مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026
۱۲۷-۱۴۴
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۵/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش نهایی : ۱۴۰۵/۰۳/۰۹

ارائه مدل مفهومی مسکن انعطاف‌پذیر پیش‌ساخته در راستای ارتقای کارآمدی مدیریت شهری در مواجهه با چالش‌های سکونت

رقیه حقی: دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
قادر علیپور: کارشناسی معماری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
یاور رستم زاده*: استادیار گروه معماری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
طاهره اکبری: دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، اردبیل، ایران.

چکیده

شتاب شهرنشینی و افزایش تقاضای مسکن در شهرهای در حال رشد، در کنار محدودیت منابع، هزینه‌های بالای ساخت و طولانی بودن فرآیندهای اجرایی، نظام تأمین مسکن شهری را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. این شرایط ضرورت بهره‌گیری از رویکردهای صنعتی و یکپارچه در تولید مسکن را بیش از پیش آشکار می‌کند. در این چارچوب، پژوهش حاضر با هدف ارائه مدلی کارآمد برای پاسخگویی به بخشی از این مسئله، به توسعه سامانه‌ای مدولار مبتنی بر قاب فضایی فولادی متراکم پرداخته است که تعادل میان کارایی سازه‌ای، پایداری زیست‌محیطی و انعطاف‌پذیری فضایی را فراهم می‌سازد. روش پژوهش مبتنی بر رویکرد طراحی‌محور و شامل مطالعات کتابخانه‌ای، تحلیل نمونه‌های موردی و توسعه مدل سامانه در محیط نرم‌افزار CATIA است. در این راستا، طراحی یکپارچه معماری، سازه و تأسیسات در محیط نرم‌افزار CATIA انجام شد تا هماهنگی میان مراحل طراحی، تولید و اجرا تقویت شود. اجزای مدولار فولادی سبک با اتصالات پیچی قابل جداسازی طراحی شدند تا امکان تولید کارخانه‌ای، حمل آسان و مونتاژ سریع در محل فراهم شود. همچنین به‌کارگیری مصالح سبک و قابل بازیافت در پوسته بنابه ارتقای کارایی انرژی و آسایش حرارتی کمک می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که تلفیق طراحی دیجیتال، ساخت صنعتی و سامانه‌های مدولار می‌تواند چارچوبی عملی برای تسریع تولید مسکن، افزایش انطباق‌پذیری فضایی و توسعه تدریجی در شهرهای در حال رشد فراهم آورد و به‌عنوان الگویی پشتیبان در سیاست‌های تأمین مسکن و توسعه پایدار شهری مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: توسعه پایدار شهری، سازه فضایی فولادی متراکم، مسکن پیش‌ساخته، صنعتی سازی.

Presenting a conceptual model of prefabricated flexible housing to improve the efficiency of urban management in facing housing challenges

Abstract

Rapid urbanization and the rising demand for housing in growing cities, together with resource constraints, high construction costs, and lengthy implementation processes, have posed serious challenges to urban housing provision systems. These conditions have further highlighted the necessity of adopting industrialized and integrated approaches to housing production. Within this context, the present study aims to develop an efficient model to address part of this challenge through the advancement of a modular system based on a dense steel space frame, capable of balancing structural efficiency, environmental sustainability, and spatial flexibility. The research adopts a design-oriented approach and is based on a combination of literature review, case study analysis, and the development of the proposed system model in the CATIA environment. In this process, the integrated design of architecture, structure, and building services was carried out in CATIA in order to strengthen coordination across the stages of design, production, and construction. Lightweight modular steel components with detachable bolted connections were designed to enable factory production, ease of transportation, and rapid on-site assembly. In addition, the use of lightweight and recyclable materials in the building envelope contributes to improved energy performance and thermal comfort. The findings indicate that the integration of digital design, industrialized construction, and modular systems can provide a practical framework for accelerating housing production, enhancing spatial adaptability, and supporting incremental development in growing cities, while also serving as a supportive model for housing provision policies and sustainable urban development.

Keywords: Sustainable urban development, dense steel spatial structure, prefabricated housing, industrialization.

* نویسنده مسؤول

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

۱. مقدمه

رشد جمعیت شهری، مهاجرت از روستاها و افزایش هزینه‌های زمین و ساخت‌وساز در دهه‌های اخیر، موجب تشدید بحران کمبود مسکن در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه، از جمله ایران، شده است. در چنین شرایطی، الگوهای سنتی ساخت‌وساز با زمان اجرای طولانی، هزینه‌های بالا و اتلاف منابع، توان پاسخگویی به نیازهای فزاینده مسکن را ندارند (میرزایی، ۱۳۹۶). این مسئله علاوه بر ایجاد فشار بر بازار مسکن، مدیریت شهری را نیز با چالش‌هایی در زمینه تأمین به‌موقع واحدهای مسکونی، ساماندهی توسعه شهری و کنترل گسترش بی‌رویه شهرها مواجه کرده است. هم‌زمان، تغییر در الگوی خانواده‌ها و تنوع سبک‌های زندگی شهری، ضرورت طراحی مسکن‌هایی را مطرح می‌کند که علاوه بر بهره‌وری در استفاده از منابع، قابلیت انطباق با نیازهای متغیر ساکنان را نیز داشته باشند (میرزایی، ۱۳۹۶). از این منظر، رویکردهای نوین مسکن باید بتوانند در چارچوب سیاست‌های توسعه شهری، علاوه بر پاسخگویی به نیازهای کمی، کیفیت و پایداری سکونت را نیز ارتقا دهند (امجدی و همکاران، ۱۴۰۰).

در پاسخ به چالش‌های زمان و هزینه در ساخت‌وساز، صنعتی‌سازی و استفاده از سیستم‌های پیش‌ساخته به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش بهره‌وری در تولید مسکن مطرح شده است. این رویکرد با انتقال بخش عمده‌ای از فرایند تولید ساختمان به محیط‌های صنعتی، امکان کاهش خطاهای اجرایی، افزایش سرعت ساخت و مدیریت بهینه منابع را فراهم می‌کند (Amirmari et al., 2024; Kamar et al., 2021). در این میان، سیستم‌های پیش‌ساخته فولادی، به‌ویژه انواع مدولار و قاب فضایی، به دلیل وزن کم، مقاومت بالا و قابلیت نصب سریع، در سال‌های اخیر موردتوجه پژوهشگران و طراحان قرار گرفته‌اند (Abboudi et al., 2019; Di Sarno et al., 2024). توسعه چنین سیستم‌هایی می‌تواند از منظر مدیریت شهری نیز اهمیت داشته باشد، زیرا امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای تولید انبوه مسکن، کاهش زمان اجرای پروژه‌های ساختمانی و افزایش کارایی فرایندهای ساخت در مقیاس شهری را فراهم می‌آورد (شریفی و همکاران، ۱۴۰۵).

در کنار رویکرد صنعتی‌سازی، انعطاف‌پذیری فضایی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم در پایداری اجتماعی و اقتصادی مسکن مطرح شده است. مسکن انعطاف‌پذیر قادر است در طول زمان با تغییر نیازهای کاربران ــ از جمله تغییر در ساختار خانواده، تغییر کاربری فضاها یا جابه‌جایی عملکردی میان واحدها - سازگار شود (Pelsmakers, 2022; Ismail, 2024). چنین قابلیتی موجب می‌شود واحدهای مسکونی بدون نیاز به تخریب یا بازسازی‌های گسترده، با شرایط متغیر زندگی انطباق یابند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که توجه به تطبیق‌پذیری در طراحی مسکن می‌تواند ضمن ارتقای کیفیت زندگی، از فرسودگی زودرس بافت‌های مسکونی نیز جلوگیری کند (عبودی احمدآباد و عبودی قلدره، ۱۳۹۸؛ اسدی، ۱۴۰۰). از منظر شهرسازی، این ویژگی می‌تواند به افزایش طول عمر مفید ساختمان‌ها، کاهش هزینه‌های نوسازی شهری و بهبود پایداری بافت‌های مسکونی کمک کند. در همین راستا، رویکردهای مدیریت پایدار منابع شهری نیز بر اهمیت انعطاف‌پذیری کالبدی در توسعه‌های مسکونی تأکید دارند.

با وجود توسعه مطالعات در حوزه صنعتی‌سازی ساختمان و همچنین افزایش توجه به مفهوم مسکن انعطاف‌پذیر، بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که این دو حوزه غالباً به‌صورت مستقل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در بسیاری از پژوهش‌های مهندسی ساختمان، تمرکز اصلی بر بهبود فناوری‌های ساخت پیش‌ساخته، ارتقای بهره‌وری فرایند اجرا و کاهش زمان ساخت بوده است (Li et al., 2024). در مقابل، مطالعات حوزه معماری و شهرسازی بیشتر به ابعاد فضایی، عملکردی و اجتماعی انعطاف‌پذیری مسکن و نحوه انطباق آن با نیازهای متغیر ساکنان پرداخته‌اند (Meerow et al., 2016). در نتیجه، چارچوب‌های طراحی یکپارچه‌ای که بتوانند به‌طور هم‌زمان ظرفیت‌های صنعتی‌سازی ساختمان و قابلیت انعطاف‌پذیری فضایی را در پاسخ به تحولات الگوی سکونت شهری تلفیق کنند، در ادبیات موجود کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند.

در این میان، تلفیق رویکرد صنعتی‌سازی با اصول طراحی انعطاف‌پذیر می‌تواند چشم‌اندازی نو برای توسعه مسکن معاصر فراهم آورد. چنین رویکردی این امکان را فراهم می‌کند که ضمن افزایش سرعت و کارایی در فرایند ساخت، قابلیت انطباق تدریجی واحدهای مسکونی با تغییرات اجتماعی، اقتصادی و جمعیتی شهر نیز فراهم شود (Viriezky, 2024; Ramezani et al., 2022). از این منظر، توسعه الگوهای مسکن صنعتی و در عین حال انعطاف‌پذیر می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در ارتقای کارآمدی مدیریت شهری در مواجهه با چالش‌های سکونت موردتوجه قرار گیرد.

بر این اساس، هدف این پژوهش توسعه یک مدل مفهومی مسکن انعطاف‌پذیر با رویکرد صنعتی‌سازی است که با استفاده از سیستم پیش‌ساخته قاب فضایی فولادی متراکم، بتواند ضمن تسریع فرایند ساخت‌وساز، امکان تغییر، ترکیب و توسعه فضاهای مسکونی را فراهم آورد. انتظار

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

می‌رود چنین الگویی بتواند علاوه بر افزایش بهره‌وری در تولید مسکن، به عنوان راهکاری در جهت ارتقای کارآمدی نظام مدیریت شهری در مواجهه با چالش‌های تأمین مسکن نیز مطرح شود.

۲. روش تحقیق

پژوهش حاضر از منظر هدف، کاربردی–توسعه‌ای و از نظر ماهیت، مبتنی بر رویکرد طراحی‌محور (Design-Oriented Research) است و تمرکز آن بر توسعه و تبیین یک سامانه‌ی پیش‌ساخته‌ی مدولار مبتنی بر قاب فضایی فولادی متراکم قرار دارد. این رویکرد با هدف تولید دانش طراحی و ارائه‌ی یک مدل ساخت‌پذیر، قابل تعمیم و کاربردی در بستر ساخت‌وساز صنعتی انتخاب شد.

در مرحله‌ی نخست، مطالعات کتابخانه‌ای نظام‌مند با تمرکز بر پژوهش‌های منتشرشده در مجلات معتبر بین‌المللی انجام شد. این مطالعات بر محورهایی چون سامانه‌های سازه‌ای مدولار فولادی، طراحی اتصالات پیچی قابل جداسازی، یکپارچگی طراحی معماری و سازه و فرآیندهای تولید کارخانه‌ای متمرکز بود و به استخراج شاخص‌های طراحی و الزامات اجرایی انجامید. هم‌زمان، تحلیل نمونه‌های موردی منتخب با هدف شناسایی الگوهای موفق سازمان‌دهی سازه‌ای و راهبردهای اجرایی صورت گرفت تا مبانی عملیاتی و تجربه‌ای برای طراحی سامانه فراهم شود

در گام دوم، براساس یافته‌های نظری و تحلیلی، مدل هندسی و ساختاری سامانه‌ی پیشنهادی در محیط نرم‌افزار CATIA توسعه داده شد. این نرم‌افزار به‌عنوان بستری برای طراحی دیجیتال یکپارچه، امکان تعریف دقیق هندسه‌ی قاب فضایی متراکم، نحوه‌ی استقرار اعضای باربر، ترتیب پانل‌های پیش‌ساخته و اتصالات مکانیکی قابل جداسازی، سازمان‌دهی، طراحی اتصالات پیچی قابل جداسازی و پیش‌بینی هماهنگی فضایی اجزای معماری و تأسیساتی را فراهم ساخت. طراحی پارامتریک اجزا نیز امکان کنترل ابعاد، تلرانس‌های اجرایی و قابلیت مونتاژ و دمونتاژ سیستم را در فرآیند طراحی تضمین کرد.

ارزیابی عملکرد سامانه در این پژوهش براساس خوانایی مسیر انتقال نیرو، انسجام ساختاری قاب فضایی، ساخت‌پذیری کارخانه‌ای و قابلیت مونتاژ سریع در محل انجام شد. بدین ترتیب، مدل پیشنهادی به‌عنوان یک سامانه‌ی طراحی‌شده، منسجم و یکپارچه، از منظر انعطاف‌پذیری، توسعه‌پذیری و قابلیت تعمیم مورد بررسی قرار گرفت.

درنهایت، نتایج حاصل از فرآیند طراحی با مبانی نظری و یافته‌های پژوهش‌های پیشین تطبیق داده شد تا نوآوری، کارایی و ظرفیت تعمیم‌پذیری سامانه‌ی پیشنهادی در چارچوب ساخت‌وساز صنعتی به‌طور علمی ارزیابی شود.

۳. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

• پیشینه پژوهش

پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تلفیق صنعتی‌سازی و انعطاف‌پذیری در مسکن، نشان می‌دهد که هر یک از این دو رویکرد در سال‌های اخیر به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما مطالعاتی که به‌صورت هم‌زمان بر هر دو جنبه تمرکز داشته باشند، محدود است.

در سطح داخلی، غفوریان و آقایی (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «بازشناسی و اولویت‌بندی معیارهای انعطاف‌پذیری در طراحی مسکن آپارتمانی ایران» به تحلیل شاخص‌های کلیدی انعطاف‌پذیری در آپارتمان‌های شهری پرداختند. آنان با بهره‌گیری از روش AHP، عوامل مؤثر بر انعطاف‌پذیری را در سه دسته عملکردی، کالبدی و سازه‌ای طبقه‌بندی کردند و نتیجه گرفتند که بیشترین تأثیر بر کیفیت زندگی ساکنان، از انعطاف عملکردی ناشی می‌شود. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که امکان تغییر کاربری داخلی واحدها و ترکیب‌پذیری فضاها از مهم‌ترین نیازهای مسکن امروز ایران است. همچنین عبودی احمدآباد و عبودی قلدره (۱۳۹۸) در کتاب «معماری انعطاف‌پذیر با تأکید بر مسکن» مفهوم انعطاف‌پذیری را در چارچوب پایداری اجتماعی بررسی کردند. آنان معتقدند طراحی انعطاف‌پذیر می‌تواند چرخه عمر مفید ساختمان را افزایش دهد و به کاهش تخریب و بازسازی‌های مکرر کمک کند. این پژوهش، با تکیه بر نمونه‌های واقعی در ایران، تأکید می‌کند که استفاده از سیستم‌های مدولار و قطعات قابل جابجایی می‌تواند انعطاف‌پذیری فیزیکی را تسهیل کند، اما ضعف زیرساخت‌های صنعتی‌سازی در کشور مانع تحقق آن است

در سطح بین‌المللی، پلسماکرز (۲۰۲۲) در مقاله‌ای با عنوان «سازگاری مسکن: تحقیقات جدید، شیوه‌های نوظهور و شکاف‌ها» به مرور نظام‌مند پژوهش‌های اخیر درباره مسکن تطبیق‌پذیر پرداخت. وی ضمن معرفی دسته‌بندی جدیدی از راهبردهای انعطاف‌پذیری (نظیر مدولار بودن، چند کاربردی بودن فضا و قابلیت ترکیب واحدها)، نتیجه گرفت که اکثر پروژه‌های موفق، از فناوری ساخت پیش‌ساخته و ماژول‌های قابل گسترش بهره برده‌اند. در پژوهشی دیگر، وانگ و همکاران (۲۰۲۴) با تمرکز بر سیستم‌های پیش‌ساخته فولادی مبتنی بر BIM، چارچوبی یکپارچه برای طراحی، ساخت و نصب سریع ارائه کردند. نتایج آنان نشان داد که استفاده از مدل‌های دیجیتال سه‌بعدی در مرحله طراحی، علاوه بر کنترل خطاهای سازه‌ای، امکان برنامه‌ریزی دقیق برای توسعه آتی یا تغییر در پیکربندی فضا را فراهم می‌کند. همچنین ویریزکی (۲۰۲۴) در مقاله «خانه‌های افزایشی انعطاف‌پذیر و پایدار» را مطرح کرد که بر مبنای توسعه مرحله‌ای فضاهای مسکونی با استفاده از سازه‌های سبک و مدولار است. این پژوهش نمونه‌هایی از

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

پروژه‌های اجراشده در آمریکای لاتین را بررسی کرده و نشان می‌دهد که سیستم‌های فولادی پیش‌ساخته، با وزن کم و قابلیت اتصال سریع، ابزار مناسبی برای تحقق این نوع مسکن به شمار می‌روند.

در مجموع، مرور پیشینه نشان می‌دهد که گرایش جهانی به سوی طراحی مسکن قابل توسعه و صنعتی شده در حال گسترش است، اما هنوز چارچوب نظری جامعی که بتواند هم‌زمان ابعاد عملکردی، سازه‌ای و اجتماعی انعطاف‌پذیری را در قالب سیستم‌های پیش‌ساخته تلفیق کند، به‌طور کامل توسعه‌نیافته است. پژوهش حاضر در پی آن است که با تمرکز بر سیستم پیش‌ساخته قاب فضایی فولادی متراکم، مدلی مفهومی برای پیوند میان این دو رویکرد ارائه دهد.

- **بررسی نمونه‌های موردی**

در راستای تکمیل مرور ادبیات نظری، بررسی نمونه‌های واقعی از پروژه‌های مدولار می‌تواند درک عمیق‌تری از ظرفیت‌ها و چالش‌های اجرایی این رویکرد فراهم آورد. ازاین‌رو، در این بخش چند نمونه‌ی شاخص از ساختمان‌های مدولار مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا روند تکامل فناوری ساخت، نوع سیستم سازه‌ای، شیوه‌ی اتصال مدول‌ها و تأثیر این عوامل بر سازمان فضایی و کیفیت معماری پروژه‌ها تحلیل شود. نمونه‌های انتخاب‌شده براساس معیارهایی چون نوآوری در سازوکار سازه‌ای، میزان پیش‌ساختگی، شیوه‌ی تولید و مونتاژ و یکپارچگی میان عملکرد فنی و کیفیت فضایی گزینش شده‌اند. تحلیل این موارد زمینه‌ای برای ارزیابی نقاط ضعف و قوت موجود در سیستم‌های مدولار فعلی و درنهایت، تبیین ضرورت توسعه‌ی مدل پیشنهادی فراهم می‌سازد؛ مدلی که با رویکردی میان‌رشته‌ای، به دنبال ایجاد توازن میان الزامات سازه‌ای، انعطاف‌پذیری معماری و پایداری ساخت است. (جدول ۱)

در مقایسه تطبیقی میان سه پروژه، مشاهده می‌شود که افزایش مقیاس و ارتفاع ساختمان‌های مدولار، نیازمند بهبود عملکرد اتصالات، سختی جانبی و در عین حال حفظ انعطاف‌پذیری فضایی است. در این راستا، مدل پیشنهادی سیستم قاب فضایی فولادی متراکم می‌تواند با استفاده از آرایش متراکم ستون‌ها و مهاربندی سلولی، گامی مؤثر در جهت ارتقای عملکرد سازه‌ای و پایداری فضایی در ساخت‌وساز مدولار بردارد.

- **نقش فناوری پیش‌ساخته در توسعه شهری**

با افزایش سریع جمعیت شهری، تشدید بحران مسکن و رشد مداوم هزینه‌های ساخت‌وساز، توجه به رویکردهای نوین در تولید مسکن بیش از گذشته اهمیت یافته است. در این میان، صنعتی‌سازی و استفاده از فناوری‌های پیش‌ساخته به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهبردها برای توسعه مسکن پایدار شهری مطرح شده‌اند، زیرا این رویکردها می‌توانند با افزایش بهره‌وری در فرایند ساخت و کاهش هزینه‌ها، پاسخگوی نیاز فزاینده شهرها به واحدهای مسکونی باشند (رجبی‌پور، اخلاصی و یزدانفر، ۱۴۰۲).

از سوی دیگر، در مطالعات مدیریت شهری، بحران مسکن صرفاً یک مسئله کالبدی تلقی نمی‌شود، بلکه دارای ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی گسترده‌ای است. تداوم این بحران می‌تواند پیامدهایی همچون افزایش سکونتگاه‌های غیررسمی، گسترش حاشیه‌نشینی و کاهش کیفیت زندگی شهری را به همراه داشته باشد از این‌رو، سیاست‌ها و راهبردهای مسکن در شهرهای معاصر باید فراتر از تأمین صرف سرپناه بوده و قابلیت انطباق با تحولات اجتماعی، اقتصادی و جمعیتی را نیز داشته باشند (زنگنه و همکاران،۱۳۹۹).

سیر تحول و اهمیت فناوری‌های پیش‌ساختگی

در دهه‌های گذشته، سیستم‌های پیش‌ساخته عمدتاً شامل پانل‌های بتنی سنگین و نیمه پیش‌ساخته بودند که محدودیت‌هایی در حمل‌ونقل و تطبیق‌پذیری داشتند (میرزایی، ۱۳۹۶). با تحول فناوری فولاد و شکل‌گیری سیستم‌های قاب فضایی ماژولار فولادی (Steel Modular Space Frame Systems)، امکان ساخت سازه‌های سبک‌تر، مقاوم‌تر و انعطاف‌پذیرتر فراهم شد (Su, Zhang & Chen, 2022).

در گام بعدی، استفاده از فناوری‌های دیجیتال همچون مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، طراحی پارامتریک و اتوماسیون ساخت، زمینه‌ساز عصر جدیدی از ساخت صنعتی گردید که در آن دقت مونتاژ، کاهش خطای انسانی و سرعت اجرا به‌طور چشمگیری افزایش یافت (Wang et al., 2024; Parracho et al., 2025).

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

جدول ۱. بررسی نمونه‌های موردی

عنوان پروژه	ویژگی‌های طراحی و ساخت	منبع	تصاویر
The project The Fizz Spartaan Laan van Spartaan in Amsterdam, The Nether-land	آپارتمان دانشجویی فیز اسپارتان آمستردام، بلندترین پروژه ساختمانی مدولار هلند، دارای ۱۶ طبقه ارتفاع و ساخته شده از ۳۸۹ ماژول، سیستم سازه‌ای فولادی سبک، اتصالات خشک، افزایش سرعت نصب، کیفیت ساخت کنترل صنعتی	M.M. van der Ham, 2020	
My Micro NY (۲۰۱۶ - نیویورک، آمریکا)	نخستین پروژه مسکونی مدولار مرتفع در نیویورک؛ واحدهای کیوبی ساخته شده در کارخانه و مونتاژ شده با جرثقیل، کاهش آلودگی صوتی و ضایعات ساختمانی، کاربرد فناوری مدولار در مقیاس بلندمرتبه	www.arch-daily	
Apex House (۲۰۱۷ - لندن، بریتانیا)	ساختمان آپکس هاوس با ۲۸ طبقه، بلندترین ساختمان مدولار اروپا در ومبلی لندن در سال ۲۰۱۷ ساخته شده است. بهینه‌سازی اتصالات ماژول‌ها، یکپارچگی سازه‌ای، افزایش پایداری جانبی و مقاومت لرزه‌ای	Huu-Tai) Thaia, et al, (2020	

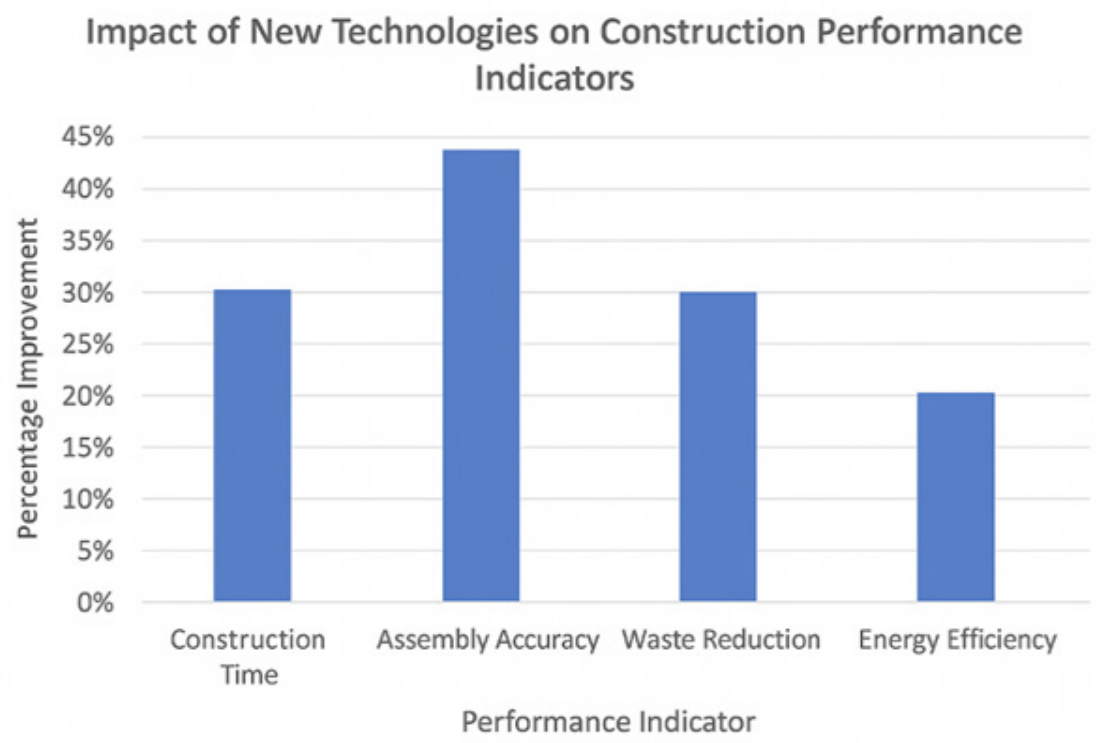
[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

همگرایی فناوری‌های دیجیتال و ساخت صنعتی

ورود فناوری‌های دیجیتال در دهه اخیر، نقطه عطفی در توسعه پیش‌ساختگی محسوب می‌شود. استفاده از BIM در طراحی سازه‌های فولادی پیش‌ساخته، امکان تحلیل هم‌زمان جنبه‌های سازه‌ای، تأسیساتی و زیست‌محیطی را فراهم کرده است (Wang et al., 2024). همچنین، (Parra-cho et al.,2025) نشان دادند که ادغام BIM با اتوماسیون ساخت و فناوری پرینت سه‌بعدی، در مقایسه با روش‌های سنتی، باعث:

- کاهش ۲۵ تا ۳۰ درصدی زمان ساخت
- افزایش ۴۰ تا ۴۵ درصدی دقت مونتاژ
- کاهش حدود ۳۰ درصدی ضایعات مصالح
- بهبود ۲۰ درصدی بهره‌وری انرژی

می‌شود. این یافته‌ها، مزایای قابل‌توجه صنعتی‌سازی مبتنی بر داده را تأیید می‌کند.



شکل ۱. تأثیر فناوری‌های دیجیتال بر شاخص‌های عملکردی ساخت مدولار (براساس Parracho et al., 2025)

به‌رغم مزایای فراوان، توسعه فناوری‌های پیش‌ساختگی در ایران با چالش‌هایی همچون هزینه بالای اولیه، ضعف در زنجیره تأمین، کمبود نیروی متخصص و عدم استانداردسازی جزئیات اجرایی مواجه است (میرزایی، ۱۳۹۶؛ رجبی‌پور و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین، مقاومت فرهنگی نسبت به شیوه‌های غیرسنتی ساخت و نبود سیاست‌های حمایتی مؤثر، مانع از گسترش کامل این فناوری‌ها در پروژه‌های مسکونی شهری شده است (اسدی، ۱۴۰۰). از سوی دیگر، پژوهش‌های جدید پیشنهاد می‌کنند که ترکیب سیستم‌های پیش‌ساخته فولادی سبک با اصول طراحی انعطاف‌پذیر می‌تواند به مدلی کارآمد برای پاسخ‌گویی به نیازهای متغیر خانوار شهری تبدیل شود (Di Sarno & Forgione, 2024; Viriezky, 2024).

فناوری‌های پیش‌ساختگی، به‌ویژه در قالب سیستم‌های ماژولار فولادی و قاب فضایی فشرده، مسیر نوینی را برای توسعه مسکن شهری سریع‌الاحداث، مقاوم و انعطاف‌پذیر گشوده‌اند. در عین حال، تحقق کامل این رویکرد در ایران مستلزم بازنگری سیاست‌های مدیریت شهری، آموزش تخصصی و ایجاد استانداردهای بومی متناسب با شرایط اقلیمی و اجتماعی کشور است.

- **انعطاف‌پذیری مسکن**

در راستای تحولات اجتماعی، اقتصادی و فناورانه دهه‌های اخیر، الگوهای سکونت و نیازهای کاربران را به‌طور چشمگیری دگرگون ساخته است. در چنین شرایطی، مفهوم «مسکن انعطاف‌پذیر» به‌عنوان یکی از راهبردهای

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

کلیدی در پاسخ به پویایی نیازهای انسانی و کارکردی مسکن شهری مطرح شده است. انعطاف‌پذیری، توانایی فضا برای تطبیق با تغییرات عملکردی، کالبدی و جمعیتی بدون نیاز به تخریب یا بازسازی اساسی است (Pelsmakers, 2022). مسکن انعطاف‌پذیر نه‌تنها به تغییرات فیزیکی در واحد مسکونی، بلکه به امکان تحول در نحوه استفاده و چیدمان فضا نیز اشاره دارد. این نوع مسکن بر پایه طراحی ماژولار و سیستم‌های سازه‌ای قابل تنظیم شکل می‌گیرد تا بتواند در دوره‌های مختلف زندگی خانوار، پاسخ‌گوی تغییرات در تعداد اعضا، الگوی کار و فعالیت‌های روزمره باشد (اسدی، ۱۴۰۰).

یکی از فناوری‌هایی که می‌تواند تحقق چنین رویکردی را تسهیل کند، استفاده از سیستم‌های ساختمانی پیش‌ساخته و صنعتی است. در این رویکرد، اجزای ساختمانی در محیط‌های کنترل‌شده کارخانه‌ای تولید شده و سپس در محل پروژه مونتاژ می‌شوند. این شیوه ساخت علاوه بر کاهش زمان اجرای پروژه، امکان کنترل کیفی دقیق‌تر، کاهش ضایعات مصالح و افزایش بهره‌وری در فرایند ساخت را فراهم می‌کند (Kamar et al., 2011). همچنین، به‌کارگیری طراحی یکپارچه در ساختمان‌های پیش‌ساخته فولادی می‌تواند موجب بهبود هماهنگی میان مدیریت شهری، فرایند طراحی و مراحل اجرایی پروژه‌های انبوه‌سازی شود و زمینه اجرای سریع‌تر و کارآمدتر پروژه‌های مسکن در مقیاس شهری را فراهم آورد. در نتیجه، توسعه مسکن پیش‌ساخته در چارچوب مطالعات مدیریت شهری می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش بخشی از مشکلات ناشی از کمبود زمین و هزینه‌های سنگین ساخت‌وساز در شهرها مطرح شود.

- **ابعاد و انواع انعطاف‌پذیری مسکن**

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که انعطاف‌پذیری در مسکن دارای ابعاد چندگانه است و نمی‌توان آن را صرفاً در تغییر چیدمان داخلی خلاصه کرد. این ابعاد در چهار گروه اصلی شامل کارکردی، سازه‌ای، سازگاری و تغییرپذیری قابل دسته‌بندی‌اند.

جدول ۲. انواع انعطاف‌پذیری در مسکن و ویژگی‌های آن - منبع: نگارندگان

نوع انعطاف‌پذیری	تعریف	ویژگی‌های طراحی مرتبط	نمونه‌های طراحی	منبع
کارکردی (Functional Flexibility)	امکان تغییر کاربری فضا بدون مداخله کالبدی	پلان باز، مبلمان متحرک، فضاهای چندمنظوره	تبدیل اتاق نشیمن به فضای کار	غفوریان و آقایی (۱۳۹۵)
سازه‌ای یا فیزیکی (Structural Flexibility)	قابلیت تغییر در اجزای سازه‌ای یا تقسیمات داخلی	سیستم مدولار، اتصالات خشک، دیوارهای قابل‌حذف	ادغام دو واحد مجاور	Wang et al. (2024)
سازگاری (Adaptability)	توانایی فضا برای انطباق با نیازهای آینده	زیرساخت قابل گسترش، توسعه تدریجی، پلان بازقابل‌تغییر	افزودن واحد جدید در آینده	Pelsmakers (2022)
تغییرپذیری (Transformability)	قابلیت جابه‌جایی یا تغییر فرم کالبدی در زمان	مدول‌های قابل جابجایی، سازه‌های سبک وزن	خانه‌های تدریجی مدولار	Viriezky (2024)

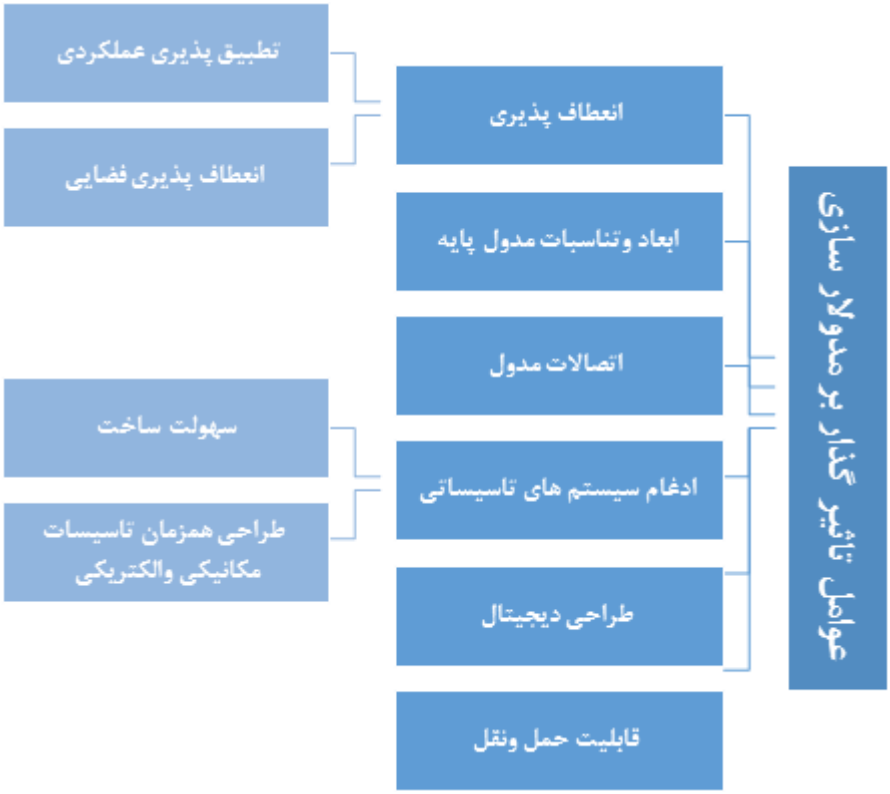
پژوهش غفوریان و آقایی (۱۳۹۵) بر پایه‌ی تحلیل خبرگان معماری مسکن، میزان اهمیت نسبی هر نوع انعطاف‌پذیری را در طراحی مسکن ایرانی بررسی کرده است. یافته‌های آنان نشان می‌دهد انعطاف کارکردی (۴۲٪) بیشترین سهم را در ارتقای کیفیت سکونت دارد.

- **نقش ماژولار بودن فضا در تحقق انعطاف‌پذیری**

به‌کارگیری سیستم‌های ماژولار و پیش‌ساخته، مهم‌ترین راهکار فنی برای تحقق انعطاف‌پذیری در مقیاس سازه و فضا است. Su et al. (2022) و Chen et al. (2022) هر دو نشان داده‌اند که ترکیب مدول‌های فولادی پیش‌ساخته، علاوه بر تسریع فرآیند ساخت، امکان بازچینی فضاها و تغییر پیکربندی داخلی را فراهم می‌سازد. این امر به‌ویژه در پروژه‌های اضطراری یا توسعه‌ای (نظیر بیمارستان‌های موقت و خانه‌های قابل توسعه) به اثبات رسیده است.

ماژولار بودن نه‌تنها از منظر سازه‌ای بلکه به‌عنوان یک استراتژی اجتماعی نیز مطرح است؛ زیرا به ساکنان اجازه می‌دهد تا واحدهای خود را مطابق توان مالی یا نیازهای دوره‌ای خانواده، مرحله‌به‌مرحله گسترش دهند (عبودی احمدآباد و عبودی قلدره ۱۳۹۸).

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]



شکل ۲. عوامل اثرگذار بر مدولار سازی براساس یافته‌های تحقیق- منبع نگارندگان

- **تأثیر تغییر الگوی خانوادگی و اجتماعی**

تحلیل‌های اجتماعی نشان می‌دهد که تغییر در ساختار خانواده‌های شهری، رشد مشاغل خانگی و گسترش الگوی زندگی چندمنظوره، نیاز به انعطاف‌پذیری را افزایش داده است (اسدی، ۱۴۰۰). طراحی فضاهایی با امکان تبدیل سریع میان کار، آموزش و استراحت، یکی از ویژگی‌های اساسی مسکن معاصر به شمار می‌رود. از این‌رو، مسکن انعطاف‌پذیر نه‌تنها یک راهکار معماری بلکه پاسخی اجتماعی- اقتصادی به پویایی زندگی شهری است.

در مجموع، مسکن انعطاف‌پذیر ترکیبی از اصول طراحی فنی (سازه‌ای و ماژولار) و درک اجتماعی از پویایی خانواده و عملکرد فضا است. پژوهش‌های اخیر تأکید دارند که انعطاف‌پذیری باید از مرحله طراحی سازه تا جزئیات چیدمان داخلی در نظر گرفته شود تا مسکن شهری بتواند در طول زمان، بدون افزایش هزینه و زمان ساخت، با نیازهای کاربران انطباق یابد (Pelsmakers, 2022; Wang et al., 2024).

جدول شماره ۳- بررسی مؤلفه‌های پایداری در ساختمان پیش‌ساخته مدولار

الزامات ایجاد ساختمان پیش‌ساخته مدولار		ضرورت‌های اقلیم، الزامات انطباق با تکنولوژی‌های جدید،
مزایای سیستم پیش‌ساخته مدولار	پایداری زیست‌محیطی	کاهش ضایعات ساختمانی و آلودگی زیست‌محیطی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، امکان استفاده از انرژی نو و فناوری نوین مانند پنل خورشیدی را فراهم می‌آورد
	پایداری اجتماعی	امکان سفارشی‌سازی، موجب ایجاد حس تعلق و رضایت ساکنین می‌شود، مدول‌ها قابلیت تغییر کاربری برای مصارف دسته‌جمعی را فراهم می‌آورند.
	پایداری اقتصادی	کاهش هزینه‌های ساخت، افزایش سرعت ساخت‌وساز امکان استفاده مجدد

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

- **سازه‌های سبک و قاب‌های فضایی فولادی**

سازه‌های سبک و قاب‌های فضایی فولادی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دستاوردهای صنعتی‌سازی در حوزه ساخت‌وساز شهری، نقش کلیدی در افزایش سرعت اجرا، کاهش وزن مرده ساختمان و ارتقای پایداری سازه‌ها دارند. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین ساخت و اتصال، امکان طراحی و اجرای ساختمان‌هایی با دهانه‌های بلند، وزن کم و قابلیت مونتاژ سریع را فراهم می‌کنند (Su et al., 2022؛ Wang et al., 2024).

در میان انواع سازه‌های پیش‌ساخته، قاب‌های فضایی فولادی به دلیل رفتار سه‌بعدی خود، توزیع متوازن نیروها و مقاومت بالا در برابر بارهای قائم و جانبی، جایگاه ویژه‌ای در پروژه‌های صنعتی و ساختمانی پیدا کرده‌اند. این سازه‌ها از شبکه‌ای از اعضای فولادی به‌صورت ماژول‌های تکرارشونده تشکیل می‌شوند که قابلیت ترکیب و توسعه در جهات مختلف را دارند و از این‌رو به‌خوبی با مفهوم انعطاف‌پذیری فضایی همسو هستند (Farajian et al., 2022).

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که سیستم‌های سبک فولادی در مقایسه با سیستم‌های بتن‌آرمه سنتی، علاوه بر کاهش وزن کلی ساختمان، منجر به کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و کاهش ضایعات ساختمانی نیز می‌شوند (Kim, 2025؛ Zohourian et al., 2025). همچنین این سازه‌ها از منظر پایداری محیطی قابل توجه‌اند، چراکه امکان بازیافت مصالح و استفاده مجدد از اجزا پس از پایان عمر مفید سازه وجود دارد (Di Sarno & Forgione, 2024).

از نظر رفتار سازه‌ای، قاب‌های فضایی فولادی دارای ظرفیت تغییر شکل بالا و رفتار هم‌افزا در برابر نیروهای جانبی هستند. این ویژگی سبب می‌شود که چنین سازه‌هایی در مناطق زلزله‌خیز، عملکردی به‌مراتب بهتر از سازه‌های سنگین‌تر داشته باشند (Wang et al., 2024). در پژوهش «Farajian et al. (2022)» رفتار دینامیکی سازه‌های مدولار فولادی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که توزیع یکنواخت جرم و سختی در شبکه فضایی موجب کاهش شتاب‌های موضعی در هنگام ارتعاش می‌شود.

از سوی دیگر، فناوری ساخت و مونتاژ در سیستم‌های قاب فضایی به سمت خودکارسازی حرکت کرده است. استفاده از فناوری BIM و مدلسازی دیجیتال، هماهنگی دقیقی میان اجزای سازه و فرآیند نصب ایجاد می‌کند که منجر به کاهش خطاهای انسانی و افزایش دقت در اجرا می‌شود (Ouda & Haggag, 2024؛ Parracho et al., 2025).

جدول زیر براساس یافته‌های پژوهش‌های معتبر، مقایسه‌ای میان ویژگی‌های سازه‌های سبک فولادی و سیستم‌های سنتی بتنی ارائه می‌دهد:

جدول ۴: مقایسه‌ای ویژگی‌های سازه‌های سبک فولادی و سیستم‌های سنتی بتنی (منبع: Farajian et al., 2022; Su et al., 2022; Wang et al., 2024)

ویژگی‌ها	سازه سبک فولادی	سازه بتنی سنتی
وزن کلی سازه	بسیار کم (۳۰–۵۰٪ سبک‌تر)	زیاد
سرعت اجرا	بالا، با قابلیت پیش‌ساخت	پایین
انعطاف‌پذیری طراحی	بالا (قابل توسعه و ماژولار)	محدود
هزینه نگهداری	پایین	بالا
قابلیت بازیافت	بالا	بسیار پایین
مقاومت در برابر زلزله	زیاد	متوسط

- **طراحی یکپارچه و مدولاریتی فضایی**

طراحی یکپارچه در معماری معاصر به‌عنوان رویکردی کلیدی برای هماهنگ‌سازی مؤلفه‌های عملکردی، سازه‌ای و فضایی ساختمان‌ها مطرح است. در این رویکرد، معمار و مهندس سازه به‌جای پیروی از فرآیندهای خطی سنتی، در یک چرخه هم‌زمان و بازگشتی عمل می‌کنند تا بهینه‌ترین هم‌پوشانی میان فرم معماری و رفتار سازه‌ای حاصل شود (Su et al., 2022). در پروژه‌های مبتنی بر صنعتی‌سازی، به‌ویژه در سیستم‌های پیش‌ساخته فولادی، طراحی یکپارچه موجب می‌شود اجزای ماژولار از مرحله طرح تا تولید، نصب و بهره‌برداری در قالب یک نظام هماهنگ عمل کنند (Wang et al., 2024).

مدولاریتی فضایی به‌عنوان بُعد مکمل طراحی یکپارچه، بر قابلیت تقسیم و ترکیب فضاها در قالب ماژول‌های استاندارد

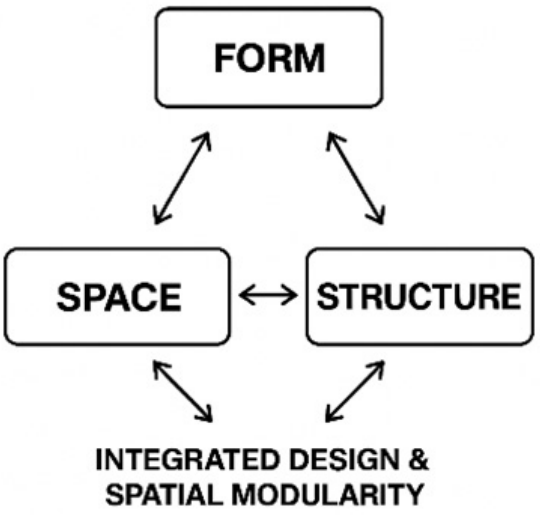
[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

تأکید دارد. این ماژول‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که بتوانند متناسب با عملکردهای گوناگون (نظیر سکونت، خدمات یا توسعه آتی) در ترکیب‌های متنوعی کنار هم قرار گیرند، بدون آنکه پیوستگی عملکردی یا سازه‌ای مختل شود (Kim, 2025). در واقع، مدولاریتی فضایی پلی میان فرم و ساختار است؛ زیرا نحوه استقرار ماژول‌ها مستقیماً بر مسیر انتقال نیروها و عملکرد مکانیکی قاب‌های فولادی تأثیر می‌گذارد (Farajian et al., 2022).

در این چارچوب، بهینه‌سازی عملکرد فضا و سازه نه از طریق افزایش مصالح، بلکه با هماهنگی میان الگوهای هندسی و عملکردی حاصل می‌شود. همچنین Chen et al. (2022) در مطالعه خود بر ساخت بیمارستان مدولار اضطراری نشان دادند که یکپارچگی میان طراحی معماری و سیستم باربر، زمان ساخت را تا ۴۰٪ کاهش داده و پایداری سازه را بهبود بخشیده است.

در این رویکرد، رفتار سازه‌ای دیگر صرفاً یک پاسخ فنی نیست، بلکه بخشی از زبان طراحی معماری محسوب می‌شود. فرم معماری نه بر پایه زیبایی‌شناسی صرف، بلکه در راستای عملکرد سازه‌ای شکل می‌گیرد. این هم‌پیوندی میان فرم و نیرو، ماهیت اصلی طراحی یکپارچه در مدل‌های مفهومی مسکن انعطاف‌پذیر با رویکرد صنعتی‌سازی است.

در شکل زیر، ساختار مفهومی طراحی یکپارچه و مدولاریتی فضایی در سه سطح «فرم»، «سازه» و «فضا» نمایش داده شده است. پیکان‌های دوطرفه بیانگر ارتباط بازگشتی میان تصمیمات طراحی و تحلیل سازه‌ای هستند.



شکل ۳: طراحی یکپارچه و مدولاریتی فضایی در سه سطح

- **مزایا و چالش‌های ساخت‌وساز مدولار در مسکن انعطاف‌پذیر**

ساخت‌وساز مدولار در حوزه‌ی مسکن انعطاف‌پذیر، به دلیل سرعت اجرا، صرفه‌جویی در منابع و قابلیت انطباق با نیازهای متغیر خانوارها، به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در پاسخ به بحران کمبود مسکن شناخته می‌شود. از مهم‌ترین مزایا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. **کاهش زمان ساخت و هزینه‌ها:** فرایند تولید در کارخانه و نصب در محل، زمان ساخت را تا ۵۰٪ کاهش می‌دهد (Parracho et al., 2025؛ Kim, 2025).
۲. **افزایش کیفیت ساخت:** کنترل شرایط تولید و استانداردسازی اجزا، منجر به دقت بالاتر و کاهش خطاهای اجرایی می‌شود (Kamar et al., 2021).
۳. **انعطاف‌پذیری فضایی:** طراحی ماژول‌ها امکان گسترش، ترکیب یا تفکیک فضاها را فراهم می‌کند و پاسخگوی نیازهای متفاوت خانوارهاست (Ismail, 2024؛ Viriezky, 2024).
۴. **پایداری محیطی:** کاهش پسماند ساختمانی و قابلیت بازیافت اجزا، همسو با اصول توسعه پایدار است (Sav-vides et al., 2023).

در کنار این مزایا، ساخت‌وساز مدولار با چالش‌هایی نیز مواجه است:

۱. **هزینه اولیه بالا:** نیاز به فناوری‌های دقیق و تجهیزات کارخانه‌ای، هزینه آغازین پروژه را افزایش می‌دهد (Ammari & Roosli, 2024).
۲. **محدودیت‌های طراحی و زیبایی‌شناسی:** تکرار ماژول‌ها ممکن است منجر به یکنواختی فرم‌های معماری شود (Su et al., 2022).
۳. **نیاز به زیرساخت‌های صنعتی و لجستیکی:** حمل‌ونقل قطعات بزرگ و سنگین نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و امکانات ویژه است (Wang et al., 2024).
۴. **عدم آشنایی بازار کار و کاربران:** کمبود تجربه در طراحی و اجرای پروژه‌های مدولار، مانع پذیرش گسترده آن در بازار مسکن می‌شود (Zohourian et al., 2025).

در مجموع، توسعه‌ی فناوری‌های دیجیتال و طراحی انعطاف‌پذیر، می‌تواند چالش‌های موجود را کاهش داده و زمینه‌ی گسترش ساخت‌وساز مدولار در مسکن آینده را فراهم آورد.

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

- **کاربرد سیستم قاب فضایی فولادی متراکم در طراحی مسکن مدولار**

سیستم قاب فضایی فولادی متراکم (Dense Modular Steel Space Frame System) به عنوان یکی از نوآورانه‌ترین روش‌های سازه‌ای در طراحی مسکن مدولار شناخته می‌شود. این سیستم با ترکیب ویژگی‌های سبک‌وزنی، مقاومت بالا و قابلیت مونتاژ سریع، بستری مناسب برای توسعه‌ی مسکن انعطاف‌پذیر فراهم می‌کند.

در این رویکرد، شبکه‌ای سه‌بعدی از اعضای فولادی به‌صورت منظم و ماژولار طراحی می‌شود تا بتواند بارهای ثقلی و جانبی را به‌صورت بهینه منتقل کند. ساختار شبکه‌ای متراکم باعث افزایش سختی کلی سازه و کاهش نیاز به اعضای بزرگ و سنگین می‌شود (Farajian et al., 2022؛ Di Sarno & Forgione, 2024). این موضوع در پروژه‌های مسکونی کوچک‌مقیاس یا قابل جابجایی اهمیت ویژه‌ای دارد.

مزیت دیگر این سیستم، قابلیت یکپارچه‌سازی با اجزای پیش‌ساخته‌ی دیوارها، کف‌ها و سقف‌ها است که امکان نصب سریع ماژول‌ها را فراهم می‌کند. به‌ویژه در شرایط بحرانی یا پروژه‌های اسکان موقت، این ویژگی به کاهش زمان اجرا و افزایش بهره‌وری منجر می‌شود (Chen et al., 2022؛ Wang et al., 2024).

از نظر طراحی معماری، فرم شبکه‌ای قاب فضایی اجازه می‌دهد تا فضاهای داخلی بدون نیاز به دیوارهای باربر شکل بگیرند که خود منجر به انعطاف‌پذیری عملکردی و فضایی در واحدهای مسکونی می‌شود (Ismail, ۲۰۲۴؛ Pelsmakers, ۲۰۲۲). در این ساختار، هر ماژول می‌تواند به‌صورت مستقل طراحی شود یا در ترکیب با ماژول‌های دیگر عملکردی جدید به خود بگیرد.

درنهایت، می‌توان گفت استفاده از قاب فضایی فولادی متراکم در طراحی مسکن مدولار، ضمن ارتقای کیفیت سازه‌ای و زیبایی‌شناسی، مسیر تحقق مسکن پایدار، سریع‌الاحداث و انعطاف‌پذیر را هموار می‌کند.

۳. توصیف طرح پیشنهادی سیستم قاب فضایی فولادی متراکم با رویکرد صنعتی‌سازی

طرح پیشنهادی در این پژوهش مبتنی بر یک سیستم مدولار پیش‌ساخته کاملاً صنعتی است که با اسکلت فولادی سبک و مبتنی بر قاب فولادی متراکم شکل گرفته است

هدف از ارائه این سازه توسعه مسکن پیش‌ساخته، انعطاف‌پذیر و صنعتی است که با تلفیق ساخت کارخانه‌ای و طراحی دیجیتال، زمان و هزینه‌های ساخت را کاهش داده و گامی مؤثر در توسعه ساخت‌وساز پیش‌ساخته و صنعتی بردارد. طراحی مدولار و استفاده از اتصالات استاندارد و مکانیزم‌های مونتاژ سریع، امکان سرهم‌بندی و جداسازی آسان را فراهم کرده و باعث افزایش دوام و طول عمر این سازه می‌شود این ویژگی‌ها، همراه با بهره‌گیری از عایق‌های حرارتی و صوتی کارآمد، این سازه را به گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای متنوع تبدیل کرده است ا ین سیستم از مقاطع سازه‌ای فولادی تشکیل شده است و صفحات و تخته‌های گچی به عنوان پوشش درونی، لایه‌های عایق حرارتی و صوتی، قطعات دیوار خارجی به عنوان نما و عناصر تکمیل‌کننده ساختمان به کار گرفته می‌شود. عناصر فولادی به عنوان عناصر باربر و غیر باربر و گچبرگ‌ها و پانل‌های پیش‌ساخته به عنوان پوشش درونی استفاده می‌شوند.

طرح پیشنهادی در این پژوهش مبتنی بر یک سازه پیش‌ساخته و مدولار است که از اسکلت فولادی سبک و چارچوب قاب فضایی متراکم بهره می‌گیرد. این سیستم با هدف ارائه راه‌حلی برای مسکن انعطاف‌پذیر، پایدار و کاملاً صنعتی توسعه‌یافته است، به‌گونه‌ای که با تلفیق فناوری تولید کارخانه‌ای و طراحی دیجیتال، امکان مونتاژ سریع در محل پروژه فراهم شده و در نتیجه زمان و هزینه‌های ساخت به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. این رویکرد، همچنین باعث ارتقای کیفیت ساخت و بهبود فرایندهای تولید صنعتی و کاهش ناهمگونی اجرایی می‌گردد (Thirunavukkarasu et al., 2021).

فرایند طراحی و تولید سیستم در چند مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا هر مدول به‌عنوان یک واحد فضایی مستقل طراحی می‌شود؛ در مرحله بعد، مدل طراحی شده در کارخانه، تولید و سپس در محل پروژه مونتاژ می‌گردد. این فرآیند امکان توسعه تدریجی بنا، جداسازی آسان مدول‌ها و استفاده مجدد از اجزا را فراهم می‌آورد؛ امری که کاملاً با اصول طراحی پایدار و اقتصاد چرخشی در ساخت‌وساز همسو است (Milovanović et al., 2022). به‌طور کلی، این مدل نشان‌دهنده گذار از ساخت‌وساز سنتی به سامانه‌ای صنعتی و دیجیتال‌محور است که می‌تواند به‌عنوان الگویی نوآور جهت پاسخ به نیازهای متنوع مسکونی، خدماتی و موقت در ایران و سایر مناطق با محدودیت‌های زمانی و اقتصادی مورد استفاده قرار گیرد.

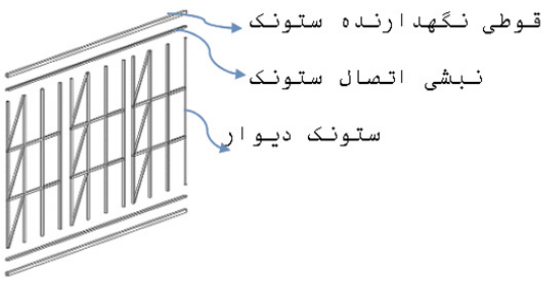
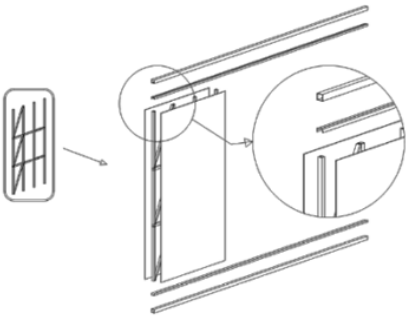
الگوی مدولاسیون این سیستم با ابعاد استاندارد ۲×۴ متر طراحی شده و قابلیت ترکیب در جهت‌های افقی و عمودی را دارد. این ویژگی، انعطاف فضایی بالایی ایجاد می‌کند و امکان استفاده از مدول‌ها را برای کاربردهای مختلف، فراهم می‌آورد. چنین ساختاری، سامانه‌ای پویا و قابل تطبیق با نیازهای آتی را معرفی می‌کند (Kim et al., 2025). همچنین در طراحی این سازه فولادی، صفحات و

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

تخته‌های گچی به عنوان پوشش درونی و لایه‌های عایق حرارتی و صوتی قطعات دیوار خارجی به عنوان نما و عناصر تکمیل‌کننده ساختمان در نظر گرفته شده است. در واقع، عناصر فولادی به عنوان عناصر باربر و غیر باربر و گچ‌برگ‌ها و پانل‌های پیش‌ساخته به عنوان پوشش درونی مورد استفاده قرار گرفته است.

هر مدول شامل سه بخش اصلی می‌باشد:

- **اسکلت سازه‌ای:** قاب‌های فولادی سبک با ستون‌های متراکم؛
- **پوشش نهایی:** پوشش نهایی همراه هسته‌ی عایق حرارتی و صوتی؛
- **اجزای داخلی:** تأسیسات و بازشوها با قابلیت نصب سریع و جایگزینی آسان
- **دیوارها:** دیوارهای مدول، مجموعه‌ای از ستونک‌ها (مقاطع فولادی قوطی) و اعضای مهاربندی است؛ به‌طوری که ستونک‌ها بار ثقلی و اعضای مهاربندی بار جانبی را تحمل می‌کنند. فاصله ستونک‌ها بین ۶۰ تا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد و مقاطع فولادی ستونک‌ها توسط نبشی‌های اتصال به عناصر فولادی افقی یا قوطی نگهدارنده ستونک‌ها (ابتدایی و انتهایی) دیوار پیچ شده است. دیوارها تو خالی هستند و می‌توانند از پانل‌های آماده تشکیل شوند. برای یکپارچگی بیشتر، ستونک‌ها، به صورت افقی نیز به هم متصل شده است. در دیوارها در ابعاد دلخواه می‌توان بازشو ایجاد کرد.
- **ساخت در جا:** ابتدا قوطی‌های افقی یا نگهدارنده ستونک‌ها (و نبشی‌های اتصال یا ناودانی نگهدارنده ستونک‌ها) در تراز مشخص قرار می‌گیرند؛ ستونک‌ها در فواصل مشخص و کاملا تراز شده به ترتیب جاگذاری می‌گردند. قوطی‌های ستون می‌توانند همراه پوشش نهایی توسط نبشی اتصال به قوطی‌های نگهدارنده پیچ شوند. اتصالات می‌تواند به صورت پیچ یا جوشی باشد.
- **روش برافراشتن:** عمده شکل ساخت دیوارهای مدول به صورت پنل‌های پیش‌ساخته است. دیوارهای مدول پس از طراحی پلان به شکل پنل‌های جدا از هم طراحی و شماره‌گذاری و طبق شماره‌های طراحی شده به صورت پنل‌های آماده در کارگاه ساخته می‌شوند. در تولید پیش‌ساخته می‌توان بسیاری از عملیات نظیر عبور کابل‌ها و لوله‌ها، عایق‌کاری و پوشش خارجی در مرحله تولید کارخانه‌ای انجام گردد. نصب پوشش داخلی در محل سایت صورت می‌گیرد. پیش ساختگی در کارگاه و نیاز به کمترین زمان حضور و عملیات کارگاهی در محل اجرا از مزایای مهم سیستم ساختمانی پیش‌ساخته مدولار فولادی می‌باشد.

نحوه قرار گرفتن مقاطع فولادی	
	

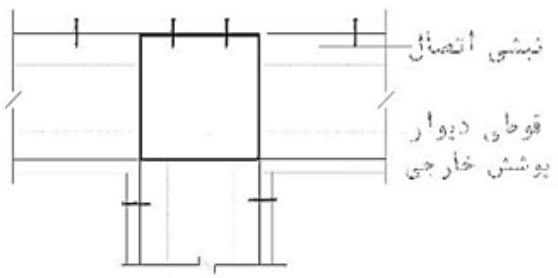
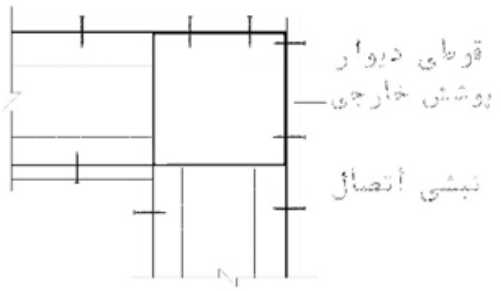
انواع دیوارهای سیستم مدولار پیش‌ساخته فولادی

- **پنل قاب‌های باربر سازه‌ای:** این نوع قاب دیوار، باربر و سازه‌ای است و تمام بارهای ثقلی و بارهای جانبی را تحمل می‌کند.
- **پنل قاب باربر غیر سازه‌ای میان قاب:** این قاب‌ها در برابر نیروهای مکش و فشار باد و نیروهای صفحه‌ای، باربر هستند؛ اما در برابر بارهای ثقلی ساختمان طراحی نمی‌شوند. مزیت استفاده از این قاب‌ها، کاهش بار مرده ساختمان و در نتیجه کاهش مقاطع سازه اصلی و تأمین رفتار مناسب در برابر نیروی جانبی مانند زلزله است.

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

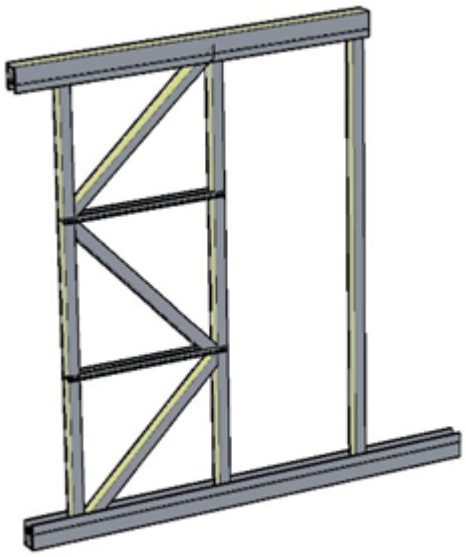
[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

- **پنل غیربابر جداکننده غیرسازه‌ای:** این نوع قاب برای جداسازی فضاهای داخلی ساختمان که خارج از قاب سازه‌ای بوده و مسائل سازه‌ای و بارگذاری بر روی آن‌ها مترتب نیست، کاربرد دارد و به عنوان پارتیشن داخلی اجرا می‌شوند.
- **بست دیوار:** در دیوارهای باربر برای مقابله با کمانش درون صفحه و پیچش در ستون‌ها حول محور طولی و همچنین انتقال برش بین پوشش سازه‌ای و قاب‌بندی در دیوارها از بست‌های افقی استفاده می‌شود (در دیوارهای تا ارتفاع ۲.۴ متر حداقل در یک ردیف و در دیوارها تا ارتفاع ۳ متر در دو ردیف افقی اجرا می‌گردد).

دتایل دیوار غیرسازه‌ای	دتایل اتصالات گوشه
	

- **مهاربندی:** برای مقاومت در برابر زلزله و سایر نیروهای جانبی از مهاربندی استفاده می‌گردد. به دلیل فاصله کم استادها طول مهاربندی کوتاه بوده و بازدهی سازه‌ای بالاست.

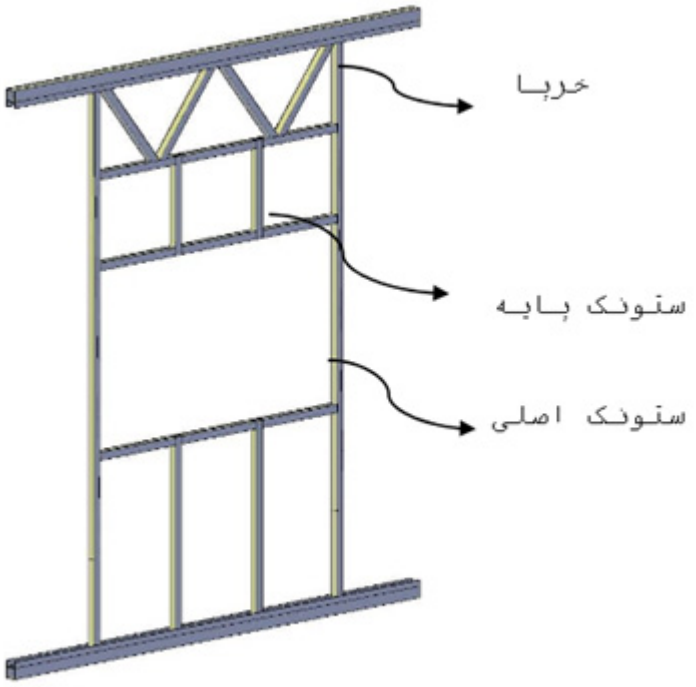
جزئیات اجرای مهاربندی



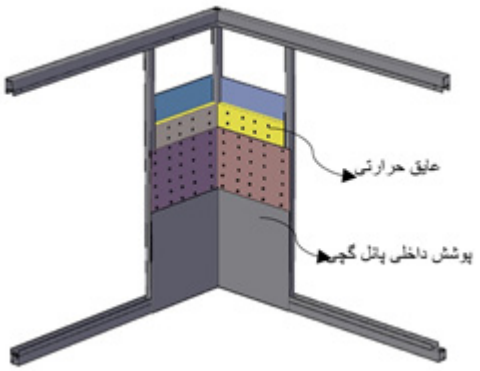
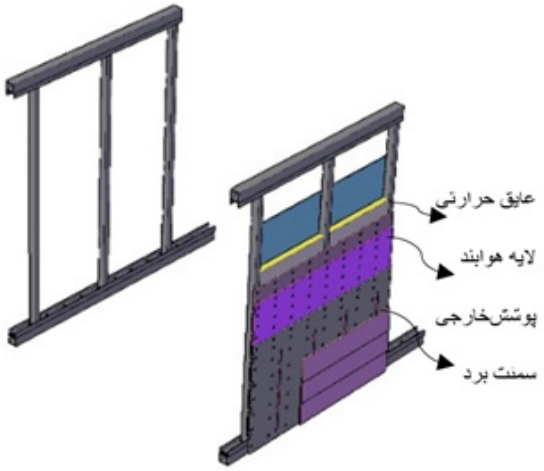
- **ایجاد بازشو:** در اجرای بازشو در دیوار سازه‌ای مدول، علاوه بر استادهای اصلی از اعضای دیگری مانند ستونک و خرپای کوتاه استفاده می‌شود. به‌منظور باربری، ستونک‌های اصلی باید به‌طور کامل به ستونک‌های پایه متصل شوند.

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

جزئیات اجرای نعل درگاه



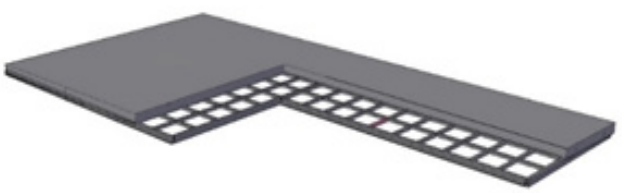
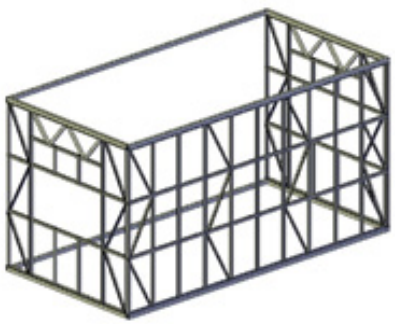
- **عایق‌کاری حرارتی و صوتی:** این سیستم قابلیت بالایی برای نصب عایق حرارتی دارد. عایق حرارتی در فضای بین ستونک‌ها قرار می‌گیرد و هم‌راستا با آن اجرا می‌گردد. یکی دیگر از روش‌های عایق‌کاری دیوارها، نصب یک لایه حرارتی صلب در طرف خارجی قالب فلزی است. همچنین با افزودن تخته‌های گچی و سیمانی در دو طرف عایق حرارتی (پشم‌شیشه) عایق‌بندی صوتی، تأمین می‌گردد. از دیگر روش‌های اجرای عایق صوتی استفاده از وادارهای اکوستیکی است.

دتایل پوشش داخلی	دتایل پوشش خارجی
	

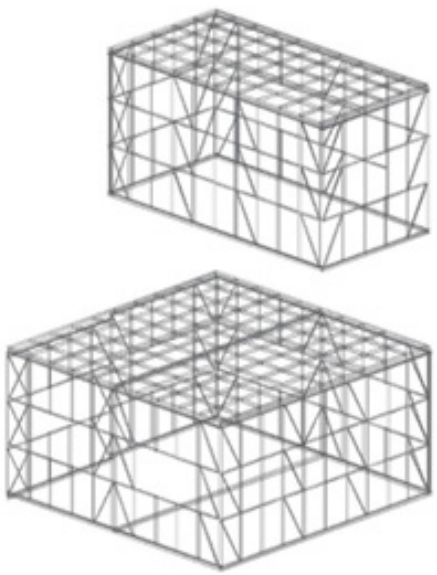
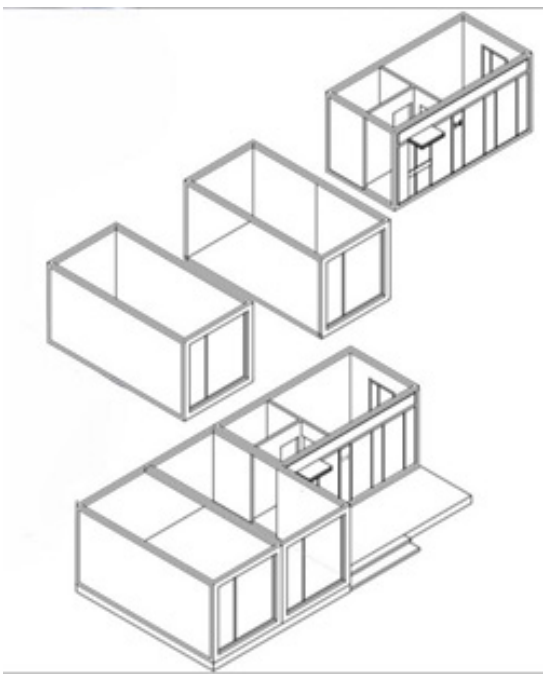
مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

- **سقف:** در این سیستم پیش‌ساخته، سقف از تیرچه‌های فولادی یا شبکه قوطی‌ها تشکیل شده است. تیرچه‌ها باید با ستونک‌های دیوار هم محور باشد. برای اتصال تیرچه‌ها در محل تکیه‌گاه انتهایی و بر روی دیوار، باید از ناودانی‌های u شکل و سخت‌کننده براساس محاسبات استفاده شود. پوشش نهایی از صفحات سازه‌ای، چوبی یا فلزی می‌باشد.

پوشش سقف	مدول
	

- **مدول ساختمانی:** مدول‌ها در ابعاد استاندارد ۲×۴ متر طراحی شده‌اند و با محدودیت‌های حمل‌ونقل سازگاری دارند. همچنین قابلیت ترکیب در آرایش متفاوت افقی و عمودی و... از دیگر ویژگی‌های این مدول‌ها می‌باشد. ترکیب مدول‌ها با آرایش متفاوت، الگوی فضایی منعطفی را ایجاد می‌کند که متناسب با نوع کاربری، می‌تواند به‌صورت واحدهای مسکونی، درمانی، خدماتی، آموزشی و ... استفاده شود.

آرایش مدول‌ها	
	

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

۳-۱. ویژگی‌های معماری، عملکردی و زیست‌محیطی

پیش‌ساختگی در ساختمان‌سازی، صرفه‌جویی قابل‌توجهی در زمان و هزینه ایجاد می‌کند و با بهبود بازده پروژه و کاهش هزینه‌های نیروی کار، همچنین کاهش مصرف انرژی و تولید ضایعات ساختمانی، مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی چشمگیری را فراهم می‌آورد (Tidhar et al., 2021). با این حال، طراحی‌های پیش‌ساخته موجود، به‌ویژه در ایران، اغلب انعطاف‌پذیری لازم برای انطباق با نیازهای متنوع کاربران را ندارند. این محدودیت موجب می‌شود که بسیاری از این واحدها پس از مدتی نیازمند بازسازی یا تغییرات اساسی شوند که خود هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی به همراه دارد (غفوریان و آقایی، ۱۳۹۵). برای رفع این خلأ، در پژوهش حاضر، طراحی دیوارهای داخلی به‌صورت متحرک یا جداشونده مدنظر قرار گرفت تا کاربران بتوانند چیدمان و کاربری فضاها را به‌طور انعطاف‌پذیر تغییر دهند. همچنین امکان توسعه تدریجی بنا از طریق افزودن یا حذف مدول‌ها نیز پیش‌بینی شده است. در طراحی پوسته‌ها، از مصالح سبک و قابل بازیافت استفاده شده که ضمن کاهش بار مرده سازه، عملکرد محیطی ساختمان را بهبود می‌بخشد. بازشوها و نورگیرها براساس اصول نورگیری و تهویه طبیعی و بهینه‌سازی مصرف انرژی طراحی شده‌اند. این ویژگی‌ها، همراه با قابلیت مونتاژ مجدد مدول‌ها، به تحقق معماری پایدار و انعطاف‌پذیر کمک می‌کنند (Thirunavukkarasu et al., 2021; Milovanović et al., 2022).

۳-۲. ملاحظات پایداری و مسیر توسعه آینده

از منظر پایداری شهری، این سیستم بر سه محور کلیدی متمرکز شده است:

- **کاهش زمان ساخت و آلودگی محیطی:** با بهره‌گیری از فرآیند تولید کارخانه‌ای کنترل‌شده، زمان اجرای پروژه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته و همچنین انتشار آلاینده‌ها و ضایعات ناشی از عملیات کارگاهی به حداقل می‌رسد. تولید صنعتی و پیش‌ساخته‌ی مدول‌ها، امکان کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه و مدیریت بهتر منابع را فراهم می‌آورد.
- **امکان استفاده‌ی مجدد و بازیافت اجزا:** طراحی مدولار و قاب فضایی فولادی متراکم، بازسازی، بازیافت و استفاده مجدد از اجزای سازه‌ای و معماری را پس از پایان عمر مفید ساختمان امکان‌پذیر می‌سازد. این قابلیت نه‌تنها هزینه‌های اقتصادی ناشی از تخریب و بازسازی را کاهش می‌دهد، بلکه با حفظ منابع و کاهش ضایعات، سازگاری محیطی و اقتصاد چرخشی را تقویت می‌کند.
- **انطباق اقلیمی و فرهنگی:** الگوی طراحی این سیستم به‌گونه‌ای انتخاب شده است که قابلیت سازگاری با بسترهای متنوع ایران، شامل شرایط اقلیمی، فرهنگی و اجتماعی متفاوت را داشته باشد. انعطاف‌پذیری مدول‌ها، امکان تغییر کاربری فضاها و توسعه تدریجی ساختمان، این سازگاری را تقویت می‌کند و پاسخ مناسبی به نیازهای متغیر کاربران ارائه می‌دهد.

ترکیب طراحی دیجیتال، تحلیل ساختاری پیشرفته و فرآیند ساخت صنعتی کنترل‌شده، می‌تواند این مدل را به الگویی نوین در ساخت‌وساز صنعتی ایران تبدیل کند. کاربردهای این سیستم می‌تواند شامل مسکن موقت، توسعه مناطق روستایی، فضاهای آموزشی و درمانی سیار باشد.

پژوهش‌های آینده می‌توانند به تحلیل کمی رفتار سازه‌ای، ارزیابی عملکرد انرژی، بهینه‌سازی جزئیات اتصالات و انجام ارزیابی چرخه عمر (LCA) بپردازند تا امکان استانداردسازی این الگو در نظام ساخت صنعتی کشور فراهم شود و بهره‌وری و پایداری آن به حداکثر برسد (Wang et al., 2024; Farajian et al., 2022).

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تبیین مدلی نوین از سامانه‌های پیش‌ساخته‌ی مدولار فولادی، کوشیده است تا پیوندی میان فناوری ساخت صنعتی و کیفیت فضایی منعطف معماری برقرار کند. در این راستا، طرح پیشنهادی با بهره‌گیری از ساختار مدولار منسجم فولادی، تولید کارخانه‌ای و اتصالات خشک مکانیکی، الگویی قابل انطباق با شرایط اقلیمی و فرهنگی ایران ارائه داده است که ضمن کاهش زمان و هزینه‌ی ساخت، موجب ارتقای پایداری محیطی و افزایش کیفیت اجرایی بنا گردد. طراحی و ساخت نمونه‌ی واقعی این سیستم نشان داد که فناوری‌های مدلسازی دیجیتال می‌تواند بستری کارآمد برای تحقق فرآیند طراحی تا اجرای یکپارچه در پروژه‌های صنعتی فراهم آورد.

در این سیستم، شبکه افقی فولادی سبک (کف و سقف)، ضمن انتقال بارهای ثقلی، نقش کلیدی در یکپارچگی و پایداری جانبی سازه ایفا می‌کند. بدون آن‌که نیاز به مهاربندهای سنگین یا قاب‌های خمشی پرهزینه باشد. این ویژگی، به‌ویژه در پروژه‌هایی با نیاز به سرعت ساخت بالا (همچون اسکان موقت، فضاهای آموزشی سیار و توسعه‌ی روستایی) اهمیت مضاعفی می‌یابد.

این سیستم نه‌تنها راهکاری برای صنعتی‌سازی ساخت‌وساز است، بلکه بستری برای خلق معماری انعطاف‌پذیر و چند عملکردی فراهم می‌آورد. هر مدول به‌عنوان واحدی مستقل با قابلیت ترکیب و باز چیدمان طراحی شده است

مدیریت شهری
فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۸۲ . بهار ۱۴۰۵
Urban managment
No.82 Spring 2026

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

و این امکان را به طراح می‌دهد تا در پاسخ به نیازهای زمانی و مکانی متفاوت، سازمان فضایی بنا را بازتعریف کند. چنین نگرشی، بیانگر گذار از سازه‌های صرفاً مهندسی‌شده به معماری هوشمند و کاربرمحور است که در آن پایداری، فناوری و زیبایی‌شناسی در یک بستر واحد تلفیق می‌شوند

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ساخت‌وساز مدولار در حوزه‌ی مسکن انعطاف‌پذیر، به دلیل سرعت اجرا، صرفه‌جویی در منابع و قابلیت انطباق با نیازهای متغیر خانوار، به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در پاسخ به بحران کمبود مسکن شناخته می‌شود. سیستم قاب فضایی فولادی متراکم به عنوان یکی از نوآورانه‌ترین روش‌های سازه‌ای در طراحی مسکن مدولار شناخته می‌شود. این سیستم با ترکیب ویژگی‌های سبک‌وزنی، مقاومت بالا و قابلیت مونتاژ سریع، بستری مناسب برای توسعه‌ی مسکن انعطاف‌پذیر فراهم می‌کند.

در مقیاس شهری نیز، توسعه سامانه‌های مسکن مدولار پیش‌ساخته می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در سیاست‌های تأمین مسکن و مدیریت توسعه شهری موردتوجه قرار گیرد. قابلیت تولید صنعتی، سرعت بالای اجرا و امکان توسعه تدریجی این نوع واحدها، امکان پاسخ‌گویی سریع‌تر به نیازهای مسکن در شهرهای در حال رشد را فراهم می‌کند. همچنین انعطاف‌پذیری فضایی و قابلیت ترکیب‌پذیری مدول‌ها می‌تواند زمینه شکل‌گیری الگوهای سکونتی سازگارتر با تحولات اجتماعی، اقتصادی و جمعیتی شهرها را فراهم آورد. در این چارچوب، به‌کارگیری چنین سیستم‌هایی در برنامه‌های توسعه مسکن شهری می‌تواند علاوه بر افزایش بهره‌وری در فرایند ساخت‌وساز، به ارتقای پایداری بافت‌های شهری و بهبود کارآمدی مدیریت شهری در مواجهه با چالش‌های سکونت کمک کند.

توسعه‌ی سامانه‌های پیش‌ساخته‌ی فولادی مبتنی بر طراحی دیجیتال و ساخت ماژولار، می‌تواند به‌عنوان راهبردی مؤثر برای دستیابی به ساخت‌وساز پایدار، مقیاس‌پذیر و باکیفیت در بستر ایران مطرح شود. همچنین پژوهش‌های آینده می‌توانند به تحلیل کمی رفتار سازه‌ای، بررسی عملکرد انرژی و بهینه‌سازی جزئیات اتصالات و انجام ارزیابی چرخه‌ی عمر بپردازند تا مسیر استانداردسازی این الگو در نظام ساخت صنعتی کشور فراهم شود.

References

[1] Mirzaei, Reza. (2017). New Technologies of Prefabricated Architecture. Publisher: Islamic Azad University, Birjand Branch.

[2] Ghafourian, Mitra, and Aghaei, Sepideh. (2016). Identifying and prioritizing flexibility criteria in apartment housing design in Iran. Soffe, 26(74).

[3] Abboudi Ahmadabad, Farrokh; Abboudi Qoldareh, Idris. (2019). Flexible Architecture with Emphasis on Housing. Publisher: Aria Danesh.

[4] Asadi, Hamid. (1400). Flexible Housing: Definitions and Strategies. Publisher: Sanjesh and Knowledge.

[5] Rajabipour, Fatemeh; Ekhlasi, Ahmad; Yazdanfar, Seyed Abbas. (1402). Effective components in the design of prefabricated housing: a systematic review. Fine Arts – Architecture and Urban Planning, 28(1), 64-76.

[6] Ghafourian, Mitra. (2018). Identifying the types of flexibility in the design of Iranian apartment housing. Iranian Scientific-Research Journal of Architecture and Urban Planning, Volume 9, Number 15.

[7] Di Sarno, L., & Forgione, R. (2024). Innovative steel modular housing system for multiple natural hazard mitigation. International Journal of Disaster Risk Reduction, 111, 104734.

[8] Pelsmakers, S. (2022). Housing adaptability: New research, emerging practices and gaps. Buildings and Cities, 3(2), 448–463.

[9] Viriezky, V. (2024). Flexible and sustainable incremental houses. Buildings, 14(2), 278.

[10] Ammari, A; Roosli, R. (2024). A Review of Prefabricated Housing Evolution, Challenges, and Prospects Towards Sustainable Development in Libya. International Journal of Sustainable Development and Planning 19(3):1181-1194.

[11] Chen, L., Zhai, C., Wang, L., Hu, X., & Huang, X. (2022). Modular Structure Construction Progress Scenario: A Case Study of an Emergency Hospital to Address the COVID-19 Pandemic. Sustainability, 14, 11243.

[12] Farajian, M., Sharafi, P., Bigdeli, A., Eslamnia, H., & Rahnamayiezekavat, P. (2022). Experimental Study on the Natural Dynamic Characteristics of Steel-Framed Modular Structures. Buildings, 12(5), 587.

[13] Ismail, Z., & (2024). Spatial flexibility in housing: Establishing conceptual framework for adaptive design model. Journal of Advanced Research Design, 122(1), 163-172.

[14] Kamar, K. A. M., Alshawi, M., & Hamid, Z. A. (2021). Industrialized Building System (IBS): Revisiting Issues of Definition and Classification. Journal of Building Engineering, 42, 102–111.

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]

[15] Kim, S. (2025). Prefabricated and modularized residential construction: Trends and perspectives. Buildings, 15(4), 684.

[16] Ouda, E; Haggag, M. Automation in Modular Construction Manufacturing: A Comparative Analysis of Assembly Processes. Sustainability 2024, 16, 9238.

[17] Parracho, D. F. R., Martins, R., & Silva, R. (2025). Modular construction in the digital age: A systematic review. Buildings, 15(5), 765.

[18] Savvides, A., Athanasiou, E., & Kyprianou, A. (2023). An examination of the design for a prefabricated housing prototype responding to environmental and cost constraints. Scientific Reports, 13(1), 19521.

[19] Su, M., Zhang, Y., & Chen, X. (2022). Research on integrated design of modular steel structure buildings. Advances in Civil Engineering, 2022, 4574676.

[20] Wang, P., Wang, X., Chen, W., Li, Y., & Wang, J. (2024). Research on Integrated Design of Prefabricated Steel Frame Structures Based on BIM Technology With a Focus on Structural Safety. Buildings, 14(8), 2341.

[21] Zohourian, M, Pamidimukkala, A, Kermanshachi Sh & Almaskati, D. (2025). Modular Construction: A Comprehensive Review. Buildings 2025, 15, 2020.

[22] M.M. van der Ham, (2020) Collaboration forms in modular high-rise buildings, An exploratory research into how to organise high-rise buildings with an prefabricated, modular building method, Construction Management & Engineering

[23] Huu-Tai Thaia, Tuan Ngoa, Brian Uy (2020) A review on modular construction for high-rise buildings, Structures · October 2020

[24] Kim, H. (2025). Modular steel framing systems for adaptive architecture: Integration of BIM-based design and prefabrication. Buildings, 15, 2889.

[25] Milovanović, B., Bagarić, M., Gaši, M., & Vezilić Strmo, N. (2022). Case study in modular lightweight steel frame construction: Thermal bridges and energy performance assessment. Applied Sciences, 12(20), 10551.

[26] Thirunavukkarasu, K., Kanthasamy, E., Gatheeshgar, P., Poologanathan, K., Rajanayagam, H., Suntharalingam, T., & Dissanayake, M. (2021). Sustainable performance of a modular building system made of built-up cold-formed steel beams. Buildings, 11(10), 460.

[27] Tidhar, N. (2021). A slack approach to optimised modularisation of prefabricated structures using a multi-variable modularisation index. Automation in Construction, 134, 104043. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104043

[28] Yan, L., Zhang, Y., & Zhang, J. (2024). Seismic life-cycle cost evaluation of steel-braced frames with dense column grids. Engineering Structures, 315, 117018.

[29] Wang, P., Wang, X., Chen, W., Li, Y., & Wang, J. (2024). Integrated BIM-based design workflows for prefabricated steel structures: Structural safety and coordination. Buildings, 14(8), 2341. https://doi.org/10.3390/buildings14082341

[30] Farajian, M., et al. (2022). Experimental study on the dynamic characteristics of modular buildings. Buildings, 12, 587

[31] Li, P., Lu, Y., & Xiao, X. (2024). Proposing a development framework for sustainable architecture, engineering, and construction industry in China: Challenges, best practice, and future directions. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 18, 805–814.

[32] Zhang, Y., Tang, Y. T., & Xie, L. (2026). When digital innovation misaligns: feedback processes across social, ecological, and technological domains in urban water governance. Sustainability Science.

[33] Yu, B., Zhang, Z., Jiang, M., Wang, J., Lee, K. E., Halim, S. A., & Zheng, X. (2026). An evolutionary governance framework for the sustainable management of urban wetlands: integrating theoretical perspectives and practical applications. Sustainability Science, 21, 809–837.

[34] Amjadi, M. H., Shakiba, A., & Jalaei, S. A. (2021). Evaluation of the performance of the fourth and fifth development plans in the field of urban housing. Urban Economics and Management, 11(44)

[35] Sharifi, M., Abdollahzadeh-Taraf, A., Setarzadeh, D., & Shah-Hosseini, H. (2026). Pathology of the housing planning system for low-income groups with a livability approach in Kermanshah city. Journal of Studies in Human Settlements Planning,.

[Downloaded from ijurm.imo.org.ir on 2026-11-26]