن مسلح و باربر سیستم قالب تونلی در برابر تغییرات، شهر جدید پردیس

Archive of SID
www.SID.ir

۳-۳- پیشرفت‌های آتی در زمینه کاربردهای پیش‌ساختگی

برخی توصیه‌ها نیز برای کاربرد مؤثرتر پیش‌ساختگی ارائه شده‌است: ایجاد امکان طراحی زیست‌محیطی در سطوح کف، مناسب بودن پیش‌ساختگی برای پروژه‌های آتی از طریق ارتقاء دانش و آگاهی نسبت به محیط‌زیست، توجه به روش‌های ساخت‌وساز در مراحل اولیه طراحی به منظور استانداردسازی، توجه به محیط‌زیست در درجه اول اهمیت در استفاده از پیش‌ساختگی و ارتقاء تکنیک‌های ساختمان‌سازی برای استفاده از پیش‌ساختگی.
نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شده‌اند. «توجه به روش‌های ساخت‌وساز در مراحل اولیه طراحی به منظور استانداردسازی» با میانگین ۳/۷۲ به عنوان مؤثرترین عامل در پیشرفت‌های آتی استفاده از پیش‌ساختگی انتخاب شده‌است. روش‌های مختلف ساختمان‌سازی به طرح معماری بستگی داشته و توجه اولیه به استفاده از طرح استاندارد باید در زمینه مدیریت زیست‌محیطی و کاهش ضایعات در فرآیند ساخت وساز، مؤثر باشد (شکل ۳).
براساس جدول ۳ به روشنی می‌توان دید که «مناسب‌بودن پیش‌ساختگی برای پروژه‌های آتی از طریق ارتقاء دانش و آگاهی نسبت به محیط‌زیست» و «ارتقاء تکنیک‌های ساختمان‌سازی برای استفاده از پیش‌ساختگی» برای توسعه آتی کاربردهای پیش‌ساختگی از اهمیت زیادی برخوردار هستند و با میانگین ارزشی ۳/۳۴ در جایگاه دوم قرار گرفته‌اند. پیش‌ساختگی برای پروژه‌های آتی قابل استفاده بوده ولی میزان به‌کارگیری اجزای ساختمانی پیش‌ساخته به ماهیت پروژه‌ها بستگی دارد. به منظور مدیریت زیست‌محیطی و کاهش ضایعات، ارائه آموزش‌های لازم برای دست‌اندرکاران ساخت و ساز الزامی به نظر می‌رسد.

جدول ۳: پیشرفت‌های آتی به‌کارگیری پیش‌ساختگی

پیشرفت‌های آتی	کمترین (درصد)	نسبتاً (درصد)	متوسط (درصد)	بسیار (درصد)	بسیار زیاد (درصد)	میانگین
طراحی زیست محیطی	۹	۱۳	۳۴	۳۴	۹	۳/۲۲
تناسب برای پروژه‌های آتی	۰	۱۹	۲۸	۵۳	۰	۳/۳۴
روش‌های ساخت‌وساز	۰	۶	۲۵	۵۹	۹	۳/۷۲
توجه به محیط‌زیست	۳	۴۷	۲۸	۱۶	۶	۲/۷۵
ارتقاء تکنیک‌ها	۶	۱۳	۲۲	۵۹	۰	۳/۳۴

شکل ۳: به‌کارگیری اجزای مدولار و استاندارد در مراحل اولیه طراحی و ساخت و ساز با سیستم LSF

۴. پایداری زیست‌محیطی سیستم‌های ساختمانی پیش‌ساخته

در ادامه ارزیابی‌های فوق برای کاربرد بهتر پیش‌ساختگی، پژوهشی برای بررسی امکان استفاده از پیش‌ساختگی در انواع پروژه‌های ساختمانی ترتیب داده‌شد. به منظور جمع‌آوری تجارب و دیدگاه‌های مختلف در زمینه به‌کارگیری پیش‌ساختگی در ساخت و ساز، سه نوع اصلی از پروژه‌های ساختمانی مورد توجه قرارگرفت: پروژه جامع، انبوه‌سازی مسکن، پروژه‌های مسکونی شخصی و پروژه‌های تجاری. اطلاعات به‌دست‌آمده مورد تحلیل قرارگرفت. به منظور شناخت امکان تغییر مدل براساس ماهیت پروژه‌ها، مقایسه‌ای انجام یافت و در ابتدا، مدل بدون توجه به ماهیت آن ارائه شده و در ادامه، عقاید و نظرات در مورد ماهیت پروژه‌ها گردآوری شد.
پنج جزء ساختمانی شامل زیرساخت، سازه، فعالیت‌های ساختمانی خارج‌بنا، فعالیت‌های ساختمانی داخل‌بنا و تأسیسات

Archive of SID
www.SID.ir

ساختمان برای انواع مختلف روش‌های ساختمان‌سازی از جمله متداول، نیمه‌پیش‌ساخته، پیش‌ساخته و ساختمان‌سازی انبوه خارج از کارگاه ساختمانی، مورد پرسش قرارگرفت. به منظور درک بهتر از کاربردهای پیش‌ساختگی در انواع مختلف پروژه‌های ساختمانی، مدل مورد مطالعه به صورت ترکیبی از عناصر اصلی ساختمانی در نظر گرفته شد و عناصر اصلی اشاره شده، مورد بررسی قرارگرفتند.

جدول ۴ خلاصه‌ای از اظهارات مخاطبان را نشان می‌دهد. ضایعات حاصل از ساخت‌وساز و تخریب بناها حجم عظیمی از کل زباله‌های تولید شده را به خود اختصاص می‌دهد. پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن و ساخت پروژه‌های مسکن و تجاری، مهم‌ترین دغدغه‌های صنعت ساختمان بوده و پروژه‌های صنعتی، آموزشی و سایر پروژه‌ها درصد کمتری از تولید ضایعات را به خود اختصاص می‌دهند. در نتیجه، پروژه‌های با درصد بالای تولید ضایعات باید مورد توجه بیشتری قرارگرفته و روش‌های اجرایی بهتری برای آن ها در نظر گرفته شود.

با بررسی روش‌های ساخت پیشنهاد شده برای پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن و ساخت پروژه‌های مسکونی و تجاری خصوصی، روش‌های متداول ساخت تقریباً ۱۰۰درصد برای اجرای فونداسیون و زیرزمین توصیه شده‌اند. به نحوی که می‌توانند تأثیری ناخواسته در محیط‌زیست سایت پروژه داشته باشند. کاربرد روش‌های پیش‌ساخته‌سازی برای توسعه پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن با استفاده از قاب سازه‌ای با میانگین‌های ۳۳/۳ درصد، ۵۰ درصد، ۳۳/۳ درصد، ۵۰ درصد و ۶۶/۶ درصد به‌ترتیب برای ستون، تیر، دیوار باربر، شفت آسانسور و پله‌ها و سقف مورد تأکید قرار گرفته است. برای پوشش خارجی ۱۰۰ درصد و دیوارهای خارجی و سقف نیز ۳۳/۳ درصد مدنظر بوده‌است. همچنین، به‌کارگیری روش‌های متداول ساخت با طرح‌های غیراستاندارد برای پروژه‌های ساخت مسکن و تجاری توصیه شده‌است.

اگرچه امروزه به‌کارگیری پیش‌ساختگی تاحدودی توسط صنعت ساختمان حمایت می‌شود، تمایل بیشتری برای استفاده از اجزای مدولار پیش‌ساخته برای بخش‌های تأسیساتی دیده می‌شود، به نحوی که ویژگی‌های اصلی پیش‌ساختگی (استانداردسازی[۶]، تکرار، به‌کارگیری از مراحل اولیه طراحی و تولید انبوه[۷]) را دربردارد (Fayyaz, 2010; Golabchi & Mazaherian, 2012; Warszawski).

براساس اظهارات مخاطبان، صرفاً برخی از عناصر اصلی پیش‌ساخته می‌توانند در فعالیت‌های ساختمانی مؤثر واقع شوند که عبارتند از: قاب سازه‌ای فولادی، پوشش خارجی پیش‌ساخته، سقف پیش‌ساخته بتنی و سیستم دیوار خشک. از آنجا که بسیاری از محصولات پیش‌ساخته، باربر هستند، توسعه اجزای پیش‌ساخته سبک‌وزن باید مدنظر قرارگرفته و هزینه مصالح و جابه‌جایی کاهش یابد (شکل ۴).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴: تأثیر پیش‌ساختگی بر پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن، مسکونی شخصی و تجاری

عناصر ساختمانی	عناصر جزء	روش‌های متداول			نیمه پیش‌ساخته						پیش‌ساخته						انبوه‌سازی		
					سازه‌ای			غیرسازه‌ای			سازه‌ای			ناتمام			ساختمان مدولار		
		انبوه‌سازی مسکن	مسکونی شخصی	تجاری	انبوه‌سازی مسکن	مسکونی شخصی	تجاری	انبوه‌سازی مسکن	مسکونی شخصی	تجاری	انبوه‌سازی مسکن	مسکونی شخصی	تجاری	انبوه‌سازی مسکن	مسکونی شخصی	تجاری	انبوه‌سازی مسکن	مسکونی شخصی	تجاری
زیرساخت	فونداسیون	۱۰۰	۱۰۰	۹۰/۹	۰	۰	۹/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۰/۹
	زیرزمین	۱۰۰	۱۰۰	۷۶/۹	۰	۰	۲۳/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۷۶/۹
قاب سازه‌ای	ستون	۳۳/۳	۷۱/۴	۰	۳۳/۳	۱۴/۳	۷۵	۰	۰	۰	۰	۱۴/۳	۲۵	۳۳/۳	۰	۰	۳۳/۳	۷۱/۴	۰
	تیر	۵۰	۵۷/۱	۰	۰	۲۸/۶	۷۵	۰	۰	۰	۲۵	۱۴/۳	۲۵	۲۵	۰	۰	۵۰	۵۷/۱	۰
	دیوار باربر	۳۳/۳	۵۷/۱	۲۵	۳۳/۳	۱۴/۳	۵۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۶	۲۵	۳۳/۳	۰	۰	۳۳/۳	۵۷/۱	۲۵
	شفت آسانسور	۵۰	۷۱/۴	۲۵	۰	۱۴/۳	۵۰	۰	۰	۰	۰	۱۴/۳	۲۵	۵۰	۰	۰	۵۰	۷۱/۴	۲۵
	پله	۰	۱۲/۵	۰	۰	۱۲/۵	۶۰	۰	۰	۰	۰	۶۲/۵	۲۰	۵۰	۱۲/۵	۲۰	۰	۱۲/۵	۰
	سقف	۰	۱۲/۵	۰	۰	۱۲/۵	۶۰	۰	۰	۰	۳۳/۳	۶۲/۵	۲۰	۳۳/۳	۱۲/۵	۲۰	۰	۱۲/۵	۰
عملیات خارج بنا	دیوار خارجی	۰	۱۱/۱	۲۵	۰	۰	۲۵	۰	۱۱/۱	۵۰	۵۰	۳۳/۳	۰	۵۰	۴۴/۴	۰	۰	۱۱/۱	۲۵
	پشت بام	۶۶/۷	۵۷/۱	۴۰	۰	۰	۲۰	۰	۱۴/۳	۰	۰	۲۸/۶	۲۰	۳۳/۳	۰	۲۰	۶۶/۷	۵۷/۱	۴۰
عملیات داخل بنا	دیوار تیغه	۰	۰	۵۰	۰	۱۱/۱	۰	۰	۲۲/۲	۲۵	۵۰	۲۲/۲	۰	۵۰	۴۴/۴	۰	۰	۰	۵۰
	نازک کاری	۲۵	۲۵	۵۰	۰	۱۲/۵	۰	۰	۱۲/۵	۰	۲۵	۱۲/۵	۰	۵۰	۳۷/۵	۲۵	۲۵	۲۵	۵۰
	کاشیکاری	۲۵	۴۰	۵۰	۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۲۵	۲۰	۰	۲۵	۳۰	۲۵	۲۵	۴۰	۵۰
	حمام	۲۵	۲۲/۲	۵۰	۰	۰	۰	۰	۲۲/۲	۰	۲۵	۲۲/۲	۰	۲۵	۳۳/۳	۰	۲۵	۲۲/۲	۵۰
	آشپزخانه	۲۵	۳۳/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲/۲	۵۰	۲۵	۱۱/۱	۰	۲۵	۳۳/۳	۰	۲۵	۳۳/۳	۰
تأسیسات ساختمان	تأسیسات	۶۶/۷	۷۱/۴	۲۵	۰	۰	۰	۰	۲۸/۶	۲۵	۰	۰	۲۵	۰	۰	۰	۶۶/۷	۷۱/۴	۲۵
	بالابر	۶۶/۷	۷۱/۴	۱۶/۷	۰	۰	۱۶/۷	۰	۲۸/۶	۰	۰	۰	۳۳/۳	۳۳/۳	۰	۳۳/۳	۶۶/۷	۷۱/۴	۱۶/۷
	پله‌برقی	۶۶/۷	۷۱/۴	۱۶/۷	۰	۰	۱۶/۷	۰	۲۸/۶	۰	۰	۰	۳۳/۳	۰	۰	۳۳/۳	۶۶/۷	۷۱/۴	۱۶/۷

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۴: تولید و نصب دیوارهای بتن مسلح و باربر در سیستم Tilt-up ، شهر جدید پرند

۵. میزان تولید ضایعات در روش‌های متداول ساختمان‌سازی و پیش‌ساختگی

پیش‌ساختگی به عنوان فرآیندی مؤثر و کارآمد برای کاهش ضایعات مطرح است. تکنیک‌های پیش‌ساختگی برای تمامی پروژه‌های ساختمان‌سازی قابل تعمیم می‌باشد. با این وجود، پژوهش خاصی در زمینه تأثیر استفاده از روش پیش‌ساختگی در انواع مختلف پروژه‌های ساختمانی انجام نیافته‌است. به منظور تبیین کاهش میزان تولید ضایعات از طریق استفاده از پیش‌ساختگی، بیست پروژه اجرایی شامل روش‌های متداول و پیش‌ساختگی مورد بررسی قرارگرفت. میزان تولید ضایعات در آن‌ها در جدول ۵ ارائه شد.

در این پژوهش، ۱۴ پروژه متداول اجرایی شامل ۱۲ پروژه ساخت مسکن شخصی و ۲ مورد پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن انتخاب شدند. جدول ۵ نشان می‌دهد که روش‌های متداول ساخت، عمدتاً برای اجرای بناهای مسکونی شخصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. درحالی‌که پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن به ندرت از روش‌های سنتی درجا بهره می‌برد. از طرف دیگر، شانزده مورد از سی پروژه ساختمانی از روش‌های نیمه‌پیش‌ساخته در کارگاه‌های ساختمانی استفاده می‌کند (جدول ۵). شش پروژه ساختمانی از میان نمونه‌های ساخت مسکن شخصی و ده مورد از میان نمونه‌های انبوه‌سازی مسکن بررسی شده‌است. بسیاری از پروژه‌های در حال اجرا توسط روش‌های نیمه‌پیش‌ساخته، پروژه‌های مسکونی هستند که ۷۵ درصد از پروژه‌های نیمه‌پیش‌ساخته بررسی‌شده را شامل می‌شوند. سایر پروژه‌های نیمه‌پیش‌ساخته، پروژه‌های تجاری و اداری بوده و پروژه‌های صنعتی، هتل و مدرسه به ندرت با استفاده از اجزای ساختمانی پیش‌ساخته احداث شده‌اند.

اگرچه میزان ضایعات حاصل از انواع مختلف و ماهیت‌های متفاوت پروژه‌ها متغیر خواهد بود، انتخاب روش اجرای متداول و یا پیش‌ساخته تأثیر مستقیمی بر میزان تولید ضایعات خواهدداشت. براساس پژوهش انجام یافته برای ارزیابی میزان تولید ضایعات در روش‌های مختلف ساختمان‌سازی، میانگین میزان تولید ضایعات برای فعالیت‌های مختلف اجرایی از جمله بتن‌ریزی، آرماتوربندی، آجرچینی، اجرای دیوار خشک، نازک‌کاری و کاشی‌کاری برای دو گروه از پروژه‌های ساختمانی در حال اجرا با روش‌های متداول (A) و پیش‌ساختگی (B) مورد سنجش قرارگرفت (جدول ۵). پس از محاسبه مقادیر (A) و (B)، درصد کاهش ضایعات (C)، از طریق تعیین تفاوت دو مقدار میانگین، میزان تولید ضایعات در روش‌های متداول و پیش‌ساختگی و نیز نسبت کاهش میزان ضایعات به میانگین میزان تولید ضایعات در روش‌های متداول ساختمان‌سازی، به دست آمد.

براساس میانگین میزان تولید ضایعات در فعالیت‌های عمده ساختمان‌سازی در کارگاه‌ساختمانی (جدول ۵) می‌توان گفت که مؤثرترین بخش در کاهش میزان ضایعات، نازک‌کاری است که از طریق به‌کارگیری پیش‌ساختگی، ۱۰۰درصد کاهش در میزان تولید ضایعات حاصل خواهد آمد. در این حالت، سطوح بتنی اجزای پیش‌ساخته تاحدود زیادی صاف بوده و برای نصب کاشی یا سایر پرداخت‌های سطحی، مناسب خواهد بود و درنتیجه، نیازی به نازک‌کاری نیست. طبق اظهارات پیمانکاران، کاشی به صورت مستقیم قابل نصب می‌باشد و در صورت نیاز به رنگ، ضخامت بسیار اندکی از اندود، کافی خواهدبود.

براساس جدول ۵، میانگین میزان تولید ضایعات در روش‌های متداول ساختمان‌سازی بسیار بیشتر از روش پیش‌ساختگی است. به روشنی می‌توان دید که میزان تولید ضایعات در فعالیت‌های مختلف پیش‌ساخته‌سازی اجزای ساختمانی متغیر است و استفاده از طرح‌های استاندارد برای ساختمان‌ها می‌تواند در کاهش میزان تولید ضایعات، مؤثر واقع شود (شکل ۵).

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۵: تولید ضایعات اندک در سیستم ترونکو، ساختمان‌سازی در شهر کاشان

پروژه‌های ساخت مسکن شخصی، بیشترین میزان تولید ضایعات را به‌ویژه در مرحله آرماتوربندی دارا هستند. در این پروژه‌ها به دلیل استفاده از سازه‌های غیراستاندارد و در نتیجه به‌کارگیری قاب‌ها، آرماتورگذاری و آجر یا بلوک‌چینی با اندازه‌های متفاوت، بیشترین میزان اتلاف مصالح رخ می‌دهد.

جدول ۵: میزان تولید ضایعات ساختمانی در روش‌های درجا و پیش‌ساختگی

فعالیت اجرایی	میانگین میزان تولید ضایعات (درصد)		درصد میزان کاهش ضایعات [C=(A-B)/A]
	روش‌های متداول (A)	پیش‌ساختگی (B)	
بتن‌ریزی	۲۰	۲	۹۰
آرماتورگذاری	۲۵	۲	۹۲
آجرچینی	۱۵	–	–
اجرای دیوار خشک	–	۵	–
نازک‌کاری	۲۳	۰	۱۰۰
کاشیکاری	۲۷	۷	۷۴

مقادیر متفاوت اتلاف مصالح در بتن‌ریزی، آرماتورگذاری، نصب دیوارخشک، نازک‌کاری، کاشی‌کاری و کارهای بنایی برای پروژه‌های ساخت مسکن خصوصی و یا برای مردم در جدول ۶، ارائه شده است. براساس این جدول، اتلاف مصالح در کارهای بنایی، نازک‌کاری برای ساخت مسکن شخصی بسیار بیشتر از پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن است. به دلیل استانداردسازی طرح در ساخت مسکن برای مردم، به‌کارگیری پیش‌ساختگی رایج‌تر است. در نتیجه، پیش‌ساختگی می‌تواند تولید ضایعات در ساختمان‌سازی را کاهش دهد و میزان کاهش ضایعات نیز به نوع پیش‌ساختگی بستگی دارد. میزان عادی اتلاف مصالح به تأثیر هزینه رویکرد به‌کار رفته برای کنترل آن بستگی دارد. در نتیجه، هزینه کاهش میزان اتلاف به طور مستقیم با میزان ارزش مصالح ذخیره شده در ارتباط است. این ارتباط به صورت خطی نیست و تأثیر هزینه بیشتر صرفاً می‌تواند در مراحل اولیه پیشرفت پروژه مطرح باشد و مقدار بهینه ذخیره مصالح باید قبل از شروع پروژه مشخص شود. مقدار بهینه باید دارای کمترین هزینه مالی برای کاهش میزان تولید ضایعات بوده و تأثیر زیادی بر مقدار مصالح ذخیره شده داشته‌باشد. کاهش میزان تولید ضایعات در مواردی می‌تواند مؤثرتر واقع شود که میزان تولید ضایعات بالا بوده و نیز امکان بیشتری برای کاهش آن فراهم باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۶: درصد اتلاف مصالح برای فعالیت‌های اجرایی مختلف در پروژه‌های انبوه‌سازی و شخصی‌سازی مسکن

نوع فعالیت اجرایی	مصالح	درصد اتلاف مصالح در پروژه خصوصی‌سازی مسکن	درصد اتلاف مصالح در انبوه‌سازی مسکن
بتن‌ریزی	بتن	۴-۵	۳-۵
آرماتورگذاری	آرماتور	۱-۸	۳-۵
اجرای دیوار خشک	دیوار خشک	۶-۱۰	۵
نازک‌کاری	اندود	۴-۲۰	۲
کاشیکاری	کاشی	۴-۱۰	۶-۸
دیوارچینی	آجر و بلوک	۴-۸	۶

۶. نتیجه‌گیری

پیش‌ساختگی راه‌حل‌های مناسبی را برای معضل تولید وسیع ضایعات در کارگاه‌های ساختمانی ارائه می‌کند. به‌کارگیری پیش ساختگی دارای قابلیت‌های زیادی از جمله نظارت بهتر بر ارتقاء کیفیت محصولات پیش‌ساخته در صنعت ساختمان بوده است. ولی با این وجود، موانع زیادی نیز برای گسترش و به‌کارگیری آن وجود دارد. با این وجود، دستیابی به استانداردهای زیست‌محیطی و کیفی و کاهش هزینه‌های زمان ساخت امکان‌پذیر می‌باشد. برای استفاده بهتر از پیش‌ساختگی، باید از مراحل اولیه طراحی به روش‌های اجرا توجه داشت. توسعه روش‌های مؤثر پیش‌ساختگی برای پروژه‌های بزرگ، انبوه‌سازی مسکن، ساخت پروژه‌های مسکونی و تجاری خصوصی در کاهش میزان تولید ضایعات تأثیرگذار بوده و به‌کارگیری روش‌های پیش‌ساختگی و ساختمان‌سازی مدولار باید با آگاهی نسبت به جنبه‌های زیست‌محیطی گسترش‌یابد.

پیش‌ساختگی تنها زمانی موفق خواهد بود که پیمانکاران و دست‌اندرکاران از کاهش هزینه‌ها آگاهی یابند. در حالت‌های زیر، پیش‌ساختگی منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها خواهد شد: به‌کارگیری فرآیند ساخت‌وساز مکانیزه و ماشین‌آلات سنگین، استفاده از طرح‌های ساختمانی استاندارد، تبدیل ساخت‌وساز تولیدکننده در کارگاه‌ساختمانی به صنعت مونتاژ اجزای ساختمانی، به‌کارگیری مصالح بازیافت شده و قابل بازیافت در اجزای ساختمانی پیش‌ساخته. با این حال، سه عامل محرک برای استفاده از پیش‌ساختگی الزامی است:

- **جنبه‌های زیست‌محیطی:** زمانی که قوانین و آیین‌نامه‌های زیست‌محیطی سخت‌گیرانه‌ای برقرار باشد، پیش‌ساختگی به عنوان یکی از روش‌های کاهش میزان تولید ضایعات مطرح خواهد بود.
- **هزینه‌های ساخت و ساز:** ارائه روش‌های ساختمان‌سازی مؤثرتر و جایگزین به صورت چشمگیری هزینه‌های ساخت را کاهش داده و نیاز به سرمایه‌های اولیه سنگین را کم می‌کند.
- **تسهیلات تشویقی:** تسهیلات تشویقی برای زیربناهای زیاد ساخته‌شده با عناصر پیش‌ساخته باعث رواج استفاده از پیش‌ساختگی خواهد شد.

Archive of SID
www.SID.ir

پی‌نوشت

1. Renovation
2. Demolition
3. Recycle
4. Reuse
5. Prefabrication
6. Standardization
7. Mass Production

References

- Blengini, G. A. (2009). Life Cycle of Buildings, Demolition and Recycling Potential: A Case Study in Turin, Italy. *Building and Environment*, 44(2), 319-330.
- Chun L.P., Domenic E.S., Charles J.K. (1997). Strategies for Successful Construction and Demolition Waste Recycling Operations. *Construction Management and Economics*, 15(1), 49-58.
- Coffey, M. (1999). Cost-Effective Systems for Solid Waste Management. *Waterlines*, 17(2), 23-40.
- Durmisevic, E., Linthorst, P. (2000). Industrialization of Housing. *Continuous Customization in Housing*, 16-18 October, Tokyo, Japan.
- Erlandsson, M., Levin, P. (2005). Environmental Assessment of Rebuilding and Possible Performance Improvements Effect on a National Scale. *Building and Environment*, 40(11), 1459-1471.
- Fayyaz, R. (2010). New Building Systems and Green Buildings. *2nd Modern Technologies in Construction Industry,* 22-23 Nov, B.H.R.C., Tehran, Iran.
- Golabchi, M., Mazaherian, H. (2012). *New Architectural Technologies*. Tehran: University of Tehran.
- Karimloo, M. J. (2010). An Approach to Sustainable Development and Environmental Problems in Building Industry. *Structures Industrialization*, 29-31 Sep, P.W.U.T., Tehran, Iran.
- Meer, S.E. van der. (2006). *Minimizing C&D Waste through Rehabilitation*. Adaptable Building Structures, 03-05 July, Eindhoven, Netherlands.
- Olia, J., Taghdiri, A., Ghanbarzade Ghomi, S. (2010). Structural Adaptability of Industrialized Building Systems, *Iranian Scientific Association of Architecture and Urbanism*, 1(1), 5-14.
- Petts, J. (1995). Waste Management Strategy Development: A Case Study of Community Involvement and Consensus-Building in Hampshire. *Environmental Planning and Management*, 38(4), 519-536.
- Sarja, A. (1998). *Open and Industrialised Building*. London: Taylor & Francis.
- Sarja, A. (2006). *Predictive and Optimised Life Cycle Management*. London: Taylor & Francis.
- Staib, G., Dorrhofer, A., Rosenthal, M. (2008) *Components and Systems*. Munich: Birkhauser.
- Vafamehr, M. (2010). New Technologies and Industrialised House Construction in Iran. *Structures Industrialisation,* 29-31 Sep, P.W.U.T., Tehran, Iran.
- Vafamehr, M. (2012). *New Materials and Construction Methods*. Tehran: Chapar.
- Warszawski, A. (1999). *Industrialized and Automated Building Systems*. London: E&FN Spon.

Archive of SID
www.SID.ir