

طراحی زیست محیطی سازه های پیش ساخته اضطراری با رویکرد کاهش مصرف انرژی و آلودگی

طاها صباغیان^{۱*}، مازیار آصفی^۲، سید بهشید حسینی^۳

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۲ استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۳ استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
masefi@tabriziau.ac.ir
behshid_hosseini@art.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۴/۳۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۱/۱۸

چکیده

پس از بلایای طبیعی یکی از مشکلاتی که همواره سازمان های مدیریت بحران با آن مواجه هستند، فراهم نمودن مکان های اسکان موقت است. برای این امر معمولاً از سازه های پیش ساخته استفاده می شود. اکثر سازه های پیش ساخته فرم های مکعب مستطیلی دارند. از جمله مشکلات این فرم نیاز به تعدد ماشین های سنگین برای حمل و نقل است که منجر به افزایش مصرف سوخت های فسیلی و آلودگی هوا می شود. در این تحقیق برای کاهش حمل و نقل، تقسیم کل سازه به اجزای کوچکتر در نظر گرفته شد. علاوه بر آن طراحی دیتیل های ریلی شکل برای حرکت کردن و دیتیل پین مانند بزرگ برای باز و بسته شدن سازه، نیاز به نیروی کار متخصص را کاهش می دهد. جهت مدل سازی این طرح از نرم افزار Rhinoceros 3D استفاده شده و برای ایجاد دوران ها افزونه ی Grasshopper به کار رفته است. همچنین برای بدست آوردن زاویه بهینه برای بسته بندی سازه مورد نظر از مقایسه ی دو الگوریتم بهینه یابی Genetic و مدل Surrogate استفاده شد. مدل شبه نیم کره طراحی شده در این تحقیق می تواند بیش از ۵۰٪ میزان سوخت مصرفی در اثر کاهش حمل و نقل را بهینه سازد و همچنین امداد رسانی سریعتر انجام شود.

کلیدواژه

آلودگی هوا، انرژی، پیش ساخته سازی، حمل و نقل، مصالح نوین

سرآغاز

می دهد که برای دستیابی اصولی به پیش ساخته سازی باید یک چارچوب تحلیلی در زمینه های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فناوری در نظر گرفته شود (Lu et al., 2018). تأمین مسکن مناسب و مقرون به صرفه یک چالش بزرگ در کشورهای نوظهور و صنعتی است و ساخت و سازهای مرسوم، به ویژه در مراکز متراکم شهری و مناطق روستایی یا دورافتاده، فشارهای زیادی بر هزینه و بهره وری منابع

با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای مسکن در سال های اخیر، در بسیاری از کشورها، برای رفع تقاضاهای ساخت و ساز، پیش ساخته سازی به عنوان یک استراتژی تولید «پاک» به کار گرفته شده و بسیاری از دولت ها، به کار بردن پیش ساخته سازی را به عنوان بخشی از برنامه ساخت و ساز قرار می دهند. تحقیقات نشان

در مصرف انرژی ناشی از کاهش زباله‌های ساختمانی و بهره‌وری بهتر در استفاده از مواد وجود دارد که موجب صرفه‌جویی ۱۴٪-۴٪ در کل مصرف انرژی چرخه زندگی می‌شود (Hong et al., 2016; Aye et al., 2012). مطالعه‌ای در هنگ‌کنگ نشان داد که متوسط کاهش ضایعات در استفاده از پیش‌ساخته‌سازی در مقابل ساخت و سازهای معمولی حدود ۵۲٪ بود. این بدان معنی است که استفاده گسترده‌تر از پیش‌ساخته‌ها از بار مدیریت پسماند ساخت و ساز می‌کاهد (Jaillon et al., 2009).

بنابراین استفاده از پیش‌ساخته‌ها برای ساخت و ساز دارای مزایای بسیاری از جمله کاهش ضایعات و اثرات زیست‌محیطی در چرخه عمر ساختمان است (Lu et al., 2018; Teng et al., 2019; Tavares et al., 2021). از دیگر مزایای این سیستم نصب آسان و هزینه‌ی کم‌تر است که منجر می‌شود بسیاری از مردم، خانه‌های صنعتی را به ساخت مرسوم ترجیح دهند. واضح است که با گذشت زمان و با پیشرفت تکنولوژی در زمینه‌ی تحلیل، طراحی و ساخت اجزای پیش‌ساخته، امروزه عناصر و مصالحی استفاده می‌شود که کم‌ترین خطر را برای محیط زیست داشته و حداکثر کاهش مصرف انرژی را برای استفاده کنندگان به ارمغان آورد (Colombo et al., 2015). در فرآیند پیش‌ساخته‌سازی کاهش اتلاف وقت و هزینه و بهسازی مصرف انرژی مطرح می‌باشد (Malacarne et al., 2016). همچنین پیش‌ساخته به عنوان یک راه حل مهم برای مقابله با فعالیت‌های پرخطر و پر زحمت در ارتباط با روش‌های معمول ساختمانی در نظر گرفته می‌شود. براساس یافته‌های محققان، چند توصیه برای ترویج استفاده از پیش‌ساخته‌ها از جمله مدیریت در زمان و افزایش اعتماد مصرف‌کننده ارائه شده است (Zhang et al., 2018).

یکی از روش‌ها برای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی بخش ساختمان بهینه‌سازی مصالح ساختمانی و اجزای سازنده می‌باشد. برخی از یافته‌ها مبنی بر استفاده از پی‌های بتنی پیش‌ساخته تأثیرات زیست‌محیطی را در اکثر موارد

وارد می‌کند. بنابراین، پیش‌ساخته‌سازی می‌تواند فرصت خوبی را برای بهبود عملکرد محیطی و اقتصادی فراهم کند و از این رو به عنوان یک جایگزین مناسب برای ساخت و سازهای سنتی در محل در نظر گرفته شود (Dave et al., 2017).

برخلاف تصور رایج، پیش‌ساخته‌سازی فرآیندی جدید برای ساخت و ساز نیست، بلکه روشی است که سال‌ها مورد استفاده گسترده قرار گرفته است. علاوه بر این، این فرآیند منحصراً مبتنی بر رویکردهای فناوری پیشرفته نیست بلکه در واقع مناسب برای جامعه‌های کم‌درآمد است. با استناد به تحقیقاتی که در پیش‌ساخته‌سازی در چین، کلمبیا، هند، مکزیک و نیکاراگوئه صورت گرفته است، نشان داده شد که با توجه به شرایط مناسب، هزینه‌ها کاهش می‌یابد و فرصت‌های شغلی برای زنان نیز ایجاد می‌شود (Stallen et al., 1994). تاریخچه‌ی پیش‌ساخته‌سازی با ورق‌های فلزی شیاردار به اطراف اسکاتلند باز می‌گردد. در سال ۱۸۲۹ استفاده از ورق‌های فلزی شیاردار در ساختمان‌سازی گرایش بسیاری پیدا کرد. ورق‌های فلزی شیاردار نقش بسزایی در پیشرفت صنعت پیش‌ساخته‌سازی داشتند. از آن پس در بسیاری از کاتالوگ‌ها، خانه‌های پیش‌ساخته با انواع گوناگونی به مشتریان ارائه می‌شدند (Colombo et al., 2015). این احتمال وجود دارد که پیش‌ساخته‌سازی در صنعتی شدن پیشرفته‌ی بریتانیا و یا حتی بعد از جنگ جهانی دوم نیز گسترش یافته باشد (Agren and Wing, 2014).

شهرنشینی سریع به همراه توسعه اقتصاد مدرن منجر به تقاضای قابل توجه انرژی شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از پیش‌ساخته در حفاظت از انرژی در ساختمان یک راهکار اساسی برای کاهش زیان‌های زیست‌محیطی و تسریع در روند شهرنشینی است (Zhu et al., 2018). همچنین ساخت و سازهای پیش‌ساخته به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود بهره‌وری در صنعت ساخت و ساز، نشان می‌دهد که جدا از استفاده مجدد، صرفه‌جویی

مواد و روش بررسی

در راستای مدل سازی این طرح از نرم افزار Rhinoceros 3D نسخه 6.20 از شرکت رابرت مک نیل و همکاران استفاده شد. این نرم افزار دارای قابلیت انعطاف پذیری بالایی بوده (Freitas et al., 2020) و به دلیل داشتن بستری آزاد برای گسترش یافتن و دارا بودن افزونه های مختلف، قابلیت های بیشماری از جمله مدل سازی و آنالیز را در خود جای داده است (Kwame et al., 2015). در روند مدل سازی، به دلیل مدولار بودن اجزا و نیاز به یک الگوریتم قابل تغییر در مدل به جای استفاده از حالت صلب از افزونه ی Grasshopper نسخه 1.0. شرکت مک نیل و همکاران که یک محیط برنامه نویسی بصری می باشد، استفاده شده است (Celani, 2021; Vantuyghem et al., 2012; and Vaz, 2012). این افزونه در دوران اجزای مدولار و ایجاد فرایند پارامتریک در زاویه بسته بندی سازه به کار رفته است. علاوه بر این در راستای بهینه یابی حداقل ابعاد برای بسته بندی سازه، مولفه ی Galapagos که یک مولفه ی درونی برای افزونه ی Grasshopper می باشد، استفاده شد. این مولفه از الگوریتم ژنتیک برای یافتن خروجی بهینه با توجه به داده های ورودی بهره می برد (Rutten, 2013). مدل سازی پارامتریک به این مولفه کمک می کند تا جانمایی کل سازه در بسته مورد نظر، مجدداً تولید شده و داده ها از طریق الگوریتم ژنتیک ارزیابی شوند (Ilbeigi et al., 2020). همچنین از افزونه ی Opossum به عنوان ابزاری که از مدل Surrogate برای بهینه یابی به کار می رود، استفاده گردید (Wortmann, 2017). این مدل هنگامی مورد استفاده قرار می گیرد که فرآیند الگوریتمی فشرده باشد (Li et al., 2019b). در نهایت جواب دو روش با هم مقایسه شده و روش مناسب تر در فرایند پیدا کردن حداقل

به ویژه بیش از ۴۴٪ برای انتشار گازهای گلخانه ای در گرمایش جهانی کاهش می دهد (Gispert et al., 2020). در کشور چین پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از ساختارهای پیش ساخته در ایستگاه های مترو بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که ساخت بخش پیش ساخته ۱۲/۵۹٪ میزان انتشار گازهای گلخانه ای کمتری ایجاد می کند. به طور خاص، تولید گازهای گلخانه ای از مصالح ساختمانی در ساختارهای پیش ساخته ۱۴/۳۸٪ کاهش می یابد، که با استفاده از بهینه سازی ساختاری حاصل می شود (Liu et al., 2019). تحقیق دیگری در کشور چین نشان داد که پیش ساخته سازی منجر به کاهش انتشار کربن می شود (Hao et al., 2020). بنابراین برای بهینه شدن کارایی پیش ساخته سازی، مدل سازی اطلاعات ساختمان لازم می باشد (Li et al., 2019a).

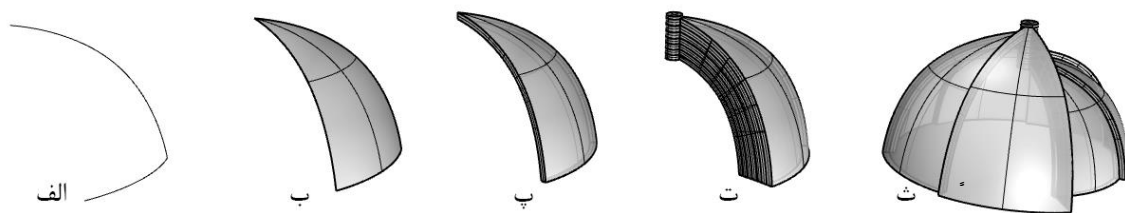
هنگام استفاده مجدد از عناصر ساختاری پیش ساخته، هزینه اقتصادی به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. همچنین دوام و یا عمر سرویس، مستقیماً با تأثیر بر محیط زیست مرتبط می باشد (Rubio et al., 2019). همه این مزایا را می توان به عنوان شیوه های مهم سازگار با محیط زیست ارائه داد که توسط ساخت و سازهای پیش ساخته انجام می شود (Hong et al., 2016; Aye et al., 2012). برای بدست آوردن کامل منافع اقتصادی حاصل از پیش ساخته سازی، تمرکز در آینده باید روی حمایت مالی برای ارتقا توسعه تکنولوژی پیش ساخته سازی، بهینه سازی ساختار ساختمان های پیش ساخته شده و بهبود پیشرفت بازار پیش ساخته سازی قرار گیرد (Hong et al., 2018).

این تحقیق برای کاهش حمل و نقل و آلودگی هوا، کاهش مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش سازه های پیش ساخته در راستاری حمایت محیط زیست و عدم نیاز به نیروی ماهر برای سرهم کردن قطعات صورت گرفته است.

جزئیات شامل یک پین بزرگ است که در بالاترین نقطه از شبه گنبد قرار گرفته است. این پین از یک استوانه متصل به بزرگ‌ترین قطاع و حلقه‌هایی که به بقیه‌ی قطاع‌ها متصل شده‌اند و حول استوانه می‌چرخند، تشکیل شده است. همچنین ریل‌هایی در پایین‌ترین نقطه‌ی قطاع‌ها قرار داده شدند که به همراه یک فرم قرقره مانند دو طرفه که خود دارای قابلیت حرکت و قفل شدن در ریل‌ها هستند، حرکت اجزا را تسهیل کردند. شبیه‌سازی موارد گفته شده برای حرکت قطاع‌ها در افزونه‌ی Bongo انجام شده است و پس از رفع درگیری‌های پیش آمده در حرکت، نوارهای لاستیکی جهت درزگیری نهایی میان فاصله‌های احتمالی پیش آمده برای جلوگیری از اتلاف انرژی و نفوذ آب باران در نظر گرفته شد. همچنین لازم به ذکر است مصالح جدارها، پوشش فایبرگلس روی شبکه‌ی میلگردهای بافته شده‌ی به شکل کره با عایق داخلی پلی‌اورتان می‌باشد. شکل ۲ چشم‌انداز حالت قرارگیری دو مدول در کنار هم را نشان می‌دهد.

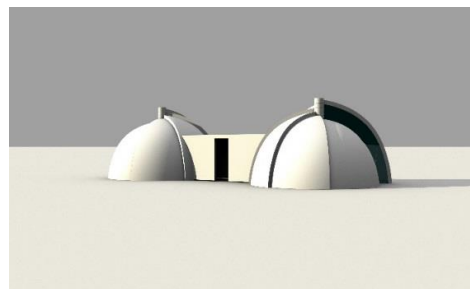
ابعاد بسته بندی سازه برای حمل و نقل انتخاب گردید.

در ابتدا با استفاده از ترسیم دو قوس پایه به عنوان اساس کلی تولید یکی از قطاع‌های گنبد، ساختار پوسته مانند آن بخش حاصل شد. پس از آن برای ایجاد قابلیت جمع شدن کل نیم گنبد زیر بزرگترین قطاع، بقیه قسمت‌ها به طوری که تمامی پنج بخش دیگر به ترتیب در زیر هم قرار گیرند، مقیاس شده و کوچکتر شدند. لازم به ذکر است در این فرآیند مقدار کوچک شدن به نحوی تنظیم شده است که فضا دچار سرگیری و کاهش ارتفاع شدید نشود. سپس تمامی اجزای تولید شده برای سهولت در نحوه دوران به صورت پارامتریک به پلاگین Grasshopper منتقل شدند. در شکل ۱ مراحل مدلسازی به تفکیک از چپ به راست نمایش داده شده است. بعد از تولید الگوریتم مناسب برای دوران اجزا، که هر کدام به مقدار ۶۰ درجه نسبت به یکدیگر و حول محور اصلی عمودی سازه رو به داخل حرکت داده می‌شوند، دیتیل‌هایی برای ایجاد راحتی کاربرها در دوران، طراحی گشت. این



شکل ۱. الف. قوس‌های پایه، ب. پوسته‌ی ابتدایی، پ. ضخامت دهی به پوسته، ت. تکثیر و مقیاس دهی در حالت جمع شده به همراه تولید فرم پین بزرگ و ث. خروجی دوران یافته از الگوریتم نوشته شده در Grasshopper

برای بدست آوردن زاویه‌ی بهینه جهت بسته بندی سازه، ابتدا یک مکعب مستطیل پیرامون سازه محاط شد. پس از آن مقادیر طول، عرض و ارتفاع خارج گردید و قدر مطلق اختلاف این ابعاد با ابعاد قوانین اصلی در بسته‌ی قابل انتقال به دست آمد. به دلیل نیاز بر رعایت قوانین حمل و نقل، برای



شکل ۲. چشم‌انداز قرارگیری دو سازه در کنار هم به همراه رابط میانی

در دوران سه بعدی مجموعه و مولفه های x, y, z نقطه‌ی ابتدای بردار سازنده‌ی محور می‌باشند. نقطه‌ی انتهایی این بردار مرکز حجمی مکعب مستطیل پیرامونی می‌باشد. در جدول ۱ مقایسه‌ی الگوریتم Genetic و Surrogate آورده شده است.

جدول ۱. مقایسه الگوریتم Genetic و مدل Surrogate در بهینه‌یابی ابعاد بسته بندی سازه برای حمل و نقل

تعداد تکرار	بهترین مقدار طول بسته بندی حاصل از بهینه‌یابی (m)	بهترین مقدار عرض بسته بندی حاصل از بهینه‌یابی (m)	بهترین مقدار ارتفاع بسته بندی حاصل از بهینه‌یابی (m)	نام افزونه یا مولفه‌ی استفاده شده	الگوریتم بهینه‌یابی
۹۹	۵/۲۶	۲/۶۰	۲/۹۰	Galapagos	Genetic
۵۰۰	۵/۲۷	۲/۶۰	۲/۹۰	Opossum	Surrogate

هیدروکربن‌ها و ذرات معلق که بر اثر سوخت‌های فسیلی موتور وسایل نقلیه می‌باشد، منجر به آلودگی هوا می‌شود. از طرفی سرعت خدمات رسانی به جمعیت‌های زیاد، کاهش می‌یابد که بر خلاف خواسته‌های سیستم مدیریت بحران است.

در حالت کلی سازه‌های اسکان موقت به دو دسته‌ی سرهم شده و یا قطعه قطعه تقسیم می‌شوند که در مورد اول تمامی مشکلات نام برده وجود دارد. در حالت قطعه قطعه شده اندکی از مشکلات حمل و نقل کاهش می‌یابد، زیرا تعداد قطعات قابل سرهم بندی بیشتری در هر وسیله نقلیه جای می‌گیرد اما مشکل دیگری که ایجاد می‌کند نیاز به تعداد زیادی نیروی کاری ورزیده جهت سرهم بندی آن‌ها می‌باشد.

اکثر سازه‌های پیش ساخته فرم‌های مکعب مستطیلی دارند؛ در نتیجه در زمستان‌ها مساحت زیادی از سطح آن‌ها در سایه و همچنین در تابستان‌ها در آفتاب شدید قرار می‌گیرند. بنابراین در فصول مختلف، نیاز بیشتری به سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و تهویه مطبوع می‌باشد. این سیستم‌ها در شرایط اسکان موقت مشکلات زیادی ایجاد می‌کنند. از جمله‌ی این مشکلات استفاده شدید این سیستم‌ها از سوخت‌های فسیلی جهت سرمایش و گرمایش

این مقادیر در روند بهینه‌یابی تابع جریمه در نظر گرفته شد. مجموع این مقادیر متغیر وابسته بهینه‌یابی را تعریف می‌کند. لازم به ذکر است طول بسته داری آزادی عمل بیشتری بوده و در تابع جریمه برای آن منظور نگردید. متغیرهای مستقل در روند بهینه‌یابی ۴ مولفه بوده که به ترتیب زاویه

همان طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، الگوریتم Genetic در تعداد تکرار کمتر به جواب بهینه تری نسبت به مدل Surrogate دست یافته است. در نتیجه علی‌رغم مزایای مطرح شده برای مدل Surrogate، در این طرح برای بسته بندی الگوریتم Genetic با حدود ۲۰ درصد تعداد تکرار در مدل Surrogate به جواب بهینه رسیده است. همچنین مشابهت جواب حاصل از دو الگوریتم بیانگر صحت جواب بهینه‌یابی و روند تعریف متغیرها می‌باشد.

نتایج

بر اساس مطالعات انجام شده، پس از بلایای طبیعی همچون زلزله، مهم‌ترین مورد فراهم نمودن محل‌های اسکان موقت می‌باشد. سازمان‌ها همواره سعی بر این دارند تا با استفاده از اجزای پیش ساخته‌ای همچون کانکس‌ها در روند برپایی اسکان موقت برای آسیب دیدگان اقدام نمایند. یکی از مشکلات این سازه‌ها، حمل و نقل آن‌ها می‌باشد که به دلیل صلب بودن ساختار معمولاً تعداد اندکی از آن‌ها در وسایل حمل و نقل جای گرفته و انتقال می‌یابند. این مورد باعث افزایش شدید عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین می‌شود که یکی از عوامل مهم آلودگی هوا می‌باشند. آزاد شدن آلاینده‌های مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن،

گیر کمتری نیز دارد. نکته قابل توجه این است که در میان احجام معمولی کره‌ها کمترین نسبت سطح به حجم را دارند پس تماس کمتری با هوای سرد و گرم زمستان و تابستان دارند و در نتیجه تبادل حرارت از طریق جداره‌ها نسبت به احجام دیگر کاهش می‌یابد. علاوه بر آن از نظر سازه‌ای به دلیل رفتار فشاری (انتقال بارها در سازه‌های قوسی شکل به صورت فشاری صورت می‌گیرد) نیاز به تمهیدات سازه‌ای بیشتر در آن کاهش می‌یابد که باعث کمتر شدن مصرف مواد می‌شود، در نتیجه فعالیت کارخانه‌های تولید مواد و مصالح کاهش یافته و به کاهش آلودگی هوا کمک می‌کند.

برای حل معضل حمل و نقل ایده‌ی قطعه قطعه کردن سازه، روش مناسبی می‌باشد زیرا می‌توان تعداد قطعات خیلی بیشتری را در هر سری از بارگیری به محل مورد نظر انتقال داد؛ اما نیاز به نیروی کار ماهر برای ساخت و سرهم بندی قطعات وجود دارد که این نیاز باعث افزایش جابه جایی افراد و آذوقه مدت اقامت آن‌ها در محل حادثه دیده است. در این طرح سعی شد تا با طراحی دیتیل‌های ریلی شکل برای حرکت کردن و یک دیتیل پین مانند بزرگ امکان باز و بسته شدن را برای سازه، بدون نیاز به نیروی کار متخصص فراهم آورد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود برای جمع شدن کامل قطعات نیم‌کره روی هم، هر تکه به نسبت تکه‌ی قبل از خود کوچک‌تر شده است. این مورد هم باعث کوچک‌تر شدن و به صورت کامل جمع شدن سازه می‌شود. شکل ۴ نشان می‌دهد که پس از باز شدن کامل سازه و قفل شدن ریل‌ها درزهایی در محل رسیدن قطعات به هم مشاهده می‌شود که به وسیله‌ی درزگیر نواری پلاستیکی برای عدم نفوذ آب باران و هدررفت انرژی پوشیده می‌شود.

معماری در کشور ایران به دلیل دارا بودن اقلیم کلی گرم و خشک و کمبود آب در طی تاریخ همواره سعی بر جبران نامالایمات طبیعی داشته است. شاهکار بی نظیری همچون مسجد تاریخی امام واقع در میدان نقش جهان که

می‌باشند. در اثر سوختن این سوخت‌ها نیز آلودگی‌های زیادی وارد هوا می‌شود که شاید محیط زیست در منطقه‌های بحرانی توان پالایش سریع آن‌ها را نداشته باشد و از طرفی به دلیل تراکم احتمالی جمعیت در یک منطقه‌ی کوچک تنفس را برای افراد سخت کند. همچنین برخی از سیستم‌های گرمایشی از جمله بخاری‌های برقی خطراتی همچون حریق را ایجاد می‌کنند.

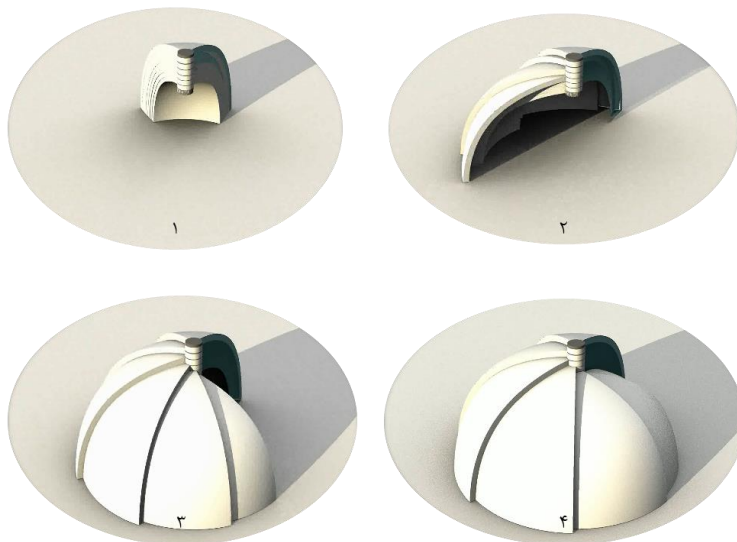
از طرفی ساخت ساختمان‌های معمولی در شرایط بحرانی بسیار سخت، زمان بر و پرهزینه می‌باشد و به طور کلی این ساختمان‌ها به دلیل نیاز به مصالح بنایی چون سیمان، آجر و غیره سالانه مقادیر زیادی از انواع آلاینده‌ها را وارد محیط زیست می‌کنند.

پس از در نظر گرفتن شرایط فوق باید طراحی به صورت پیش ساخته در نظر گرفته شود تا از نظر آلودگی، حمل و نقل و میزان نیاز به تجهیزات سرمایشی و گرمایشی در حالت بهینه تری نسبت به سازه‌های پیش ساخته موجود باشد. نکته‌ی قابل توجه این است که بعضاً تا فراهم آوردن شرایط عادی برای سکونت افراد آسیب دیده مدت زمانی زیادی طول می‌کشد، پس این افراد باید در این زمان بتوانند در محل اسکان‌های موقت زندگی کنند و ارزش‌های معماری در این فضاها حفظ شود تا میزان رضایت خاطر آن‌ها افزایش یابد.

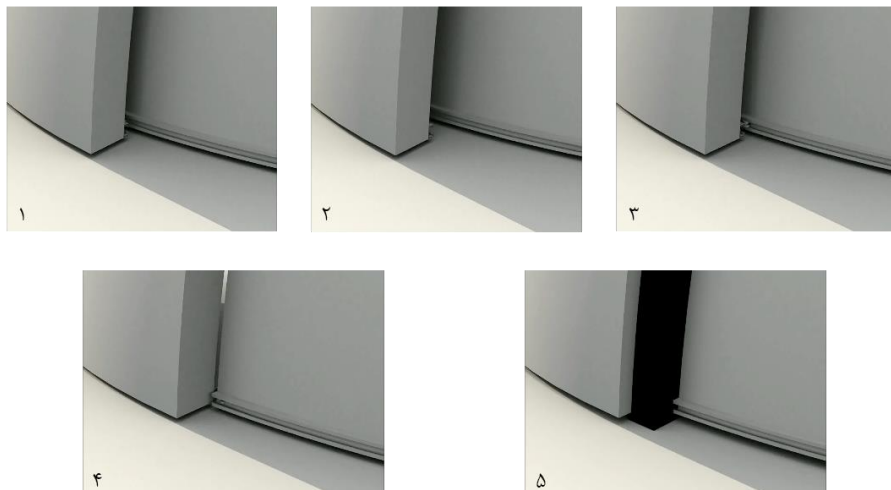
پس از مطالعات فراوان بر روی فرم‌های بهینه‌ی معماری از نظر انرژی، در این تحقیق فرم شبه نیم‌کره برای طرح پیشنهادی انتخاب گردید. دلیل انتخاب فرم مذکور این است که همواره در فصل تابستان نیمی از سطح نیم‌کره در سایه قرار می‌گیرد پس به مساحت قسمت‌های در سایه، نسبت به فرم‌های مکعب مستطیلی افزوده شده، بنابراین باعث می‌شود که نیاز به سیستم‌های سرمایشی کاهش پیدا کند. همچنین در زمستان‌ها نیز نیمی از آن در طول روز در آفتاب قرار می‌گیرد و نیاز به سیستم‌های گرمایشی کاهش می‌یابد. به هنگام بارش برف، به دلیل فرم منحنی احتمال نشست برف روی آن کاهش یافته و همچنین مساحت برف

کاهش مصرف مصالح و مقاومت سازه ای می باشد. طرح مذکور از معماری گنبد های ایرانی الهام گرفته شده است و جلوه ای مدرن از آن ها است.

پس از گذشت سالیان از تمام بلایای طبیعی نجات یافته و واقع بودن آن در اقلیم سخت گرم و خشک شهر اصفهان نشان دهنده کار آمدی این فرم از نظر کاهش مصرف انرژی،



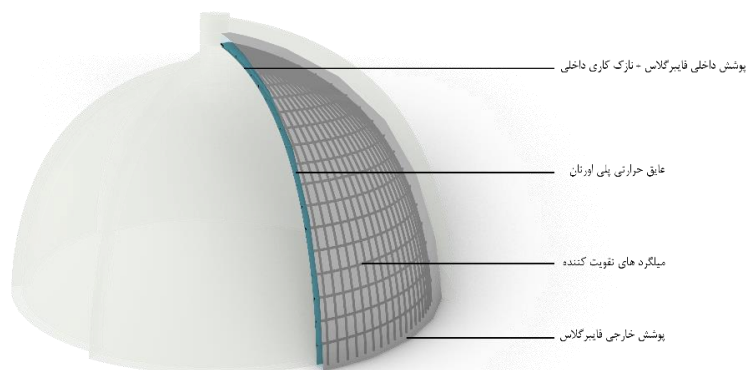
شکل ۳. بخش های ۱ تا ۴ به ترتیب مراحل باز و جمع شدن سازه را نشان می دهد.



شکل ۴. بخش های ۱ تا ۴ نحوه ی باز شدن جزئیات ریل سازه نمایش داده شده است. بخش ۵ نوار عایق پلاستیکی جهت پوشاندن درزهای ایجاد شده را نشان می دهد.

علاوه بر آن بتواند به خوبی به فرم منحنی تبدیل شده و از نظر سازه ای نیز مقاومت مطلوبی داشته باشد. بنابراین، پوشش فایبرگلس بر روی شبکه ی میلگردهای بافته شده ی به شکل کره با عایق داخلی پلی اورتان انتخاب گردید که در شکل ۵ جزئیات آن نمایش داده شده است.

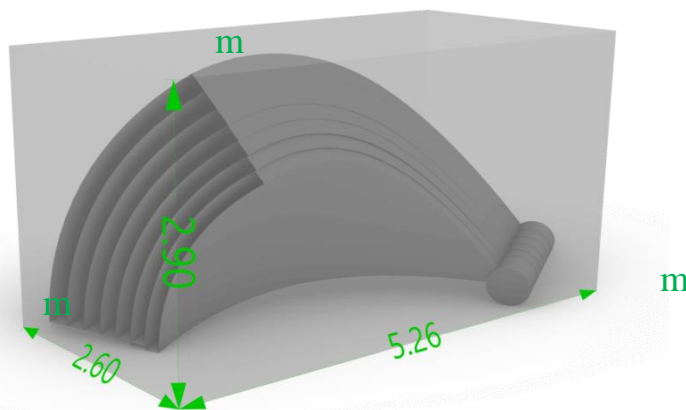
انتخاب مصالح جداره ها در این طرح، از بخش های چالش برانگیز در روند طراحی می باشد؛ زیرا مصالح انتخابی باید از نظر عایق بودن به خوبی عمل کرده و از تبادلات دمایی جلوگیری به عمل آورد. نکته ی قابل توجه انتخاب مصالحی است که شرایط گفته شده را داشته و



شکل ۵. نمایش مصالح انتخابی برای طرح

به ترتیب ۱۲، ۲/۶۰، ۳ متر را دارا باشد (Lumsden, 2004). بنابراین برای به دست آوردن بهترین زاویه بسته بندی سازه، از دو الگوریتم بهینه یابی Genetic و مدل Surrogate استفاده شد که پس از مقایسه آن‌ها الگوریتم Genetic جواب بهینه‌تری را در تعداد تکرار کمتر، حاصل نمود. نحوه‌ی بسته بندی به همراه ابعاد آن در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

در این تحقیق برای کاهش حمل و نقل، تقسیم کل سازه به اجزای کوچکتر در نظر گرفته شد و برای عدم نیاز به نیروی ماهر برای سرهم کردن قطعات، پروژه طوری طراحی شد که قابلیت باز و بسته شدن را توسط افراد بومی غیر متخصص به آسانی داشته باشد. همچنین، طبق محدودیت‌های موجود در حمل و نقل، باری که بر روی تریلی قرار داده می‌شود باید حداکثر طول، عرض و ارتفاع



شکل ۶. نحوه‌ی بهینه‌ی جای گذاری سازه بر روی تریلی

سکونت‌ی به مساحت ۲۹/۷۶ متر مربع بدست می‌آید. در صورتی که در یک بار حمل و نقل، حداقل دو سازه با طرح این پژوهش به همراه قسمت اتصال دهنده‌ی آن انتقال می‌یابد که مساحتی معادل ۶۵/۳۳ متر مربع را ایجاد می‌کند. اگر مسافت انتقال را یک مسیر ۱۰۰ کیلومتری تصور کنیم و از ماشین‌های سنگین با طول ۱۲ متری استفاده

در شرکت‌های کانکس سازی ابعاد کانکس‌های استاندارد در بازه‌ی رایج طول ۲۰ یا ۴۰ فوت معادل ۶/۱ یا ۱۲/۲ متر و عرض ۸ فوت معادل ۲/۴۴ متر ساخته می‌شوند (Powers et al., 2010; Wilson and Roach, 1999). اگر بزرگ‌ترین کانکس را با طول ۱۲/۲ و عرض ۲/۴۴ متر در نظر بگیریم، با یک بار حمل و نقل فضای قابل

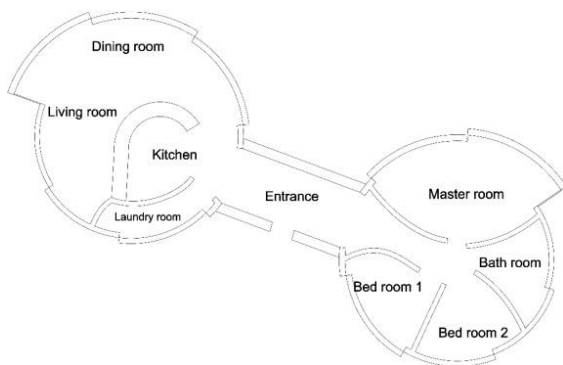
می شود. جدول ۲ تفاوت میزان سوخت مصرفی به ازای فضای قابل سکونت فراهم شده برای ۱۰۰ کیلومتر انتقال بین سازه طراحی شده و کانتینر های معمول را نشان می دهد.

کنیم، ۴۲/۵۲ لیتر سوخت برای این انتقال مصرف می شود (Lumsden, 2004). اگر مقدار سوخت مصرفی را بر عدد متر مربع فضای قابل سکونت تقسیم کنیم، معیار مناسبی برای مقایسه طرح مذکور با کانتینر های رایج حاصل

جدول ۲. بررسی تفاوت سوخت مصرفی به ازای فضای قابل سکونت فراهم شده در هر ۱۰۰ کیلومتر انتقال بین سازه طراحی شده و کانتینر های معمول

نسبت سوخت مصرفی به مساحت فراهم شده در هر ۱۰۰ کیلومتر انتقال با تریلر های رایج ۱۲ متری (L/m ²)	حداکثر تعداد جایگیری در هر تریلر ۱۲ متری	مساحت قابل سکونت در هر انتقال (حاصل ضرب مساحت در تعداد انتقال یافته) (m ²)	نوع سازه ی پیش ساخته
۱/۴۲۸۴	دو عدد	۲۹/۷۶۸	کانکس با طول ۶/۱ متر
۱/۴۲۸۴	یک عدد	۲۹/۷۶۸	کانکس با طول ۱۲/۲ متر
۰/۶۵۰۹	دو عدد به همراه فضای میانی	۶۵/۳۳	مدل طراحی شده شبه نیم کره

پلان پیشنهادی که دارای قابلیت تغییر متناسب با تعداد افراد ساکن است، در شکل ۷ آورده شده است. شکل ۸ نمایانگر چشم اندازهای های سازه و شکل ۹ تصاویر سه بعدی اتصالات آن را نمایش می دهد.

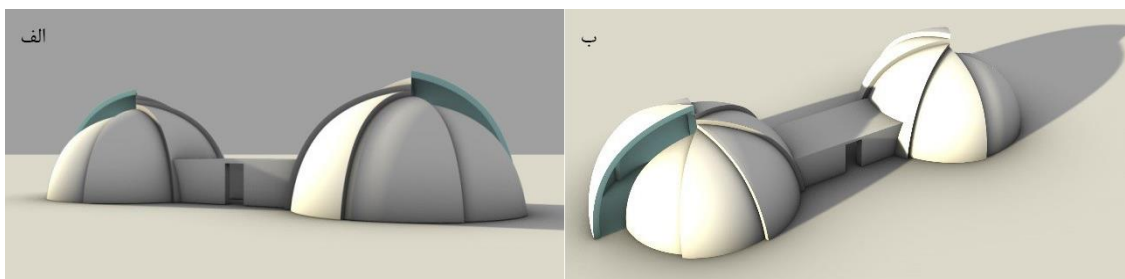


شکل ۷. پلان پیشنهادی طرح

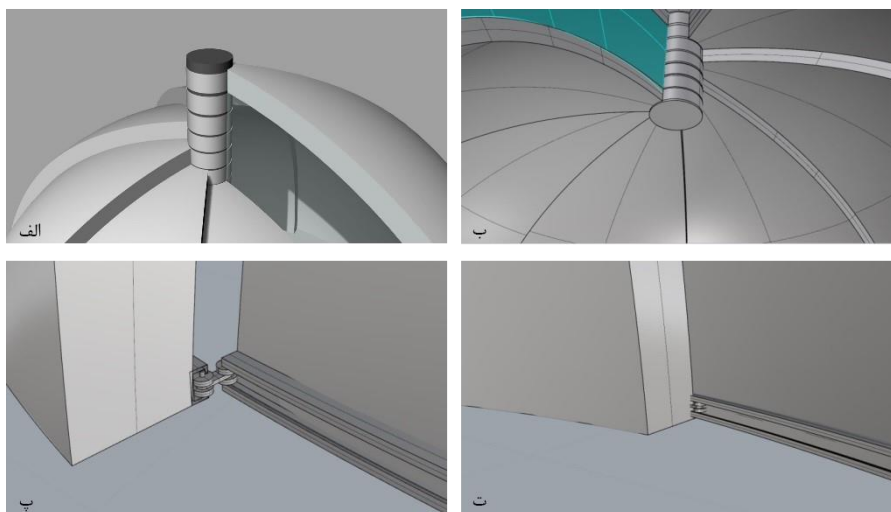
این طرح با توجه به ویژگی های مناسب در طراحی معمارانه، برای یک خانواده با جمعیت ۴ تا ۶ نفر در نظر گرفته شده است که می تواند متناسب با گستردگی جمعیت حادثه دیده به بلوک های تکی جهت امداد رسانی سریعتر در نظر گرفته شود، که با کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه ای، مصرف انرژی، حمل و نقل و آلودگی، در جهت حفظ آرمان های محیط زیست می باشد.

جدول ۲ نشان می دهد که طرح پیشنهادی در این تحقیق منجر به کاهش حمل و نقل و مصرف سوخت شده که سبب کاهش مصرف انرژی می شود. همچنین به طور استنتاجی میتوان نتیجه گرفت که در فرایند جا به جایی آلاینده های کمتری تولید می شوند و با محیط زیست سازگارتر هستند. لازم به ذکر است که می توان به جای استفاده از تریلر های معمول ۱۲ متری از تریلر های بزرگتر (طول بار های ۲۵ متر) که نسبت کمتری از مصرف سوخت به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر دارند، استفاده نمود تا لطمه کمتری به محیط زیست وارد شود (Lumsden, 2004). همچنین با این روش فرآیند امداد رسانی نیز سریعتر انجام می گردد.

علاوه بر ویژگی های ذکر شده در رابطه با کاهش مصرف انرژی، ویژگی های معمارانه برای زندگی راحت تر نیز در آن در نظر گرفته شده است. همچنین می توان به وسیله ی فضای رابط متصل کننده فضاهای بزرگتری برای خانواده های با جمعیت بیشتر نیز بوجود آورد. در صورتی که یکی از این شبه نیم کره ها در اختیار یک خانواده قرار گیرد، با هر بار حمل و نقل ۲ خانواده حادثه دیده دارای سرپناه می شوند.



شکل ۸. الف: چشم انداز شماتیک دید ناظر، ب: چشم انداز شماتیک دید پرنده



شکل ۹. الف: تصویر سه بعدی خارجی محور دوران سازه، ب: تصویر سه بعدی داخلی محور دوران سازه، پ: تصویر سه بعدی خارجی ریل و قرقره‌ها در انتهای مسیر و قبل از بسته شدن، ت: تصویر سه بعدی داخلی ریل و قرقره‌ها در انتهای مسیر، پس از بسته شدن

بحث و نتیجه گیری

آگاهی از آثار مخرب ساخت و ساز بر محیط زیست منجر به نگرانی اذهان عمومی شده است. پیش ساخته سازی روشی است که به منظور افزایش کیفیت عملکرد ساخت و ساز به کار برده می‌شود، با این حال در تحقیقات علمی جای بررسی جزئیات نمونه‌هایی که با ظرفیت‌های بالقوه‌ی پیش ساخته‌ها برای حفظ محیط زیست ساخته شده‌اند خالی است. بسیاری از پژوهشگران تاکنون فعالیت‌هایی را جهت کاهش اثر این صنعت بر انسان و اکوسیستم و کم‌تر کردن فعالیت‌های مخرب که باعث ایجاد تغییرات آب و هوایی در کره‌ی زمین می‌شوند، مطرح کرده‌اند. یکی از مشکلات این سازه‌ها، حمل و نقل آن‌ها می‌باشد که باعث افزایش شدید عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین می‌شود. به طور کلی یکی از آثار سیستم حمل و

نقل جاده‌ای و شهری آزاد شدن آلاینده‌های مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌ها و ذرات معلق است که بر اثر مصرف سوخت‌های فسیلی در موتور وسایل نقلیه می‌باشد و غلظت و اختلاط این مواد آلاینده بستگی به سرعت، شتاب و یا در جا کار کردن وسایل نقلیه دارد. همچنین بحث انرژی و ردپای زیست محیطی مرتبط با ساختمان‌ها نکته دیگر حائز اهمیت است. در تحقیقی که در ایتالیا به عنوان یک مطالعه موردی صورت گرفت، نشان داد که سیستم ساخت و ساز پیش ساخته، باعث کاهش ۸۲٪ تقاضای انرژی ساختمان شد (Pittau et al., 2017). در سراسر جهان، ساختمان‌ها و ساخت و سازها بیش از یک سوم از مصرف نهایی انرژی را به خود اختصاص داده‌اند (Chang et al., 2018). فناوری پیش ساخته به دلیل پتانسیل بهبود کیفیت ساخت در بسیاری از کشورها به شدت رایج

کاهش مصرف تجهیزات و تکنیک‌ها و حمل و نقل زباله و خاک می‌باشد (Mao et al., 2013). پیش ساخته‌ها اجرای معمول طراحی و ساخت و ساز ساختمان را تغییر می‌دهند (Chang et al., 2018). بنابراین باید نقاط قوت و ضعف پیش ساخته‌سازی از منظر بهره وری و منابع و پایداری محیط زیست بررسی و فرصت‌های سبز را در ساختمان‌های پیش ساخته مشخص نموده و استراتژی‌های عمده را بر اساس مزایای سبز پیش ساخته سازی مبنای سیاست‌گذاری و تصمیم گیری قدرتمند مقامات دولتی، تولیدکنندگان محصولات پیش ساخته و پیمانکاران قرار داد. نظر به اهمیت حمل و نقل و آلودگی های ایجاد شده حاصل از آن، در این تحقیق برای کاهش حمل و نقل و مصرف انرژی، برای طرح پیشنهادی به ترتیب تقسیم کل سازه به اجزای کوچکتر و فرم شبه نیم کره در نظر گرفته شد. برای عدم نیاز به نیروی کاری زنده برای سرهم کردن قطعات، پروژه طوری طراحی شد که قابلیت باز و بسته شدن داشته باشد. طراحی دیتیل های ریلی شکل برای حرکت کردن و دیتیل پین مانند بزرگ امکان باز و بسته شدن را برای سازه فراهم آورد.

شده است. نتایج تحقیقات کائو حاکی از آن است که نمونه ساختمان مسکونی پیش ساخته در کارآیی مصرف انرژی با کاهش ۲۰/۴۹٪ در کل مصرف در مقایسه با نمونه ساختمان مسکونی سنتی کارآمدتر می‌باشد. همچنین استفاده از پیش ساخته سازی با ۳۵/۸۲٪ در کاهش منابع، ۶/۶۱٪ کاهش در آسیب‌های سلامتی و ۳/۴۷٪ کاهش در آسیب به اکوسیستم است. بنابراین فن‌آوری پیش ساخته به دلیل کاهش آسیب به محیط زیست در مقایسه با فناوری ساخت و ساز سنتی، دوستدار محیط زیست می‌باشد (Cao et al., 2015). نکته مهم دیگر، انتشار گازهای گلخانه‌ای است که بر اثر ساخت و ساز با گذشت زمان قابل توجه خواهد بود. روش‌های مختلف ساخت و ساز بر انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر می‌گذارد. مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۳ به بررسی تفاوت میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بین روش‌های نیمه پیش ساخته و ساخت و ساز معمولی پرداخت. نتایج نشان داد که روش نیمه پیش ساخته در مقایسه با ساخت و ساز معمولی به تولید گازهای گلخانه‌ای کمتر برای ساخت هر متر مربع منجر می‌شود. چهار مورد که به کاهش انتشار آلاینده کمک می‌کند، انتشار گازهای گلخانه‌ای از مواد ساختمانی، حمل مصالح ساختمانی،

فهرست منابع

- Agren, R. & Wing, R.D. (2014). Five moments in the history of industrialized building, *Construction Management and Economics*, 32(1 – 2), 7 – 15.
- Aye, L., Ngo, T., Crawford, R.H., Gammampila, R., & Mendis, P. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules. *Energy and Buildings*, 47, 159-168.
- Cao, X., Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 109, 131-143.
- Celani, G., & Vaz, C.E.V. (2012). CAD Scripting and Visual Programming Languages for Implementing Computational Design Concepts: A Comparison From A Pedagogical Point Of View. *international journal of architectural computing*, 10(01), 121-137.
- Chang, Y., Li, X., Masanet, E., Zhang, L., Huang, Z., & Ries, R. (2018). Unlocking the green opportunity for prefabricated buildings and construction in China, *Resources. Conservation and Recycling*, 139, 259-261.
- Colombo, I.G., Colombo, M., & Prisco, M. (2015). Bending behaviour of Textile Reinforced Concrete sandwich beams. *Construction and Building Materials*, 95, 675-685.
- Dave, M., Watson, B., & Prasad, D. (2017). Performance and Perception in Prefab Housing: An Exploratory Industry Survey on Sustainability and Affordability. *Procedia Engineering*, 180, 676-686.

- Freitas, J.D.S., Cronemberger, J., Soares, R.M., & Amorim, C.N.D. (2020). Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. *Renewable Energy*, 160, 1468-1479.
- Gispert, E.P., Delmas, D.S., Fuente, A.D.L., Moonen, S.P.G., & Josa, A. (2020). Environmental analysis of concrete deep foundations: Influence of prefabrication, concrete strength, and design codes. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118751.
- Hao, J.L., Cheng, B., Lu, W., Xu, J., Wang, J., Bu, W., & Guo, Z. (2020). Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: A BIM-based life-cycle assessment approach. *Science of The Total Environment*, 723, 137870.
- Hong, J., Shen, G.Q., Li, Z., Zhang, B., & Zhang, W. (2018). Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost-benefit analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, 649-660.
- Hong, J., Shen, G.Q., Mao, C., Li, Z., & Li, K. (2016). Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: an input-output-based hybrid model. *Journal of Cleaner Production*, 112(4), 2198-2207.
- Ilbeigi, M., Ghomeishi, M., & Dehghanbanadaki, A. (2020). Prediction and optimization of energy consumption in an office building using artificial neural network and a genetic algorithm. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102325.
- Jaillon, L., Poon, C.S., & Chiang, Y.H. (2009). Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, 29(1), 309-320.
- Kwame, S., Dzegblor, N.K., & Lodonu, J.C. (2015). The Use of Computer-Based Tutorial to Augment Teaching and Learning of Computer Software Application: A Case Study of Rhinoceros 3d Software. *International Journal OF Innovative Research & Development*, 4(2), 209-216.
- Li, X., Shen, G.Q., Wu, P., & Yue, T. (2019)^a. Integrating Building Information Modeling and Prefabrication Housing Production. *Automation in Construction*, 100, 46-60.
- Li, S., Trevelyan, J., Wu, Z., Lian, H., Wang, D., & Zhang, W. (2019)^b. An adaptive SVD-Krylov reduced order model for surrogate based structural shape optimization through isogeometric boundary element method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 349, 312-338.
- Liu, M., Jia, S., & Liu, X. (2019). Evaluation of mitigation potential of GHG emissions from the construction of prefabricated subway station. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117700.
- Lu, W., Chen, K., Xue, F., & Pan, W. (2018). Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework. *Journal of Cleaner Production*, 201, 236-245.
- Lu, W., Lee, W.M.W., Xue, F., & Xu, J. (2021). Revisiting the effects of prefabrication on construction waste minimization: A quantitative study using bigger data. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105579.
- Lumsden, K. (2004). *Truck masses and dimensions - impact on transport efficiency*. Department of Logistics and Transportation, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Malacarne, G., Monizza, G.P., Ratajczak, J., Krause, D., Benedetti, C., & Matt, D.T. (2016). Prefabricated Timber Facade for the Energy Refurbishment of the Italian Building Stock: The Ri.Fa.Re. Project. *Energy Procedia*, 96, 788-799.
- Mao, C., Shen, Q., Shen, L., & Tang, L. (2013). Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. *Energy and Buildings*, 66, 165-176.
- Pittau, F., Malighetti, L.E., Iannaccone, G., & Masera, G. (2017). Prefabrication as Large-scale Efficient Strategy for the Energy Retrofit of the Housing Stock: An Italian Case Study. *Procedia Engineering*, 180, 1160-1169.
- Powers, D.J., Scott, M.A., & Mackey, T.C. (2010). *Freight Container Lifting Standard*. Washington River Protection Solutions, LLC, RPP-40736.
- Rubio, J.N., Pineda, P., & Martinez, A.G. (2019). Sustainability, prefabrication and building optimization under different durability and re-using scenarios: Potential of dry precast structural connections. *Sustainable Cities and Society*, 44, 614-628.

- Rutten, D. (2013). Galapagos: On the Logic and Limitations of Generic Solvers. *Architectural Design*, 83(2), 132-135.
- Stallen, M., Chabannes, Y., & Steinberg, F. (1994). Potentials of prefabrication for self-help and mutual-aid housing in developing countries. *Habitat International*, 18(2), 13-39.
- Teng, Y., Li, K., Pan, W., & Ng, T. (2018). Reducing building life cycle carbon emissions through prefabrication: Evidence from and gaps in empirical studies. *Building and Environment*, 132, 125-136.
- Tavares, V., Lacerda, N., & Freire, F. (2019). Embodied energy and greenhouse gas emissions analysis of a prefabricated modular house: The “Moby” case study. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1044-1053.
- Vantghem, G., Ooms, T., & Corte, W.D. (2021). VoxelPrint: A Grasshopper plug-in for voxel-based numerical simulation of concrete printing. *Automation in Construction*, 122, 103469.
- Wilson, I.D., & Roach, P.A. (1999). Principles of combinatorial optimization applied to container-ship stowage planning. *Journal of Heuristics*, 5, 403-418.
- Wortmann, T. (2017, April). *Opossum: Introducing and Evaluating a Model-based Optimization Tool for Grasshopper*. Protocols, Flows and Glitches, Proceedings of the 22nd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), Hong Kong. 283-292.
- Zhang, W., Lee, M.W., Jaillon, L., & Poon, C.S. (2018). The hindrance to using prefabrication in Hong Kong's building industry. *Journal of Cleaner Production*, 204, 70-81.
- Zhu, H., Hong, J., Shen, G.Q., Mao, C., Zhang, H., & Li, Z. (2018). The exploration of the life-cycle energy saving potential for using prefabrication in residential buildings in China. *Energy and Buildings*, 166, 561-570.