The Effective Components in Prefabricated Housing Design: A Systematic Review*

Fateme Rajabipour[1] iD, *Ahmad Ekhlasi*[2] iD, *Seyed Abbas Yazdanfar*[**3] iD

[1] Master of Architectual Technology, Department of of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
[2] Associate Professor, Department of of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
[3] Associate Professor, Department of of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

(Received: 11 Oct 2022, Received in revised form: 11 Mar 2023, Accepted: 3 May 2023)

On one hand the rapid population growth and increasing demand for housing, and on the other hand the need to reduce the delivery time of construction projects and accelerate capital return, necessitate the transition from traditional construction methods to industrialization. Moving towards industrialization responds to the current demand of the society and it also has a very positive effect on the construction speed, quality and the final cost of the building. It is also capable of increasing the production and establishing a balance between supply and demand. Therefore, by considering the widely expressed advantages of building industrialization and the efforts of governments to take advantage of this, it seems that the effective implementation of this process depends on the identification and application of the effective components in design. Despite manifold empirical studies on these components, the dispersion and lack of a conceptual framework for their classification reveals the necessity of conducting a comprehensive examination in this regard. The purpose of this research is to identify the effective components in the design of prefabricated houses. This paper uses the Sandelowski and Barroso's Meta-Synthesis to systematic review the sources and analyse all the qualitative data for components identification. By extracting the components and integrating similar cases, a broad classification framework was proposed for categorization of the components into environmental, technical, economic, functional, socio-cultural, aesthetics and climatic groups. Examining the components abundance for internal and external sources has also identified the most frequent ones, which is a guide for designers in prioritizing effective components in the design process. The hierarchies of frequency of groups are almost consistent with each other, and technical, environmental and functional groups have been the most frequent groups among internal and external sources, respectively. In addition to forming an integrated conceptual framework based on the mandatory/recommended hierarchical structure, the number of components and their abundance in each group, this research has applied the use of components and it can be a basis for proposing design improvement strategies in prefabricated housing. An overview to the conceptual framework indicates that: the use of modularity theory for dividing the building components in the technical group, saving energy and materials in the environmental group, providing flexibility in the functional group, saving the Initial costs in the economic group, reducing nuisance for neighbours and passages and considering the market and regional demand for the selection of materials and components in the socio-cultural group, providing appropriate temperature and ventilation in the form of providing environmental comfort in the climatic group and taking advantage of diversity and avoiding monotony in the facade and composition of building components in the group of aesthetics are the most frequent and effective components in the seven groups of prefabricated housing design, and considering them is necessary for design. The reliability and validity of the results were investigated by the use of Cohen's kappa coefficient. In the present study this coefficient is at the significant level of 0.007 equal to 0.750 and this amount confirms the reliability of the research.

Keywords
Industrialization, Housing, Prefabrication, Prefabricated Housing Design.

Citation: Rajabipour, Fateme; Ekhlasi, Ahmad, & Yazdanfar, Seyed Abbas (2023). The effective components in prefabricated housing design: a systematic review, *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 28(1), 63-76. (*in Persian*)
DOI: https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.349746.672812

*This paper is extracted from the first author's master thesis, entitled "Design a residential complex in Birjand with the approach of modulation and prefabrication", under the supervison of the second and third authors.

** Corresponding Author: Tel: (+98-912) 1125098, E-mail: yazdanfar@iust.ac.ir

صفحات ۶۳ - ۷۶ (مقالهٔ پژوهشی)
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۸ ● شماره ۱ ● بهار ۱۴۰۲

مؤلفه‌های مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته: یک مرور سیستماتیک*

فاطمه رجبی‌پور[۱]، احمد اخلاصی[۲]، سیدعباس یزدانفر[۳]**

[۱] کارشناس ارشد فناوری معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
[۲] دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
[۳] دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳)

چکیده

رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضای مسکن از یک‌سو و نیاز به کاهش مدت‌زمان تحویل پروژه‌های عمرانی و تسریع برگشت سرمایه از سوی دیگر، گذار از شیوه‌های ساخت‌وساز سنتی به صنعتی‌سازی را ضروری می‌نماید. با توجه به مزایای گسترده‌ی بیان‌شده‌ی صنعتی‌سازی ساختمان و تلاش دولت‌ها برای بهره‌گیری از آن در جهت برخورداری همه‌جانبه از این مزایا، به‌نظر می‌رسد اجرای مؤثر آن منوط به شناسایی و به‌کارگیری مؤلفه‌های مؤثر در طراحی خواهد بود. علی‌رغم پرداختن مطالعات تجربی متعدد به این مؤلفه‌ها، پراکندگی و فقدان چارچوب مفهومی برای دسته‌بندی آنها، ضرورت انجام بررسی جامع در این خصوص را آشکار می‌سازد. این پژوهش از الگوی فراترکیب هفت‌مرحله‌ای (سندلوسکی و باروس) به‌منظور بررسی سیستماتیک منابع و تجزیه‌وتحلیل کلیه‌ی داده‌های کیفی در جهت شناسایی مؤلفه‌ها استفاده می‌کند. با استخراج مؤلفه‌ها و ادغام موارد مشابه، یک چارچوب طبقه‌بندی گسترده به‌منظور گروه‌بندی مؤلفه‌ها در گروه‌های محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی، کارکردی، اجتماعی-فرهنگی، زیبایی‌شناسی کالبدی و اقلیمی پیشنهاد گردید. بررسی میزان فراوانی مؤلفه‌ها به تفکیک منابع داخلی و خارجی نیز، پرتکرارترین آنها را مشخص نموده است که راهگشای طراحان در اولویت‌دهی به مؤلفه‌های مؤثر در فرایند طراحی است. این پژوهش ضمن تشکیل چارچوب مفهومی یکپارچه، می‌تواند مبنایی برای پیشنهاد استراتژی‌های بهبود طراحی مسکن پیش‌ساخته فراهم کند.

واژه‌های کلیدی

صنعتی‌سازی، مسکن، پیش‌ساخته‌سازی، طراحی مسکن پیش‌ساخته.

استناد: رجبی‌پور، فاطمه؛ اخلاصی، احمد و یزدانفر، سید عباس(۱۴۰۲). مؤلفه‌های مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته: یک مرور سیستماتیک. *هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی*، ۲۸(۱)، ۶۳-۷۶.
DOI: https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.349746.672812

CC BY NC

* مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول با عنوان «طراحی مجتمع مسکونی در شهر بیرجند با رویکرد مدولاسیون و پیش ساخته‌سازی» می‌باشد که با راهنمایی نگارندگان دوم و سوم ارائه شده است.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲-۱۱۲۵۰۹۸، E-mail: yazdanfar@iust.ac.ir.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، به سبب رشد جمعیت، مهاجرت به شهرها و در نهایت توسعه‌ی شهرنشینی، افزایش تقاضای مسکن به بحرانی جهانی بدل گشته است (حسینعلی‌پور و حقیقی، ۱۳۸۹). این بحران که با عرضه‌ی بسیار کم و تقاضای بسیار بالا مشخص می‌شود (Kedir & Hall, 2021)، اقتصادهای نوظهور و توسعه‌یافته را به چالش کشیده است(Dave et al, 2017). ازاین‌رو با توجه به ناکارآمدی روش‌های سنتی ساخت (حسینعلی‌پور و حقیقی، ۱۳۸۹) در برآوردن الزامات کمی و کیفی مسکن (Shen et al., 2019)، استفاده از سیستم‌های ساختمانی صنعتی، غیرقابل اجتناب است. در صورت حرکت به سمت صنعتی‌سازی[1]، با استفاده از مدل علمی و کاربردی مؤثر، نه‌تنها توانایی پاسخگویی به تقاضای فعلی جامعه وجود خواهد داشت، بلکه بر سرعت، کیفیت و هزینه تمام‌شده‌ی ساختمان نیز تأثیرات مثبت بسیاری خواهد گذاشت (هروی و لایقه، ۱۳۹۶).مقصود از صنعتی‌سازی ساختمان، انتقال از روش ساخت‌وساز سنتی به روش اجرای صنعتی است (نوذری و رفیع‌زاده، ۱۳۸۳). این اصطلاح برای توصیف و دربرگرفتن مفاهیم مدول‌سازی، پیش‌ساخته‌سازی[2]و مونتاژ به‌کار رود و به مفهوم هزینه‌کردن در تجهیزات، امکانات و تکنولوژی با هدف افزایش خروجی، کاهش کار دستی و ارتقای کیفیت می‌باشد(آصفی و همکاران، ۱۳۹۶). پیش‌ساخته‌سازی یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌های صنعتی‌سازی ساختمان است که در آن با اتخاذ رویکرد ساخت‌وساز خارج از محل[3]، اجزای یک ساختمان در محیط کنترل‌شده‌ی کارخانه تولید و سپس برای مونتاژ و نصب نهایی به یک سایت منتقل می‌شوند (Gatheeshgar et al., 2020). این نوع تکنیک ساخت‌وساز مفهوم جدیدی نیست و در کشورهایی چون ایالات‌متحده، ژاپن، سوئد، بریتانیا، استرالیا، آلمان، هلند، چین و هنگ‌کنگ مهروموم‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات تجربی نشان داده‌اند ساختمان‌سازی به شیوه‌ی صنعتی ضمن برخورداری از کیفیت بالاتر و نیروی کار کم‌تر (Ferdous et al., 2019)، به مقادیر کم‌تری از مصالح ساختمانی نیاز داشته و به‌طور قابل توجهی ضایعات ساختمانی را کاهش می‌دهد (Shen et al., 2019). بهبود موارد زیست‌محیطی در سایت، کاهش میزان آلودگی‌های صوتی، بهبود ایمنی و بهداشت، بهبود مدیریت سایت، سهولت و سادگی ساخت‌وساز، کاهش زمان ساخت‌وساز و صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه ازجمله مهم‌ترین مزایای پیش‌ساخته‌سازی عنوان شده‌اند (هروی و لایقه، ۱۳۹۶). بااین‌حال، مزیت اصلی این روش، ناشی از فرایند ساخت سریع آن است (Ferdous et al, 2019). این مزایا در بسیاری از کشورها از جمله ایران، انگیزه‌ی فزاینده‌ای برای بهره‌گیری از صنعتی‌سازی و سرمایه‌گذاری در این خصوص ایجاد کرده است. به‌منظور بهره‌مندی از مزایای کامل این فناوری، در نظرگرفتن مؤلفه‌های مؤثر در طراحی از اهمیت فراوانی برخوردار است. مطالعات فراوانی تلاش کرده‌اند تا به شناسایی و بررسی این مؤلفه‌ها در بسترهای زمانی و مکانی متفاوت بپردازند. در پژوهشی کائو و همکاران (۲۰۱۵) از مؤلفه‌های مربوط به محیط زیست در طراحی مسکن پیش‌ساخته در سه بخش صرفه‌جویی در بهره‌گیری از منابع، کاهش اثرات محیط‌زیستی و کاهش ضایعات سخن می‌گویند. لوپز و فروئز (۲۰۱۶) با مقایسه‌ی هزینه‌های پیش‌ساخته‌سازی مدولار و پانلی، با نگاهی اقتصادی به این موضوع پرداخته‌اند. شن و همکاران (۲۰۱۹) با جمع‌آوری اطلاعات از پرسشنامه‌های پژوهش، مباحث محیط‌زیستی و اقتصادی را بررسی می‌کنند. در تعدادی از پژوهش‌ها با معرفی یک واحد پیش‌ساخته در بستری مشخص، به جنبه‌های متعددی از طراحی اشاره شده است. گارسیا مارتین و همکاران (۲۰۱۵)، ترادوس و همکاران (۲۰۱۵) و سیدیک و همکاران (۲۰۲۱) به برخی از مؤلفه‌های محیط‌زیستی، اقلیمی و فنی اشاره نموده‌اند. گاسیشگر و همکاران (۲۰۲۰) نیز با بررسی یکی از اجزای ساختمان پیش‌ساخته با نگاهی فنی مؤلفه‌های مؤثر در طراحی را بیان کرده‌اند. اقبالی و حصاری (۱۳۹۲) نیز نگاهی کارکردی به پیش‌ساخته‌سازی داشته‌اند. علی‌رغم نگاه چندجانبه در برخی مطالعات، فقدان نگاه جامع به مؤلفه‌ها و چارچوب مشخص برای دسته‌بندی آنها به چشم می‌خورد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با تکیه بر منابع معتبر داخلی و خارجی و از طریق بررسی جامع مؤلفه‌ها و تشکیل یک چارچوب مفهومی یکپارچه، به شکاف تحقیقاتی موجود پرداخته و مبنایی را برای پیشنهاد استراتژی‌های بهبود طراحی مسکن پیش‌ساخته فراهم می‌کند. با توجه به هدف این پژوهش، سؤال پژوهش را می‌توان چنین تبیین نمود: در طراحی مسکن پیش‌ساخته چه مؤلفه‌هایی باید مورد توجه قرار بگیرند؟ کدام‌یک از مؤلفه‌ها بیشتر مورد تأکید و تکرار قرارگرفته‌اند و اولویت‌بندی آنها چگونه است؟

روش پژوهش

این پژوهش کاربردی، به‌منظور بررسی مطالعات در حوزه‌ی مؤلفه‌های طراحی مسکن پیش‌ساخته از روش مرور سیستماتیک بهره گرفته است. مرور سیستماتیک[4]، ابزاری قدرتمند برای تعیین مرز پژوهش‌های موجود در خصوص یک مسئله است. شناخت مؤلفه‌های مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته با تمرکز بر دانش کمی و کیفی آنها در ایران و جهان از اهداف این مقاله بوده است. پس از بیان مسئله، مرور با گزینش پایگاه‌های داده‌ی معتبر داخلی و خارجی و جست‌وجوی ادبیات پیش رفت. *Web of Science*، *science Direct* و *Scopus* به‌منظور پوشش‌دهی منابع خارجی بین مهروموم‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ مورد استفاده قرار گرفتند. جست‌وجو در این سه پایگاه با استفاده از ترکیب دو گروه کلمات «industrialized, industrialization, prefabricated, prefabrication, modular» و «dwelling, apartment, residential building, housing» صورت گرفت که علی‌رغم تحدید نوع سند به مقاله، در زبان مقالات قیدی اعمال نگردید. جست‌وجو در منابع داخلی نیز، با ترکیب دو گروه کلمات «سریع‌سازی، پیش‌ساخته، پیش‌ساخته‌سازی، صنعتی، صنعتی‌سازی» و «مسکن، خانه» در پایگاه‌های اطلاعاتی *Sid*، *Magiran* و *Civilica* طی مهروموم‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ انجام شد؛ جدول (۱) ترکیب کلیدواژه‌های یادشده در قالب استراتژی جست‌وجوی پژوهش را نشان می‌دهد. انتخاب مقالات در پایگاه اطلاعات داخلی به مقالات ژورنالی در مجلات گرید الف و ب محدود شده است. پس از جست‌وجوی اولیه در پایگاه‌ها، در مجموع ۱۱۴۴ مقاله خارجی و ۷۴۷ مقاله داخلی به‌دست آمد. در ابتدای امر، موارد تکراری حذف و سپس عنوان و چکیده‌ی ۱۶۱۱ مقاله باقی‌مانده به‌دقت مطالعه و مقالات غیرمرتبط

از فرایند خارج گردید. در نهایت متن کامل مقالات مرتبط احتمالی بررسی و ۶۴ مقاله خارجی و ۷ مقاله داخلی برای تنظیم مؤلفه‌ها، انتخاب گردیدند. تصویر(۱) جزئیات این فرآیند را براساس فلوچارت پریزما[۵] نشان می‌دهد. شرط ورود مطالعات به فرایند غربالگری، استخراج از پایگاه‌های اطلاعاتی مذکور بر اساس کلیدواژه‌ها در بازه‌های زمانی مورد اشاره و ملاک خروج، عدم ارتباط کافی به موضوع و عدم دسترسی به متن کامل آنها بوده است. ملاک خروج در پروسه‌ی غربالگری نیز عدم ارتباط به سؤال پژوهش می‌باشد. به‌منظور جلوگیری از سوگیری، تمام مراحل استخراج و بررسی منابع توسط دو پژوهشگر و به‌صورت مستقل از هم انجام گرفت و در صورت اختلاف‌نظر بین دو پژوهشگر، مقالات توسط فرد سوم بررسی شد. با جمع‌آوری منابع پژوهش، به‌منظور استخراج مؤلفه‌های مؤثر در طراحی، رویکرد فراترکیب اتخاذ گردید. فراترکیب[۶] یکی از اقسام روش‌های فرامطالعه است که به بررسی سیستماتیک و ادغام یافته‌های مطالعات کیفی در جهت رسیدگی به سؤال تحقیق اشاره دارد. وونی و همکاران (۲۰۲۰) از این رویکرد به‌منظور شناسایی موانع پذیرش ساخت‌وساز مدولار بهره گرفته‌اند. در پژوهش حاضر از الگوی فراترکیب سندلوسکی و باروس که در دنیا و به‌ویژه کشور ایران پرکاربرد است، استفاده گردید. این الگو شامل هفت مرحله است که عبارت‌اند از: ۱. تنظیم سؤال پژوهش، ۲. مرور سیستماتیک ادبیات، ۳. جست‌وجو و انتخاب متون مناسب، ۴. استخراج اطلاعات پژوهش، ۵. تجزیه‌وحلیل و ترکیب داده‌ها، ۶. کنترل کیفی و ۷. ارائه یافته‌ها (ایزدی و عباسپور، ۱۳۹۹).

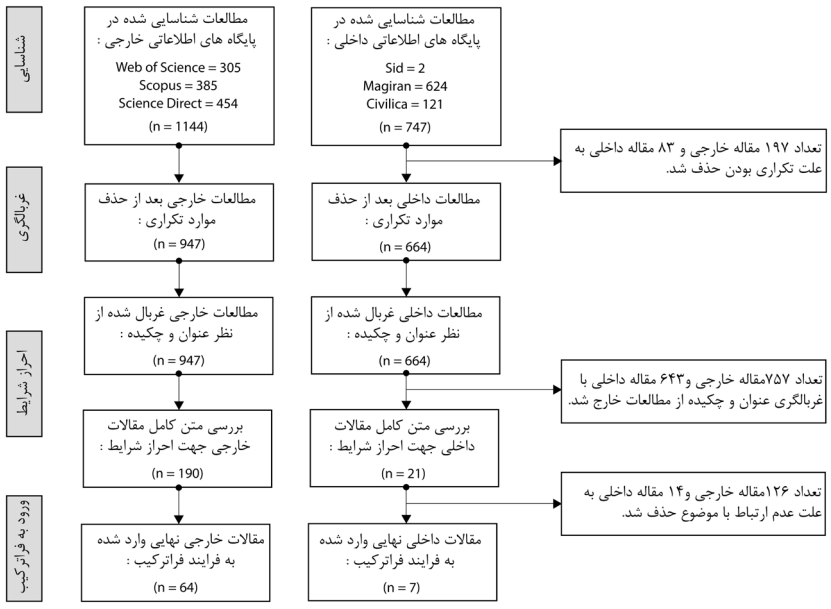
تمرکز این تحقیق، شناسایی، تجمیع و کدگذاری مؤلفه‌هاست. با بررسی منابع یادشده، کلیه‌ی مؤلفه‌های استخراج‌شده مورد مقایسه قرارگرفته و موارد مشابه ادغام و بازنویسی شدند. مراجعه به مقالات صاحبه‌نظر، اختلاف‌نظر بین نویسندگان را مرتفع نموده و در نهایت، مؤلفه‌های مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته، شناسایی شدند که در هفت گروه متشکل از محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی، کارکردی، اجتماعی-فرهنگی، زیبایی‌شناسی کالبدی و اقلیمی قرار گرفتند که علاوه بر تشکیل چارچوب مفهومی یکپارچه، مبنایی را برای پیشنهاد استراتژی‌های بهبود طراحی مسکن پیش‌ساخته فراهم می‌کند. به‌منظور بررسی پایایی و قابل اعتماد بودن نتایج نیز از ضریب کاپای کوهن استفاده گردیده‌است که در پژوهش حاضر این ضریب در سطح معناداری ۰/۰۰۷، برابر با ۰/۷۵۰ بوده و پایایی پژوهش را تائید می‌نماید.

پیشینه پژوهش

در پژوهشی کائو و همکاران (۲۰۱۵) از مؤلفه‌های مربوط به محیط زیست در طراحی مسکن پیش‌ساخته در سه بخش صرفه‌جویی در بهره‌گیری از منابع، کاهش اثرات محیط زیستی و کاهش ضایعات سخن می‌گویند. لوپز و فروئز (۲۰۱۶) با مقایسه‌ی هزینه‌های پیش‌ساخته‌سازی مدولار و پانلی، با نگاهی اقتصادی به این موضوع پرداخته‌اند. شن و همکاران (۲۰۱۹) با جمع‌آوری اطلاعات از پرسشنامه‌های پژوهش، مباحث محیط-زیستی و اقتصادی را بررسی می‌کنند. در تعدادی از پژوهش‌ها با معرفی یک واحد پیش‌ساخته در بستری مشخص، به جنبه‌های متعددی از طراحی اشاره شده است. گارسیا مارتین و همکاران (۲۰۱۵)، ترادوس و همکاران (۲۰۱۵) و سیدیک و همکاران (۲۰۲۱) به برخی از مؤلفه‌های محیط زیستی، اقلیمی و فنی اشاره نموده‌اند. گاسیشگر و همکاران (۲۰۲۰) نیز با بررسی یکی از اجزای ساختمان پیش‌ساخته با نگاهی فنی مؤلفه‌های مؤثر در طراحی را بیان کرده‌اند. اقبالی و حصاری

جدول ۱- استراتژی جست‌وجو در پایگاه‌های داده‌ای داخلی و خارجی.

پایگاه داده ای	استراتژی جست و جو
Web of Science, Scopus, Science Direct	Title , Abstract & Key : prefabricated housing , modular housing , industrialized housing , housing industrialization , housing prefabrication , prefabricated residential building , industrialized residential building , prefabricated apartment , modular apartment , prefabricated dwelling
Sid, Magiran, Civilica	عنوان ، چکیده و کلیدواژه : مسکن صنعتی، مسکن پیش‌ساخته، خانه پیش‌ساخته، سریع‌سازی مسکن، صنعتی‌سازی مسکن، پیش‌ساخته‌سازی در مسکن



تصویر ۱- فلوچارت پریزما برای انتخاب مطالعات و ورود به سنتز نهایی.

(۱۳۹۲) نیز نگاهی کارکردی به پیش‌ساخته‌سازی داشته‌اند.

مبانی نظری پژوهش

۱- یافته‌ها

۱-۱. تحلیل کمی

۱-۱-۱. روند زمانی مطالعات

مطابق نمودارهای (۱-۲) علی‌رغم روند سینوسی الگوی انتشارات سالانه که از افزایش مطالعات در برخی دوره‌ها حکایت دارد، سیر صعودی تحقیقات در داخل و خارج از کشور جالب توجه است.

۱-۱-۲. توزیع جغرافیایی

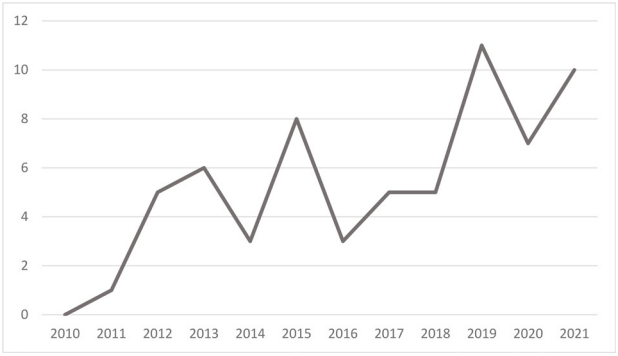
غالب تحقیقات بین‌المللی پیش‌ساخته‌سازی در مسکن به ترتیب در قاره‌های آسیا، اروپا و آمریکا انجام شده است. نمودار (۳) حاکی از آن است که در میان کشورهای حاضر در این زمینه، چین با اختلاف قابل توجهی پیشگام است. کشورهای انگلستان، روسیه، ایالات‌متحده و کره نیز بخش قابل توجهی از مطالعات را به خود اختصاص داده‌اند. این کشورها بخشی از خط مقدم اصلی جنبش ساخت‌وساز صنعتی را تشکیل می‌دهند که دربردارنده‌ی اقتصادهای درحال‌توسعه (مانند چین، مالزی) و توسعه‌یافته (مانند انگلستان، ایالات‌متحده آمریکا) می‌باشد.

۱-۲. تحلیل محتوایی

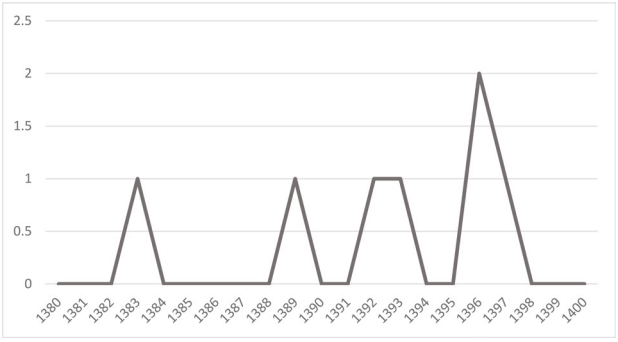
بررسی محتوایی مطالعات از تجزیه‌وتحلیل و ترکیب داده‌ها به‌منظور استخراج مؤلفه‌های مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته حکایت دارد. علی‌رغم تنوع مطالعات از حیث روش تحقیق و رویکرد، بهره‌گیری از استدلال کل‌نگر در مطالعه‌ی حاضر، ادغام همه‌ی مؤلفه‌ها در یک چارچوب مفهومی واحد را توجیه‌پذیر می‌نماید. بر اساس یک چارچوب طبقه‌بندی گسترده، مؤلفه‌ها در هفت گروه متشکل از محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی، کارکردی، اجتماعی-فرهنگی، زیبایی‌شناسی کالبدی و اقلیمی طبقه‌بندی شدند. طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی زیرمؤلفه‌ها نیز بر اساس تفاوت مؤلفه‌های هر گروه از حیث الزام یا توصیه در به‌کارگیری به همراه نگاه متفاوت راهبردی یا راهکاری آن صورت گرفته است که اولویت‌بندی به‌کارگیری مؤلفه‌ها را تسهیل نموده و طراح را از سردرگمی می‌رهاند. البته نویسندگان به این موضوع واقف‌اند که طبقه‌بندی مؤلفه‌ها ذهنی[۷] بوده و به معنای جدایی کامل آنها از یکدیگر نمی‌باشد چراکه امکان همپوشانی بین گروه‌ها نیز وجود دارد (Wuni & Shen, 2022; Zarrabi et al., 2020). گروه‌بندی و جزئیات مؤلفه‌ها در ادامه شرح داده شده است. نظر به تعدد مؤلفه‌ها در گروه‌های هفت‌گانه و به‌منظور پرهیز از طولانی‌شدن مطالب، شرح جداول اصلی متشکل از جزئیات ریزمؤلفه‌ها، در پیوست ارائه گردیده که برای نمونه، شرح جدول مؤلفه‌های گروه محیط زیستی ارائه شده است. البته ذکر این نکته ضروری است نمودار مؤلفه‌های پرتکرار به تفکیک هر گروه، به همراه توضیحات مندرج در متن، گویای مطلب خواهد بود.

۱-۲-۱. مؤلفه‌های محیط‌زیستی

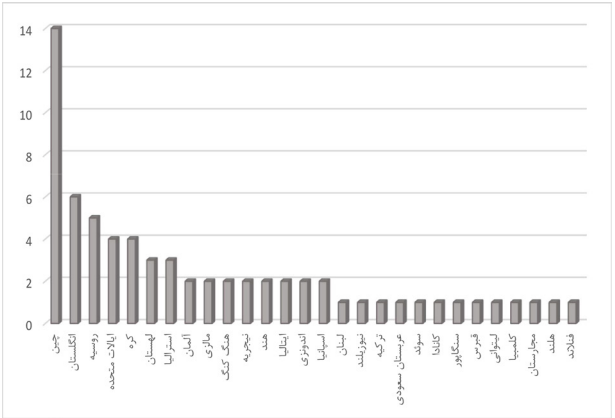
علی‌رغم سهم قابل توجه ساخت‌وساز در توسعه‌ی محیط ساخته‌شده، فعالیت‌های ساختمانی ذاتاً برای محیط زیست مضر بوده (Ahmad Bari et al., 2012) و به‌عنوان عاملی در تخریب آن تلقی می‌گردد. بااین‌حال صنعتی‌سازی در سراسر جهان، در جهت تقلیل اثرات منفی مرتبط با محیط‌زیست و جامعه مورد توجه قرار گرفته است (Lu & Yuan, 2013) بررسی مؤلفه‌های محیط‌زیستی از تقسیم‌بندی آنها در سه بخش صرفه‌جویی در بهره‌گیری از منابع، کاهش اثرات محیط‌زیستی و کاهش ضایعات حکایت دارد (تصویر ۲) که کائو و همکاران (۲۰۱۵) و یو و همکاران (۲۰۲۱) نیز، پیش‌ازاین به این ساختار اشاره نموده‌اند. با توجه به رقابت شدید برای منابع کمیاب در بازار رقابتی عصر حاضر و نیاز هرگونه فعالیت ساختمانی به مصرف منابع (Liu et al., 2021)، استفاده مسئولانه از آن برای دستیابی به کاهش اثرات محیط‌زیستی ضرورت دارد (Iuorio et al., 2019a). صرفه‌جویی در بهره‌گیری از منابع از چهار بخش انرژی، مصالح، آب و زمین تشکیل شده که بنابر نمودار (۴) صرفه‌جویی در مصرف انرژی پرتکرارترین مؤلفه‌ی محیط زیستی



نمودار ۱- روند تغییر تعداد مطالعات پیش‌ساخته‌سازی مسکن در خارج از ایران طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۰.

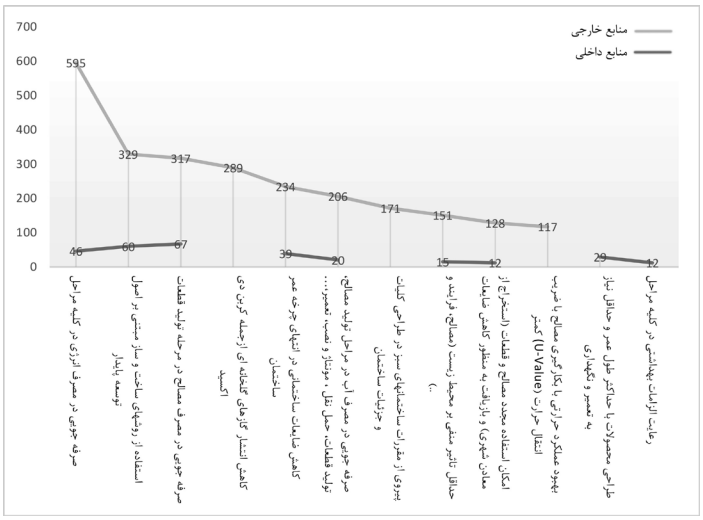


نمودار ۲- روند تغییر تعداد مطالعات پیش‌ساخته‌سازی مسکن در داخل ایران طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۴۰۰.



نمودار ۳- فراوانی مطالعات بین‌المللی پیش‌ساخته‌سازی در مسکن به تفکیک کشور.

در منابع خارجی این پژوهش بوده و در منابع داخلی نیز از فراوانی بالایی برخوردار است. بخش دوم تحت عنوان کاهش اثرات محیط زیستی متشکل از تأثیر بر اکوسیستم و تأثیر بر سلامت انسان است که ۳۵٪ فراوانی مؤلفه‌ها به آن تعلق دارد. استفاده از روش‌های ساخت‌وساز مبتنی بر اصول توسعه‌ی پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ازجمله کربن‌دی‌اکسید که در زمره‌ی مؤلفه‌های پرتکرار قرار دارند به این بخش اختصاص دارند. بخش سوم تحت عنوان کاهش ضایعات، از فراوانی کم‌تری برخوردار است. ضایعات ساختمانی که در طول فرایند تولید تا تخریب ایجاد می‌شوند، تقریباً ۱۰-۳۰٪ از کل زباله‌های دفنی را تشکیل می‌دهند (Ferdous et al., 2019). استفاده از پیش‌ساخته‌سازی یکی از مؤثرترین روش‌های به حداقل‌رساندن ضایعات در این صنعت می‌باشد (هروی و لایقه، ۱۳۹۶). بعلاوه با توجه به



نمودار ۴- مؤلفه‌های محیط زیستی پرتکرار به تفکیک منابع داخلی و خارجی.

انعطاف پذیری							
معیارهای پذیری استقلال			مولفه	فراوانی در منابع خارجی	فراوانی در منابع داخلی	مجموع	
تأمین گونه های انعطاف پذیری	هندسه	توسعه ای	انعطاف پذیری در مقیاس خرد : درون ماژولی	۸	۱	۹	۱۷
			انعطاف پذیری در مقیاس کلان : بین ماژولی که میتواند نوع و تناسب واحدهای مسکونی را تغییر دهد	۷	۱	۸	
	تنوع پذیری	انعطاف پذیری	انعطاف پذیری متناسب با تقاضای کاربر	۱۷۳	۹۷	۲۷۰	۵۷۷
			پوشش دادن جنبه های مختلف زندگی خانوادگی	۹	۵	۱۴	
			قابلیت تبدیل فضایی فوری برای تطبیق با برنامه های فعالیت و استفاده روزانه ساکنان	۸	۱	۹	
			قابلیت تغییر جیدمان اجزای داخلی متناسب با تغییرات تناوبی و منظم در ساختار خانواده	۳۳	۹	۴۲	
		توسعه ای	دستیابی به تنوع فرم و چیدمان با استفاده از قطعات و رابط هایی که برای نقشهای متعدد طراحی شده اند	۵	۰	۵	
	تطبیق پذیری (سازگاری)	انعطاف پذیری	سازگاری با نیازهای خانواده های چندنسلی	۲۸	۱	۲۹	
			طراحی بر اساس ترجیحات مشتریان با نیازهای متغیر و زمینه های مختلف	۱۲	۲۸	۴۰	
			سهولت جابجایی، تغییر و تعویض اجزا برای هر نوع خانواده	۳۰	۴	۳۴	
			پیش بینی عملکرد فضاها در کل چرخه عمر و فراهم کردن قابلیت تنظیمات و تغییرات فضای داخلی برای سازگاری با عملکرد و کاربری جدید	۳۱	۲۲	۵۳	
			قابلیت انجام تغییرات فیزیکی متناسب با عوامل و محیط درحال تغییر نظیر تغییرات فصلی و شبانه روزی	۸	۹	۱۷	
		توسعه ای	قابلیت انطباق تغییرات(انعطاف پذیری) با سازه موجود (از جمله ساختمانهایی که مورد بازسازی قرار میگیرند)	۸	۰	۸	
			قابلیت تطبیق با انواع متریال	۱	۰	۱	
	تغییرپذیری	انعطاف پذیری	قابلیت تغییر مساحت واحد مسکونی	۱۹	۲	۲۱	
			قابلیت تغییر ابعادی و هندسی فضاها (عمودی و افقی) برای دستیابی به تنوع ارتفاعی و فضایی	۲۹	۵	۳۴	۷۳۰
تأمین ملزومات انعطاف پذیری	ساختار	توسعه ای	استفاده از هندسه های با قابلیت ارائه انعطاف فضایی	۲	۰	۲	۱۳۶
			تفکیک ساختمان به دو بخش ؛ ساختار اصلی سازه ای برآورده کننده الزامات سازه ای ساخت و ساز + ساختار پرکننده پاسخگوی انعطاف پذیری	۳۹	۱	۴۰	
		انعطاف پذیری	استفاده از پلان باز برای طرح آزاد پلان	۲۳	۴	۲۷	
			کاهش تعداد دیوارهای باربر داخلی به منظور امکانپذیری تغییرات مرتبط با انعطاف پذیری	۱۳	۴	۱۷	
			قرارگیری خط محیطی نما در داخل یا خارج آخرین خط ستون برای پوشایی و تنوع فضاهای داخلی و پیکربندی آزادانه نما	۳	۱	۴	
			استفاده از عرشه های پیش ساخته با دهانه های بزرگتر	۴	۴	۸	
		توسعه ای	بهینه سازی ابعاد پانل ها به منظور تناسب با طراحی پلان	۳	۰	۳	
			استفاده از مدولاریته برای سهولت تغییر در پیکربندی	۹	۲	۱۱	
			تعیین نقاط ساختاری انعطاف پذیر برای استقرار سیستم ها و اجزای جدید	۱	۰	۱	
			انعطاف پذیری سازه برای پاسخ به نیازهای مختلف	۰	۲	۲	
			قابلیت تفکیک اجزا جهت انطباق با نیاز آینده	۰	۳	۳	
		انعطاف پذیری	ترکیب فضاهای داخلی با عناصر پیش ساخته کوچک مقیاس برای انطباق با کاربردهای خاص	۱	۰	۱	
			ادغام ساخت و ساز مدولار و دیجیتال برای انطباق با محیط در حال تغییر	۳	۰	۳	
	تجهیزات	توسعه ای	استفاده از تجهیزات انعطاف پذیر	۲	۰	۲	
	مبلمان	انعطاف پذیری	استفاده از مبلمان انعطاف پذیر	۷	۵	۱۲	

سازماندهی فضایی					
		مولفه	فراوانی در منابع خارجی	فراوانی در منابع داخلی	مجموع
فراکمی	راهبرد	ساماندهی فضایی مناسب	۱۲	۳	۱۵
		وضوح مورفولوژی چارچوب فضایی و ساختمان	۱	۰	۱
		رعایت سلسله مراتب در عرصه بندی فضایی	۱	۵	۶
		درنظر گرفتن منطقه بندی فعالیت برای اطمینان از استقلال فضا در عین ارتباط و اتصال آن به فضاهای دیگر به منظور بهبود کارایی	۲	۴	۶
		سیالیت فضایی	۰	۵	۵
		خلق فضا با رعایت اصل ترکیب در ارتفاع و پلان	۷	۰	۷
	راهکار	تامین استانداردهای فضایی با بهره گیری از استانداردهای آنتروپومتریک (ابعاد بدن انسان ، نحوه انجام فعالیت ها)	۸	۱	۹
		ساده سازی شکل واحد ها	۷	۶	۱۳
		استانداردسازی ابعادی	۱۱	۵	۱۶
		استانداردسازی عملکردها	۶	۰	۶
		استانداردسازی عناصر	۱۱	۲	۱۳
توسعه ای	راهکار	استفاده ترکیبی از پانلها، مدولها و قابها برای برخورداری از آزادی عمل در ساماندهی فضایی	۱۰	۰	۱۰
		ارائه طرح برای پارتیشن بندی کاربری در راستای ترکیب فضاها	۴	۱	۵
		قرارگیری فضاهای خدماتی و ارتباطی در مرکز برای بهره وری حداکثری از فضاهای زندگی	۱	۴	۵
		بهینه سازی تعداد مدول ها برای ساخت حداکثر مساحت مفید مجاز	۴	۰	۴
		استفاده از BIM برای بررسی انواع ترکیبات سیستم سازه ای- معماری ، تاسیسات و جلوگیری از برخورد آنها (طراحی و ساخت مجازی)	۲۲	۳	۲۵

کاربرمحوری					
		مولفه	فراوانی در منابع خارجی	فراوانی در منابع داخلی	مجموع
مشارکت پذیری	راهبرد	محوریت کاربر و مردم واری	۲۱	۳	۲۴
شامل سازی	فراکمی	توجه به نیاز افراد دارای معلولیت،نابینا و ناشنوا	۵	۰	۵
قابلیت مشارکت کاربر	راهبرد	افزایش قابلیت مشارکت کاربران در فرایند طراحی و ساخت	۳۴	۳۴	۶۸
	توسعه ای	شناسایی نقطه دخالت و مشارکت کاربر و آزادگذاشتن او در آن	۸	۴	۱۲
	راهکار	پیش بینی فضاهای بالقوه برای مشارکت کاربر	۰	۱	۱
زیست پذیری	راهبرد	بهبود کیفیت و استانداردهای زندگی برای ساکنین	۴۲	۹	۵۱
	فراکمی	قابل سکونت کردن خانه از نظر فاکتور راحتی	۴۱	۳	۴۴
سبک زندگی	فراکمی	توجه به سبک و روش زندگی کاربران و فضاهای موردنیاز آنها	۱۷	۱۱	۲۸
	راهبرد	بررسی نوع ، جزایی و چگونگی انجام فعالیت به منظور درنظر گرفتن اهمیت هر فعالیت به عنوان نیروی محرکه طراحی برای هر کاربر	۵	۸	۱۳
	راهکار	تعریف روابط بین انسان و اشیا در جهت تعامل بین ساکنان، فضاها و فعالیت‌ها	۲	۰	۲
		طراحی ابعاد قطعات متناسب با فعالیت ها و عادات ساکنین (دید ارگونومیک)	۵	۰	۵
		طراحی ابعاد قطعات متناسب با نیاز روانشناختی ساکنین (دید روانشناختی)	۸	۰	۸
سفارشی سازی انبوه	راهبرد	سفارشی(شخصی) سازی انبوه قطعات	۶۵	۱۴	۷۹
	فراکمی	استانداردسازی شخصی (قابلیت طراحی شخصی برای کاربر)	۵۱	۴	۵۵
	راهکار	تفکیک لایه های ساخت و ساز به ۲ بخش ؛ ۱. شخصی سازی لایه‌های ساخت‌وسازی که برای مشتریان حیاتی هستند ۲. تولیدانبوه لایه‌هایی که نیازی به شخصی‌سازی ندارند	۵	۶	۱۱
		استفاده از مدولاریته برای سفارشی سازی انبوه با تفکیک مدولها در۳ بخش ؛ مدول پایه (اصلی و مشترک) + مدول پشتیبان(اتصال و بست) + مدول شخصی (خواسته خاص مشتری) با توجه به عملکرد	۷	۰	۷
		قابلیت سفارشی سازی با ارائه طرح های قابل تنظیم (با قابلیت شخصی‌سازی آسان)	۵۴	۱	۵۵
توسعه ای	راهبرد	قابلیت تنظیم درجه سفارشی سازی برای تنظیم میزان دخالت مشتری	۱۲	۲	۱۴
	راهکار	استفاده از سیستم پیکربندی مبتنی بر وب برای بهره گیری از استرانژی سفارشی سازی انبوه	۹	۰	۹
دادن قدرت انتخاب به کاربر	فراکمی	ارائه گزینه های متنوع در قالب کاتالوگ مسکن برای پوشش سلیقه های مختلف	۳۴	۴	۳۸
		تنوع گزینه ها و ارتقای کارایی طراحی پلان به واسطه تنوع پلان و مدولها	۳۸	۰	۳۸
	راهکار	ارائه انواع طرح های جایگزین برای نما و چیدمان و ...	۸	۳	۱۱
		طراحی قطعات جایگزین بر اساس تقاضای مشتری	۱۱	۳	۱۴
توسعه ای	راهکار	استفاده از BIM برای ساخت کتابخانه مدول اطلاعاتی در جهت تامین تنوع مورد نیاز کاربر (انتخاب و ترکیب و جایگزینی مدولهای برای رسیدن به پیکربندی نهایی)	۲۱	۰	۲۱

تصویر ۲- مؤلفه‌های محیط زیستی مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته.

تجمع بیش‌ازحد مصالح و قطعات در پیکره‌ی ساختمان‌ها (Erduran, 2020) و قابلیت جداسازی آن در ساختمان‌های پیش‌ساخته (Huuhka et al., 2015)، ارزش‌گذاری ساختمان‌های موجود به‌عنوان ذخایر ثانویه‌ی مصالح ساختمانی پیشنهاد می‌گردد؛ ازاین‌رو این نوع ساختمان‌ها در پایان عمر خود پتانسیل بالایی برای بازیابی و استفاده‌ی مجدد قطعات دارند (Erduran, 2020). کاهش ضایعات ساختمانی در انتهای چرخه عمر ساختمان و امکان استفاده‌ی مجدد قطعات و بازیافت آنها از پرتکرارترین مؤلفه‌های محیط‌زیستی در میان منابع است.

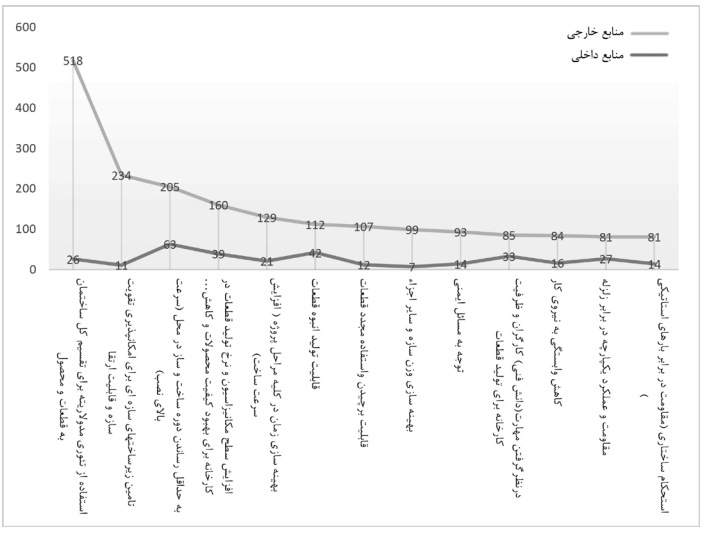
۱- ۲- ۲. مؤلفه‌های فنی

مؤلفه‌های فنی مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته در قالب نه بخش، قابل بررسی‌اند که عبارت‌اند از: صنعتی‌سازی قطعات، مقاومت ساختاری، لجستیک، تکرارپذیری اجزاء، بهینه‌سازی، لجستیک معکوس، ترمیم، تعمیر و بازسازی، عملکرد اتصالات و لایه‌بندی اجزاء. مؤلفه‌های سه گروه صنعتی‌سازی قطعات، مقاومت ساختاری و لجستیک به ترتیب پرتکرارترین بخش‌ها بوده و در مجموع، ۶۱٪ فراوانی را به خود اختصاص می‌دهند. مطابق با نمودار (۵) پرتکرارترین مؤلفه‌ی فنی، استفاده از تئوری مدولاریته برای تقسیم‌بندی اجزای ساختمان می‌باشد که به‌تنهایی ۱۲٪ فراوانی این گروه را به خود اختصاص داده است و در دسته‌ی تکرارپذیری اجزاء قرار گرفته است. با به‌کارگیری فناوری مدولار، کوتاه‌شدن دوره‌ی ساخت و کاهش هزینه‌ی نیروی کار را شاهد خواهیم بود (Lee & Kim, 2013). در قیاس با روش ساخت‌وساز سنتی، حجم عملیات در سایت حدود ۲۰ درصد خواهد بود که به‌طور قابل توجهی کم‌تر می‌باشد (Lopez & M Froese, 2016). از سوی دیگر به دلیل پتانسیل سهولت جداسازی قطعات در ساخت‌وساز مدولار، این نوع ساختمان‌ها به اجزای تشکیل‌دهنده خود فرصت‌هایی برای استفاده مجدد، بازسازی و بازیافت فراهم می‌کنند (Dharmawan & Alviano, 2019). بعلاوه تولید ایمن‌تر، کیفیت بهتر، اتلاف کم‌تر منابع و سازگاری بیشتر با محیط زیست نیز از جمله‌ی مزایای به‌کارگیری مدولاسیون است (Ferdous et al., 2019).

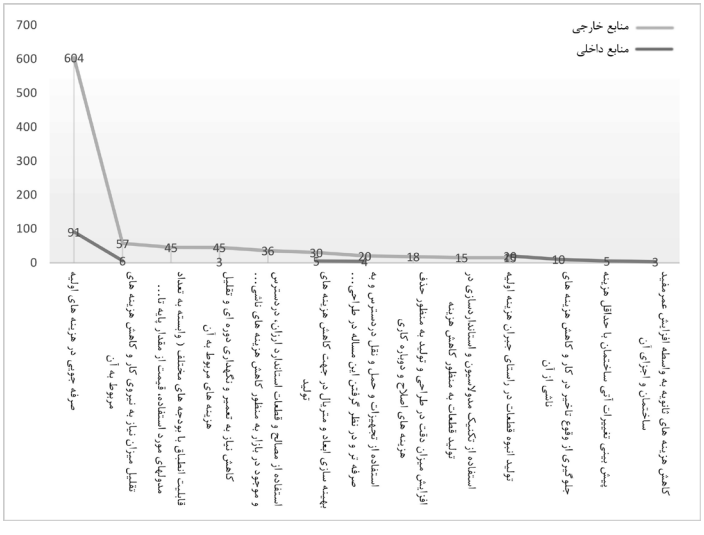
تأمین زیرساخت‌های سازه‌ای برای امکان‌پذیری تقویت سازه و قابلیت ارتقا، به حداقل رساندن دوره‌ی ساخت‌وساز در محل (سرعت بالای نصب)، افزایش سطح مکانیزاسیون و نرخ تولید قطعات در کارخانه برای بهبود کیفیت محصولات و کاهش خطای انسانی، بهینه‌سازی زمان در کلیه‌ی مراحل پروژه (افزایش سرعت ساخت) و قابلیت تولید انبوه قطعات، به ترتیب مؤلفه‌های پرتکرار بعدی هستند. در طول سال‌ها، صنعت ساخت‌وساز به‌عنوان صنعتی خطرناک، آلاینده و نیازمند نیروی کار فشرده، در نظر گرفته می‌شد. در روش‌های سنتی ساخت‌وساز که دارای بالاترین سطح جراحات و تلفات است، کیفیت کار خروجی به توانایی کارگران ماهر و نیمه ماهر وابسته است (Ahmad Bari et al., 2012). پیش‌ساخته‌سازی با افزایش استفاده از اتوماسیون، خطای انسانی را کاهش داده و زمینه‌ی کنترل کیفیت بهتری در محیط تولید کارخانه نسبت به شرایط ساخت‌وساز در محل امکان‌پذیر می‌نماید (Cao et al., 2015). این فناوری، اطمینان حاصل می‌کند که قطعات و واحدهای پیش‌ساخته در شرایطی به سایت می‌رسند که قبل یا در حین مونتاژ نیاز به کار اصلاحی کمی داشته و در نتیجه زمان ساخت کاهش می‌یابد (Oorschot et al., 2021).

۱- ۲- ۳. مؤلفه‌های اقتصادی

به‌طورکلی مؤلفه‌های اقتصادی این پژوهش در قالب دو ردیف کاهش هزینه‌های اولیه و کاهش هزینه‌های ثانویه قابل دسته‌بندی‌اند. جالب توجه آنکه درصد وزنی مؤلفه‌ها در ردیف هزینه‌های اولیه ۹ برابر مؤلفه‌های موجود در ردیف کاهش هزینه‌های ثانویه است که بر اهمیت بلامنازع آن دلالت دارد. والتر گروپیوس در مقاله خود (مجموعه ۱۹۴۳-۱۹۵۵) از کاهش هزینه‌ی ساخت مسکن به‌عنوان یکی از اصول پیش‌ساخته‌سازی یاد می‌کند و بر این عقیده است که این موضوع برای بودجه‌ی ملی اهمیت تعیین‌کننده‌ای دارد (Tofiluk et al., 2019). مطابق با نمودار (۶)، صرفه‌جویی در هزینه‌های اولیه، پرتکرارترین مؤلفه‌ی اقتصادی در منابع داخلی و خارجی این پژوهش می‌باشد که در دسته‌ی



نمودار ۵ - مؤلفه‌های فنی پرتکرار به تفکیک منابع داخلی و خارجی.



نمودار ۶- مؤلفه‌های اقتصادی پرتکرار به تفکیک منابع داخلی و خارجی.

کاهش هزینه‌های اولیه قرار گرفته است. تخصیص بیش از ۶۲٪ فراوانی مؤلفه‌های اقتصادی به این موضوع، از اهمیت بالای آن حکایت دارد که بی‌توجهی به آن، خود می‌تواند مانع اصلی بهره‌گیری از پیش‌ساخته‌سازی در مسکن گردد (Zhang & Skitmore, 2012) و (Zhang et al., 2014). تقلیل میزان نیاز به نیروی کار و کاهش هزینه‌های مربوط به آن نیز از جمله‌ی مؤلفه‌های اقتصادی پرتکرار در طراحی مسکن پیش‌ساخته است. لوول معتقد است تخصیص ۲۰٪ هزینه‌ی ساخت صنعتی به نیروی کار به‌جای ۵۰٪ در نوع سنتی آن، می‌تواند سودآوری را افزایش داده (Lovell, 2012) و به‌صرفه‌جویی در هزینه‌های ساخت کمک نماید (Ji-ang et al., 2019; Ferdous et al, 2019).

۱-۲-۴. مؤلفه‌های کارکردی

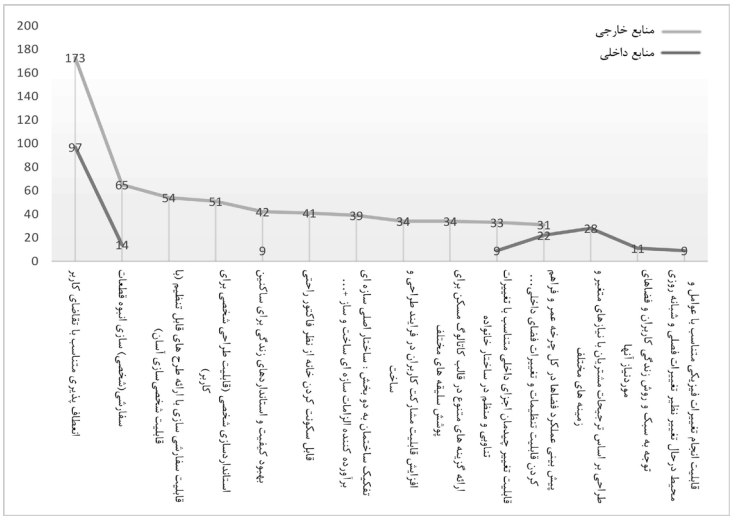
مؤلفه‌های این گروه در سه بخش انعطاف‌پذیری، کاربرمحوری و سازماندهی فضایی قرار می‌گیرند. تغییرات جمعیتی اخیر، بر سبک زندگی و مسکن جوامع تأثیر بسزایی داشته است. از یک‌سو، با تغییر ساختار خانواده و گرایش به خانوارهای کوچک‌تر، تقاضا برای مسکن کم‌متراژ، انعطاف‌پذیر و کارآمد افزایش یافته است (Friedman et al., 2013). از سوی دیگر، افزایش میانگین سنی و پیری جمعیت، رشد تعداد خانوارهای یک‌نفره و همچنین مهاجرت‌های بین‌المللی طی ۵۰ سال گذشته منجر به افزایش تنوع گونه‌های مسکن شده است (Oorschot et al., 2021). در نگاه بلندمدت، با تغییر تقاضای کاربر، پایدار ماندن خانه‌ها به‌عنوان یک واحد مسکونی، دشوار و مستلزم پیش‌بینی انعطاف‌پذیری است (Jiang & Ban, 2013; Kedir & Hall, 2021). تأمین انعطاف‌پذیری متناسب با تقاضای کاربر به‌عنوان پرتکرارترین مؤلفه‌ی کارکردی میان منابع مطرح می‌گردد که نمودار (۷) نشانگر این موضوع است. یک ساختمان زمانی انعطاف‌پذیر است که از نظر عملکرد و ویژگی‌های عملکردی به‌راحتی با نیازهای کاربر یا شرایط متغیر سازگار شود (Marchesi & matt, 2017) با توجه‌به میزان تغییراتی که در سطوح مختلف اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی خانواده رخ می‌دهد، انعطاف‌پذیری می‌تواند تا حد قابل‌توجهی بخشی از نیازهای جدید و متغیر را پاسخگو باشد (اقبالی و حصاری، ۱۳۹۲). با شکست رویکرد تولید انبوه در مشتری‌مداری، رویکرد سفارشی‌سازی انبوه پدیدار شد (Zhang & Skitmore, 2012).

با به‌کارگیری این رویکرد، یک محصول استاندارد را، با توجه به ترجیحات مشتری، می‌توان تا حدی تغییر داد، به‌گونه‌ای که شخصی‌سازی با هزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه ارائه گردد (Marchesi & matt,2017). س‌فارشی‌سازی انبوه قطعات و تأمین قابلیت آن با ارائه‌ی طرح‌های قابل تنظیم، استانداردسازی شخصی و بهبود کیفیت و استانداردهای زندگی ساکنین از جمله‌ی مؤلفه‌های کارکردی پرتکرار در منابع خارجی است. در میان منابع داخلی نیز، طراحی بر اساس ترجیحات مشتریان با نیازهای متغیر و در زمینه‌های مختلف و توجه به سبک و روش زندگی کاربران جزء پرتکرارترین‌ها بوده‌اند.

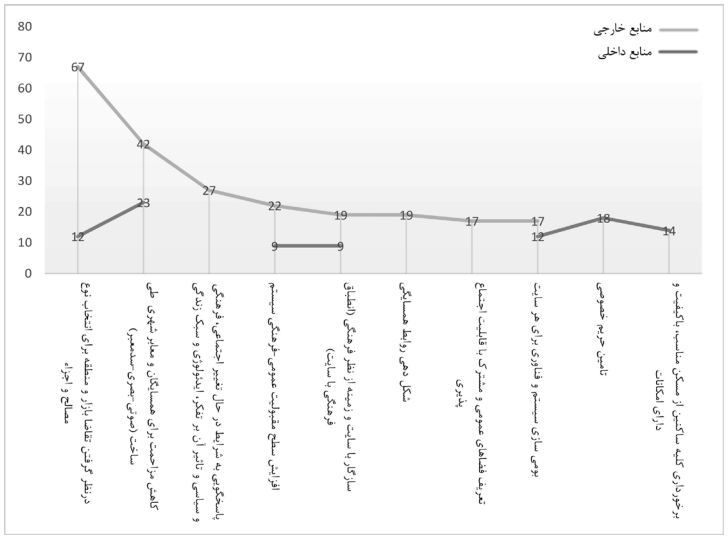
۱-۲-۵. مؤلفه‌های اجتماعی-فرهنگی

به گفته راپاپورت (۲۰۰۵)، چهار هدف برای موفقیت مسکن باید برآورده شود: (۱) کفایت اجتماعی و فرهنگی، (۲) صرفه‌ی اقتصادی، (۳) تضمین حفظ سلامت ساکنان و (۴) نیاز به حداقل نگهداری در طول چرخه‌ی عمر ساختمان. در این میان، دشوارترین هدف، کفایت اجتماعی و فرهنگی می‌باشد (Correia et al., 2013). در این پژوهش، ۲۸ مؤلفه‌ی اجتماعی-فرهنگی استخراج گردیده که در قالب ۵ بخش قابل دسته‌بندی‌اند؛ این بخش‌ها عبارت‌اند از: کاهش اثرات منفی بر محیط، بومی‌سازی، انطباق با شرایط اجتماعی-فرهنگی، توجه به مؤلفه‌های روان‌شناختی اجتماعی و شکل‌دهی تعاملات اجتماعی.

همانطور که نمودار (۸) نشان می‌دهد، در نظرگرفتن تقاضای بازار و منطقه برای انتخاب نوع مصالح و اجزاء، پرتکرارترین مؤلفه‌ی گروه اجتماعی-فرهنگی است که در دسته‌ی بومی‌سازی قرار گرفته است. نادیده‌گرفتن تقاضای بازار و ترجیحات ساکنین، کاهش میزان مقبولیت و افزایش امکان بازسازی را به همراه خواهد داشت و به دنبال آن، مسائلی که



نمودار ۷ -مؤلفه‌های کارکردی پرتکرار به تفکیک منابع داخلی و خارجی



نمودار ۸- مؤلفه‌های اجتماعی-فرهنگی پرتکرار به تفکیک منابع داخلی و خارجی.

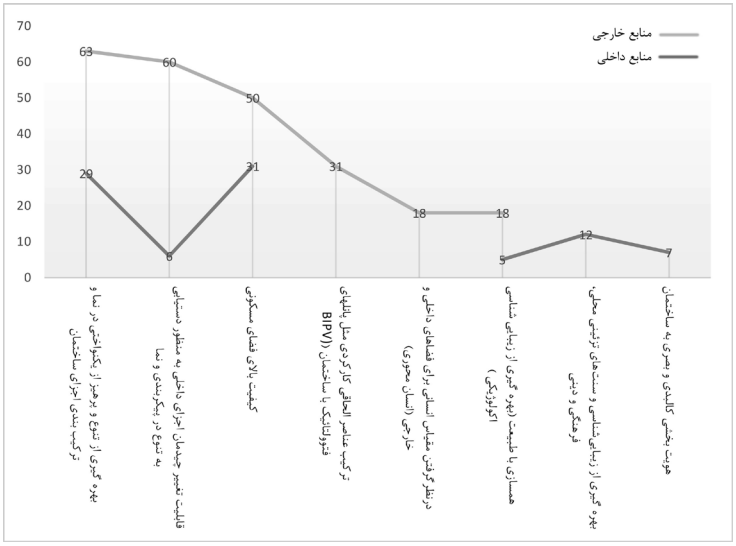
در حین بازسازی رخ می‌دهد منجر به کاهش طول عمر ساختمان خواهد شد (Jiang & Ban, 2013). بعلاوه بهره‌گیری از مصالح و اجزاء متناسب با تقاضای بازار منجر می‌شود که خانه به‌عنوان یک ابزار سرمایه‌گذاری برای بسیاری از خانواده‌های با درآمد متوسط و پایین‌تر، توانایی فروش سریع را حفظ نماید (O'brien, 2015). دومین مؤلفه‌ی پرتکرار و مشترک میان منابع، کاهش مزاحمت برای همسایگان و معابر شهری طی فرایند ساخت می‌باشد. پیش‌ساخته‌سازی با افزایش اتوماسیون، ضمن کاهش صدای جرثقیل‌ها و کاهش مزاحمت صوتی (Zhang & Skitmore, 2012)، با برخورداری از سرعت بالای ساخت، امکان اسکان سریع‌تر و کاهش تأثیر بر همسایگان را فراهم می‌کند (Lovell, 2012). افزایش سطح مقبولیت عمومی- فرهنگی سیستم، نیز از دیگر مؤلفه‌های پرتکرار و مشترک میان منابع می‌باشد که در دسته‌ی بومی‌سازی قرار گرفته است. نگرانی‌ها در مورد مقبولیت عمومی، بازتاب ادراک منفی افراد جامعه نسبت به پیش‌ساخته‌سازی است (Lovell, 2012). بخشی از ادراکات منفی، از شکست‌های تاریخی آن مانند ناکامی پس از جنگ جهانی دوم سرچشمه می‌گیرد و بخشی نیز ناشی از دانش محدود افراد است؛ چراکه برخی به آن برچسب مسکن قشر کم‌درآمد زده و نگرشی منفی نسبت به آن ایجاد نموده‌اند. در حال حاضر نیز، برخی در مورد مزایای پیش‌ساخته‌سازی نسبت به ساخت‌وساز سنتی تردید داشته و به آن تمایلی ندارند (Wuni & Shen, 2020).

۱-۲-۶. مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی کالبدی

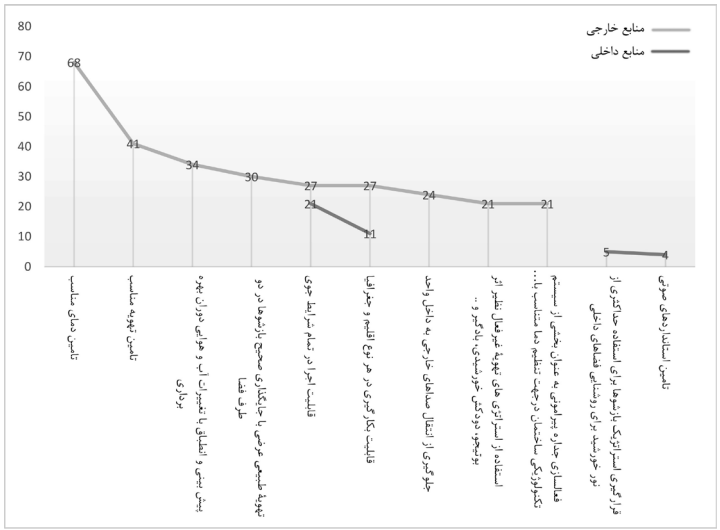
با توسعه‌ی اقتصاد و توجه مردم به الزامات کیفی مسکن، سطح پایین زیبایی‌شناسی نمی‌تواند پاسخگوی تقاضای بازار باشد (Jieru, 2012). الزام به ایجاد تنوع در نما و پیکربندی اجزای ساختمان و پرهیز از یکنواختی به‌عنوان پرتکرارترین مؤلفه‌ی زیبایی‌شناسی کالبدی در طراحی مسکن پیش‌ساخته در میان منابع خارجی شناخته شد. این مؤلفه که در دسته‌ی زیبایی‌شناسی عینی قرار می‌گیرد، در میان منابع داخلی نیز از فراوانی بالایی برخوردار است. به‌طورکلی مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی پژوهش، در قالب دو بخش ذهنی و عینی قابل تفکیک‌اند که مقوله‌ی عینی بر ترکیب مشاهده و آزمایش در قالب تجربه تأکید دارد و بعد ذهنی به فرهنگ، آموزش، تجربه و حساسیت‌های ذاتی اشاره دارد. نمودار (۹) پرتکرارترین مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی کالبدی را به تفکیک منابع داخلی و خارجی نشان می‌دهد. کیفیت بالای فضای مسکونی و همسازی با طبیعت از جمله مؤلفه‌هایی هستند که هم در منابع داخلی و هم در منابع خارجی از فراوانی بالایی برخوردارند.

۱-۲-۷. مؤلفه‌های اقلیمی

مؤلفه‌های اقلیمی حاصل از این پژوهش در دو بخش سازگاری با اقلیم و آسایش محیطی قابل تفکیک‌اند. بنابر نمودار (۱۰)، تأمین دما و تهویه‌ی مناسب پرتکرارترین مؤلفه‌های اقلیمی منابع خارجی‌اند که ضمن قرارگیری در دسته‌ی آسایش محیطی، مستلزم توجه و به‌کارگیری توسط طراح هستند. طراح می‌تواند با ترکیب استراتژی‌های فعال و غیرفعال به یک ساختمان بهینه دست یابد (Soriano et al., 2014). استفاده از راهبردهای مختلف زیست‌اقلیمی (Marín et al., 2015) نظیر بهره‌گیری از تهویه‌ی متقاطع برای برقراری جریان تهویه‌ی طبیعی (Rockwood et al., 2015) و جانمایی بهینه‌ی پنجره‌ها برای دریافت حداکثر نورگیری طبیعی (آصفی و همکاران، ۱۳۹۷) از جمله‌ی مؤلفه‌های پرتکراری است که برای تأمین دما و تهویه‌ی مناسب راهگشاست. قابلیت اجرا در هر شرایط جوی و قابلیت به‌کارگیری در هر نوع اقلیم و جغرافیا، پرتکرارترین مؤلفه‌های اقلیمی منابع داخلی هستند که در دسته‌ی سازگاری با اقلیم قرار گرفته‌اند. برخلاف ساخت‌وساز سنتی که نمی‌توان آن را در شرایط باران شدید یا یخبندان انجام داد (Assad Nazir et al., 2021)، در پیش‌ساخته‌سازی به دلیل انجام غالب فرایند ساخت در محیط کارخانه، تأثیر عوامل محیطی و جوی بر پیشرفت و اجرای عملیات به حداقل رسیده (Lee & Kim, 2013) و (هروی و لایقه، ۱۳۹۶) و به آن قابلیت اجرا در هر شرایط آب و هوایی را می‌دهد (حسینعلی‌پور و حقیقی، ۱۳۸۹).



نمودار ۹- مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی کالبدی پرتکرار به تفکیک منابع داخلی و خارجی.



نمودار ۱۰- مؤلفه‌های اقلیمی پرتکرار به تفکیک منابع داخلی و خارجی.

۲- بحث

۲-۱. سیر تاریخی اولویت‌دهی به مؤلفه‌ها

واکاوی منابع در جهت بررسی سیر تاریخی اولویت‌بندی مؤلفه‌ها در طراحی مسکن پیش‌ساخته حاکی از آن است که با پایان جنگ جهانی دوم در اواخر قرن ۱۹ و اتخاذ پیش‌ساخته‌سازی در مسکن، اهمیت انحصاری مؤلفه‌های فنی و اقتصادی نظیر تولید انبوه، سریع‌سازی، صرفه‌ی اقتصادی و ... به چشم می‌خورد (Dijokienė & Dževus, 2011). بهره‌گیری از انبوه‌سازی، یکنواختی ساختمان‌ها و بی‌توجهی به نیازهای فردی کاربران را به همراه داشت (Ocampo, 2017; Tofiluk et al., 2019)؛ به همین دلیل مورد انتقاد قرارگرفته و با اتهام عدم مشتری‌مداری با شکست مواجه شد (Zhang & Skitmore, 2012). در این راستا مؤلفه‌های کارکردی و زیبایی‌شناسی کالبدی نیز مورد توجه قرارگرفته و معمارانی چون رایت، لوکور بوزیه و غیره سیستم‌هایی طراحی نمودند که ضمن کاهش زمان و هزینه، امکان طراحی شخصی برای هر کاربر را فراهم نماید (Ocampo, 2017). به دنبال آن، مؤلفه‌های اجتماعی-فرهنگی و اقلیمی نیز در پاسخ به عدم مطابقت سیستم‌های پیش‌ساخته با مناطق مختلف و شرایط آنها حائز اهمیت گردیدند. در مهروموم‌های اخیر نیز، مؤلفه‌های محیط‌زیستی در طراحی مسکن پیش‌ساخته مورد توجه قرارگرفته که (Ahmad Bari et al., 2012) سیر صعودی مطالعات محیط‌زیستی در حوزه‌ی پیش‌ساخته‌سازی در مسکن، بر این امر صحه می‌گذارد.

۲-۲. قیاس مؤلفه‌ها در منابع داخلی و خارجی

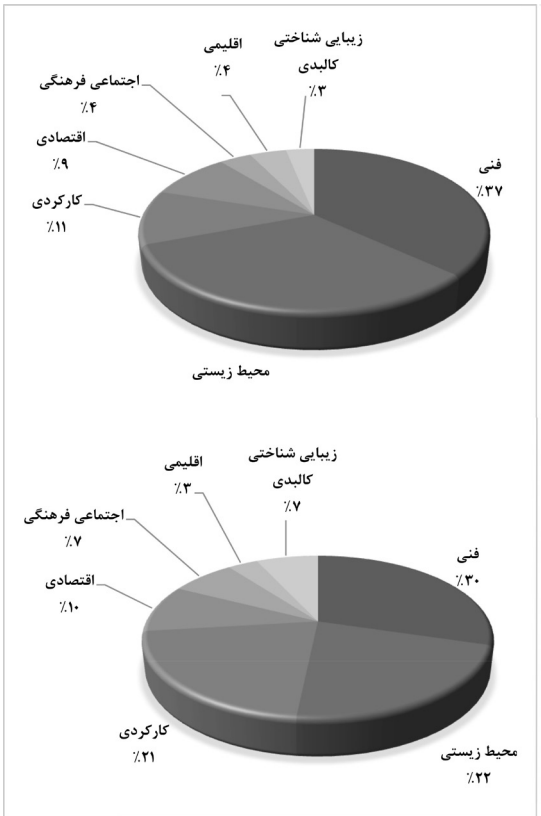
درصد وزنی مؤلفه‌های استخراج‌شده از منابع داخلی و خارجی در این گروه‌بندی هفت‌گانه مطابق با نمودار (۱۱) می‌باشد. علی‌رغم اختلاف حد بالای[۸] فراوانی در منابع داخلی و خارجی، مؤلفه‌های فنی در هر دو منبع، پرتکرارترین مؤلفه‌ها بوده‌اند. سلسله‌مراتب فراوانی گروه‌ها تقریباً منطبق بر یکدیگر بوده و تنها در کم‌تکرارترین آن با هم تفاوت دارند، به‌گونه‌ای که مؤلفه‌های اقلیمی در منابع داخلی و مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی کالبدی، در منابع خارجی کم‌ترین فراوانی را داشته‌اند. نکته حائز اهمیت آنکه مؤلفه‌های سه گروه فنی، محیط زیستی و کارکردی که به ترتیب پرتکرارترین گروه‌ها را تشکیل می‌دهند بیش از ۷۰٪ فراوانی در هر دو منبع را به خود اختصاص می‌دهند نزدیک به ۴۶٪ مؤلفه‌ها در منابع داخلی و خارجی مشترک بوده و مابقی منحصر به یکی از دو منبع می‌باشد. در میان گروه‌ها نیز، بیشترین میزان اشتراک منابع در مؤلفه‌های مستخرج، به مؤلفه‌های دو گروه اقتصادی و کارکردی با درصد اشتراک ۶۴٪ و ۶۳٪ اختصاص دارد. گروه‌های فنی و اقلیمی نیز با درصد اشتراک ۳۷٪ و ۳۸٪ کم‌ترین میزان مؤلفه‌های مشترک در میان منابع را دارند. با توجه به دسته‌بندی مؤلفه‌ها در ساختاری سلسله‌مراتبی، ذکر این نکته که بیش از نیمی از مؤلفه‌ها (۵۶٪) الزامی هستند حائز اهمیت است.

۲-۳. چارچوب مفهومی یکپارچه از مؤلفه‌ها

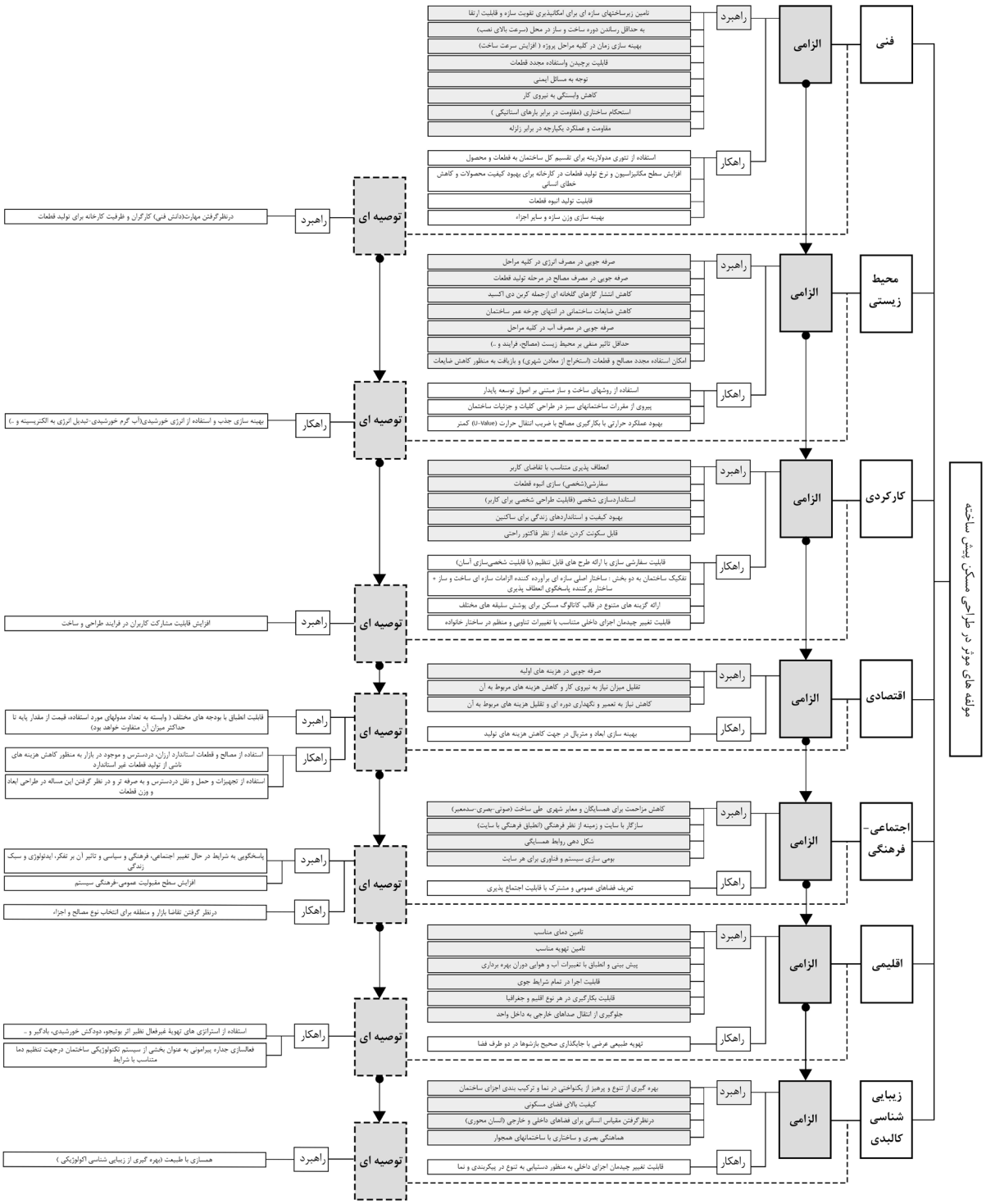
این پژوهش، چارچوب مفهومی یکپارچه از مؤلفه‌ها را براساس ساختاری سلسله‌مراتبی پیشنهاد می‌کند. این چارچوب مفهومی یکپارچه پس از شناسایی، تجمیع و کدگذاری مؤلفه‌ها و ادغام مؤلفه‌های مشابه، اقدام به بررسی فراوانی و دسته‌بندی آنها در ساختاری سلسله‌مراتبی در جهت کاربردی نمودن آنها و اولویت‌دهی به منظور تسهیل به‌کارگیری در طراحی، نموده است (تصویر ۳). چارچوب مفهومی این ساختار را نشان می‌دهد. این چارچوب مفهومی به‌عنوان یک راهنما به سه موضوع کلیدی اشاره دارد. نخست آنکه مؤلفه‌های گروه‌های هفت‌گانه در ساختاری سلسله‌مراتبی در قالب مؤلفه‌های الزامی و توصیه‌ای قابل تفکیک‌اند. دوم آنکه مؤلفه‌های توصیه‌ای به لحاظ اولویت به‌کارگیری، هم‌تراز با مؤلفه‌های الزامی نیستند و سوم آنکه باتوجه به تعداد مؤلفه‌ها و میزان تکرار و فراوانی آنها، مسیری خطی برای به‌کارگیری مؤلفه‌ها ترسیم‌شده است. چارچوب مذکور ساختاری سلسله‌مراتبی برای به‌کارگیری مؤلفه‌ها در طراحی مسکن پیش‌ساخته پیشنهاد می‌دهد. مطابق با این چارچوب اولویت به‌کارگیری به ترتیب با مؤلفه‌های الزامی در گروه‌های محیط‌زیستی، فنی، کارکردی، اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی، اقلیمی و زیبایی‌شناسی کالبدی است. پس از مؤلفه‌های الزامی نوبت به مؤلفه‌های توصیه‌ای در گروه‌های مذکور و به ترتیب یادشده می‌رسد. ذکر این نکته ضروری است که این چارچوب بر مبنای مؤلفه‌های پرتکرار پژوهش، پیشنهاد گردیده است.

۳- ارزیابی کیفی

روایی پژوهش که از هم‌راستایی نتایج و یافته‌ها با هدف و عنوان مقاله حکایت دارد، با مراجعه به دو فرد متخصص و بررسی محتوایی پژوهش صورت گرفته است. به‌منظور بررسی پایایی و قابل اعتماد بودن نتایج نیز، از ضریب کاپای کوهن[۹] استفاده شد. در این مرحله، پس از تنظیم ۱۲ سؤال دوارزشی در قالب یک پرسشنامه و پر نمودن آن توسط دو فرد متخصص، از نرم‌افزار *SPSS* برای محاسبه‌ی ضریب کاپا و میزان توافق متخصصین استفاده گردید. ضریب کاپای این پژوهش ۰/۷۵۰ و در سطح معناداری ۰/۰۰۷ محاسبه‌گر دید که معناداری آن تائید می‌شود.



نمودار ۱۱- درصد وزنی گروه‌بندی هفت‌گانه مؤلفه‌ها در منابع خارجی (بالا) و داخلی (پایین).



تصویر ۳- چارچوب مفهومی اولویت‌بندی به‌کارگیری مؤلفه‌های مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته.

نتیجه

باتوجه به کارآمدی صنعت پیش‌ساخته‌سازی در تأمین سریع، مقرون‌به‌صرفه و باکیفیت مسکن جوامع، شناسایی و به‌کارگیری مؤلفه‌های مؤثر در طراحی به‌منظور بهره‌مندی از مزایای آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور در این پژوهش ۷۱ مقاله داخلی و خارجی، با رویکرد مرور سیستماتیک و روش فراترکیب مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت تا ضمن شناسایی مؤلفه‌ها، نگاهی جامع به آنها نیز ارائه گردد. پژوهش‌های مورد مطالعه در این تحقیق، ۲۸ کشور در سراسر آسیا، آفریقا، آمریکا، اروپا و استرالیا را در برگرفته است. با تجزیه‌وتحلیل منابع، مؤلفه‌ها با بهره‌گیری از استدلال کل‌نگر و بر اساس یک چارچوب طبقه‌بندی گسترده در هفت گروه متشکل از محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی، کارکردی، اجتماعی-فرهنگی، زیبایی‌شناسی کالبدی و اقلیمی، طبقه‌بندی شدند که گروه‌های فنی، محیط‌زیستی و کارکردی

در میان منابع داخلی و خارجی به ترتیب پرتکرارترین گروه‌ها بوده‌اند. این پژوهش با ترسیم چارچوب مفهومی اولویت‌بندی به‌کارگیری مؤلفه‌ها بر مبنای ساختار سلسله‌مراتبی پیشنهادی الزامی/توصیه‌ای و تعداد مؤلفه‌ها و میزان فراوانی آنها در هر گروه، بهره‌گیری از مؤلفه‌ها را کاربردی نموده و طراحان را در بهره‌گیری از آنها یاری می‌نماید. در مجموع و به‌طور خلاصه می‌توان اظهار داشت، استفاده از تئوری مدولاریته برای تقسیم‌بندی اجزای ساختمان در گروه فنی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مصالح در گروه محیط‌زیستی، تأمین انعطاف‌پذیری در گروه کارکردی، صرفه‌جویی در هزینه‌های اولیه در گروه اقتصادی، کاهش مزاحمت برای همسایگان و معابر و در نظرگرفتن تقاضای بازار و منطقه در گروه اجتماعی-فرهنگی، تأمین دما و تهویه مناسب در قالب تأمین آسایش محیطی در گروه اقلیمی و بهره‌گیری از تنوع و پرهیز از یکنواختی در گروه زیبایی‌شناسی کالبدی، پرتکرارترین مؤلفه‌های مؤثر در گروه‌های هفت‌گانه طراحی مسکن پیش‌ساخته هستند که توجه به آنها لازمه‌ی طراحی است. مقاله‌ی حاضر با ارائه چشم‌اندازی جامع از مؤلفه‌های طراحی مسکن پیش‌ساخته، ضمن پر نمودن شکاف تحقیقاتی یادشده، می‌تواند مبنایی برای پیشنهاد استراتژی‌های بهبود طراحی مسکن پیش‌ساخته در کشور را فراهم کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Industrialization.
2. Prefabrication.
3. Off-Site Construction.
4. Systematic Review.
5. Prisma.
6. Meta Synthesis.
7. Subjective.
8. Upper Bound.
9. Cohen,s Kappa Coefficient.

فهرست منابع

آصفی، مازیار؛ هاشم‌پور، پریسا؛ حمزه‌نژاد، مهدی و مهاجری، مظفر (۱۳۹۷)، میزان هم‌آوایی سیستم‌های ساخت صنعتی با معیارهای مسکن اسلامی، *نشریه مدیریت شهری*، شماره ۵۱، ۳۲۷-۳۴۳.

آصفی، مازیار؛ هاشم‌پور، پریسا و مهاجری، مظفر (۱۳۹۶)، امکان‌سنجی روش‌های صنعتی‌سازی ساختمان در تولید مسکن اسلامی، مجله *پژوهش‌های معماری اسلامی*، شماره ۱۷، ۱۵-۳۴.

اقبالی، رحمان و حصاری، پدرام(۱۳۹۲)، رویکرد مدولار و پیش‌ساختگی در مسکن انعطاف‌پذیر، *نشریه مسکن و محیط روستا*، ۳۲(۱۴۳)، ۵۳-۶۸.

ایزدی، حسن؛ عباسپور، زهرا (۱۳۹۹)، شناسایی معیارهای مؤثر بر پیاده سازی پروژه‌های توسعه حمل‌ونقل محور در ایران، نشریه *مطالعات مدیریت ترافیک*، شماره ۵۶، ۱۱۵-۱۴۱.

حسینعلی‌پور، مجتبی؛ حقیقی، حسین (۱۳۸۹)، راهبرد صنعتی‌سازی ساختمان در چشم‌انداز بیست‌ساله کشور (مطالعه موردی امکان‌سنجی استفاده از *LSF* در تهران)، نشریه *راهبرد*، شماره ۵۷، ۳۲۵-۳۳۹.

گلابچی، محمود؛ خلعتبری، رامتین و فاضل، علیرضا (۱۳۹۳). مشارکت بهره‌برداران در فرایند طراحی تحقق پایداری اجتماعی برای مسکن انبوه ایران؛ نمونه موردی: مسکن شهرک صنعتی پرند، نشریه *مدیریت شهری*، ۱۳(۳۵)، ۷-۲۴.

نوذری، شعله؛ رفیع‌زاده، ندا (۱۳۸۳)، راهکارهای تولید مسکن‌صنعتی در ایران، *مجله تکنولوژی مسکن*، شماره ۱۰۵، ۱۶-۳۱.

هروی، غلامرضا؛ لایقه، ماهر (۱۳۹۶)، بررسی و ارزیابی صنعت احداث ساختمان‌های پیش‌ساخته بتنی با رویکرد توسعه پایدار با استفاده از تحلیل *SWOT*، نشریه *مهندسی عمران امیرکبیر*، ۴۹(۳)، ۶۰۳-۶۱۸.

Ahmad Bari, N. A., Abdullah, N. A., Yusuff, R., Ismail, N. & Jaapar, A. (2012). Environmental Awareness and Benefits of Industrialized Building Systems (IBS). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 50, 392-404.

Benkő, M. (2015). Budapest's large prefab housing estates: Urban values of yesterday, today and tomorrow. *Hungarian Studies*,29(1-2), 21-36.

Bras, A., Ravijanya, C., Sande, V. T. d., Riley, M. & Ralegaonkar, R. V. (2020). Sustainable and affordable prefab housing systems with minimal whole life energy use. *Energy and Buildings*, 220, 110030.

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.

Correia, A. L., Murtinho, V. & Silva, L. S. d. (2013). Housing industrialization, success and failure, universal and local: Limits for housing globalization, In C. *International Conference on Structures and Architecture* (*ICSA*), *Guimarães*.

Cui, Y., Li, S., Liu, C. & Sun, N. (2020). Creation and Diversified Applications of Plane Module Libraries for Prefabricated Houses Based on BIM. *Sustainability*, 12(2), 453.

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.

Dharmawan, C. & Alviano, M. (2019). Pre-fabricated Material for Modular House, In C. *IOP Conf. Series*: *Materials Science and Engineering* 662.

Dijokienė, D. & Džervus, P. (2011). XX A. Masinės Statybos Gyvenamųjų Kompleksų Fenomenas Lietuvoje Europiniame Industrinės Statybos Kontekste. *Town Planning and Architecture*,35(2), 92-103.

Du, Q., Bao, T., Li, Y., Huang, Y. & Shao, L. (2019). Impact of prefabrication technology on the cradle-to-site CO2 emissions of residential buildings. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 1499-1514.

Erduran, D. U. (2020). Precast Block Houses Built in the 1950s and Urban Mining Potential. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 91(9102).

Erofeev, N. (2019). The I-464 Housing Delivery System: A Tool for Urban Modernisation in the Socialist World and Beyond. *Fabrications*, 29(2), 207-230.

Ferdous, W., Bai, Y., Ngo, T. D., Manalo, A. & Mendis, P. (2019). New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. *Engineering Structures*, 183, 883-893.

Friedman, A., Sprecher, A. & Mohamed, B. E. (2013). A Computer- Based System for Mass Customization of Prefabricated Housing.*Open House International*,38(1), 20-30.

Gan,S.&Zhang,H. (2013).Application of Virtual Construction Technology in Green Construction.*Applied Mechanics and Ma-*

duction, 286, 125443.

Khubaev, A. O., Saakyan, S. S. & Makaev, N. V. (2020). World Practice In The Field of Modular Construction. *Construction and Geotechnics*, 11(2), 99-108.

Kim, M. K. & Kim, M. J. (2016). Affordable Modular Housing for College Students Emphasizing Habitability. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 15(1), 49-56.

Kirschke, P. & Sietko, D. (2021). The Function and Potential of Innovative Reinforced Concrete Prefabrication Technologies in Achieving Residential Construction Goals in Germany and Poland. *Buildings*, 11,553.

Knyziak, P. (2019).The impact of construction quality on the safety of prefabricated multi-family dwellings. *Engineering Failure Analysis*, 100, 37-48.

Lee, C. J. & Lim, S. H. (2015). An Analysis on Architectural Characteristics of Domestic Modular Housing and Building Material Standardization Effect through MC Design. *Journal of the Korean Housing Association*,26(6), 103-113.

Lee, C. J. & Lim, S. H. (2012).Study on the Application of Modular Technologies to Han-ok. *Journal of the Korean Housing Association*,23(4),49-57.

Lee, D. H. & Kim, K. T. (2013). A fundamental study for applying of Unit modular housing production system in the domestic. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*,14(5), 3-11.

Liu, S., Zhongfu, L., Teng, T. & Dai, L. (2021). A dynamic simulation study on the sustainability of prefabricated buildings, *Sustainable Cities and Society*, 77, 103551.

Lopez, D. & Froese, T. M. (2016).Analysis of costs and benefits of panelized and modular prefabricated homes.*Procedia Engineering*,145, 1291-1297.

Lovell, H. (2012). Modern Methods of Construction. In *International Encyclopedia of Housing and home* (Vol. 4, pp. 312-316). Edinburgh: Oxford.

Lu, W. & Yuan, H. (2013). Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,28, 804-811.

Marchesi, M. & Matt, T., D. (2017). Design for Mass Customization: Rethinking Prefabricated Housing Using Axiomatic Design. *Journal of Architectural Engineering* , 23(3), 1-20.

Marine, A. G., Corpa, J. B., Cepeda, J. T., Higueras, J. de la C. & Tejero, J. A. (2015). Self-Sufficient Prefabricated Modular Housing: Passive Systems Integrated. In *Renewable Energy in the Service of Mankind* (Vol. 1, pp. 659-674). Malaga: Springer International Publishing.

Michael, A., Savvides, A., Vassiliades, C. & Triantafyllidou, E. (2020). Design and Creation of an Energy Efficient Prefabricated Housing Unit based on Specific Taxonomy and Optimization Techniques. *Procedia Manufacturing*, 44, 261-268.

Nazir, F., Edwards, D. J., Shelbourn, M., Martek, I. Thwala, W. D. D. & El-Gohary, H. (2021). Comparison of modular and traditional UK housing construction: a bibliometric analysis. *Journal of Engineering Design and Technology* (*ahead-of-print*).

terials,368-370,1139 1142.

Gan, S. & Zhang, H. (2021).Research on Maintainability and Renewability of SI Housing, In C. *IOP Conf.Series*: *Earth and Environmental Science*787.

Gan, S., Zhang, H. & Yang, Y. (2014). The Discuss of the Development of Residential Industrialization in the New Period. *Advanced Materials Research*,912-914, 1813-1816.

Ganiron Jr, T. U. (2016). Development and Efficiency of Prefabricated Building Components. *International Journal of Smart Home*, 10(6), 85-94.

Gatheeshgar, P., Poologanathan, K., Gunalan, S., Tsavdaridis, K. D., Nagaratnam, B. & Iacovidou, E. (2020). Optimised cold-formed steel beams in modular building applications. *Journal of Building Engineering*, 32, 101607.

Gręboswski, K. & Kałdunek, D. (2017). Using Container Structures in Architecture and Urban Design, In C.*IOP Conference Series Materials Science and Engineering*.

Huunka, S., Kaasalainen, T., Hakanen, J. H. & Lahdensivu, J. (2015). Reusing concrete panels from buildings for building: Potential in Finnish 1970s mass housing. *Resources*, *Conservation and Recycling*,101, 105-121.

Iacovidou, E., Purnell, P., Tsavdaridis, K. D. & Poologanathan, K. (2021). Digitally Enabled Modular Construction for Promoting Modular Components Reuse: A UK View. *Journal of Building Engineering*, 42(3), 1-21.

Iuorio, O., Napolano, L., Fiorino, L. & Landolfo, R. (2019 a). The environmental impacts of an innovative modular lightweight steel system: The Elissa case. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117905.

Iuorio, O., Wallace, A. & Simpson, K. (2019 b). Prefabs in the North of England: Technological, Environmental and Social Innovations. *Sustainability*, 11, 1-15.

Jiang, B., Zhang, Q. & Lau, S. S. Y. (2018). Energy Conservation-Oriented Residential Prefabs for Sustainability in Nanjing, In C. *International Conference on Green Energy and Applications* (*ICGEA*), *Singapore*.

Jiang, H. & Ban, Q. (2013). A study on application of supportive housing in Chinese affordable housing. *Applied Mechanics and Materials*,357-360, 2393-2397.

Jiang, Y., Zhao, D., Wang, D. & Xing, Y. (2019). Sustainable Performance of Buildings through Modular Prefabrication in the Construction Phase: A Comparative Study. *Sustainability*, 11, 1-14.

Jin, R., Gao, S., Cheshmehzangi, A. & Aboagye-Nimo, E. (2018). A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1202-1219.

Jung, H. T. (2018). The Impact of Measurement Research on Prefabrication and Modulation in SOM's Postwar Housing and Office Buildings. *Technology|Architecture + Design*, 2(2), 196-205.

Kedir, F. & Hall, D. M. (2021). Resource efficiency in industrialized housing construction – A systematic review of current performance and future opportunities. *Journal of Cleaner Pro-*

L. (2014). Assembling sustainable ideas: The construction process of the proposal SMLsystem at the Solar Decathlon Europe 2012. *Energy and Buildings*,83, 186-194.

Terrados-Cepeda, F. J., Baco-Castro, L. & Moreno-Rangel, D. (2015). Patio 2.12: Prefabricated, sustainable, self-sufficient and energy efficient house. Participation in the 2012 Solar Decathlon Competition. *Informes de la Construcción*,67, 1-11.

Tofiluk, A., Knyziak, P. & Krentowski, J. (2019). Revitalization of Twentieth-Century Prefabricated Housing Estates as Interdisciplinary Issue, In C *IOP Conf. Series*: *Materials Science and Engineering* 471.

Tumminia, G., Guarino, F., Longo, S., Ferraro, M., Cellura, M. & Antonucci, V. (2018). Life cycle energy performances and environmental impacts of a prefabricated building module. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 272-283.

Wuni, I. Y. & Shen, G. Q. (2020). Barriers to the adoption of modular integrated construction: Systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119347.

Yu, S., Liu, Y., Wang, D., Bahaj, A. S., Wu, Y. & Liu, J. (2021). Review of thermal and environmental performance of prefabricated buildings: Implications to emission reductions in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 710055.

Zarrabi, M., Yazdanfar, S. A. A. & Hosseini, S. B. (2020). Usage of lifestyle in housing studies: a systematic review paper. Journal of Housing and the Built Environment, 37, 575-594.

Zhang, J. (2012). Life Cycle Management of Prefabricated Housing. *Applied Mechanics and Materials*,209-211, 1476-1479.

Zhang, X., Skitmore, M. & Peng, Y. (2014).Exploring the challenges to industrialized residential building in China.*Habitat International*,41, 176-184.

Zhang, X. & Skitmore, M. (2012). Industrialized housing in China: A coin with two sides. *International Journal of Strategic Property Management*,16(2), 143-157.

Nikolic, J. (2018). Building "with the Systems" vs. Building "in the System" of IMS Open Technology of Prefabricated Construction: Challenges for New "Infill" Industry for Massive Housing Retrofitting. *Energies*, 11(5), 1128.

O'brien, M. J. (2015). Success and Failure in Industrialized Prefabricated Housing. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*,2(1), 1217-1222.

Ocampo, J. S. (2017). Industrialized Housing: Background in the World and Proposal to Social Housing Deficit in Colombia. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 10(20), 79-96.

Oleynik, P. & Pakhomova, L. (2021). A new stage in the development of housing construction, In C.*Web of Conferences* 258.

Oorschot, J. A. W. H. v., Halman, J. I. M. & Hofman, E. (2021). The adoption of green modular innovations in the Dutch housebuilding sector. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128524.

Pavlenko, D. V., Shmelev, S. E., Kuznetsov, D. V., Sapronov, D. V., Fisenko, S. S. & Damrina, N.V. (2019). Universal System of Prefabricated Housing Construction RB-South–from the Idea to Implementation on the Construction Site. *Stroitel'nye Mareriality* [*construction Materials*], 3, 4-10.

Pour Rahimian, F., Goulding, J., Akintoye, A. & Kolo, S. (2017). Review of Motivations, Success Factors, and Barriers to the Adoption of Offsite Manufacturing in Nigeria. *Procedia Engineering*, 196, 512-519.

Rockwood, D., Silva, J. T. D., Olsen, S., Robertson, I. & Trun, T. (2015). Design and prototyping of a FRCC modular and climate responsive affordable housing system for underserved people in the Pacific island nations. *Journal of Building_Engineering*,4(2), 268-282.

Shen, K., Cheng, C., Li, X. & Zhang,Z. (2019).Environmental Cost-Benefit Analysis of Prefabricated Public Housing in Beijing.*Sustainability*,11,1-21.

Sidik, A. F., Paramita, B. & Busono, T. (2021). The Comparison of Energy Usage of Modular Housing using Sefaira, In C. *IOP Conf. Series*: *Earth and Environmental Science* 738.

Soriano, B. S., Gimeno, P. V., Segura, A. D. & Maza, R. M. D.