Volume 4, Issue 11, August 2025, 1130-1145.

Online ISSN: 3041-9255

**Journal of Human Ecology**

journal homepage: http://www.landscapeecologyjournals.ir/

Research Paper

# Design of a deployable foldable structure using lightweight prefabricated materials

**Roghayyeh Haghi [1], Tahereh Akbari [2], Ghader Alipour [3], Negin Yari [4], Yavar Rostamzadeh [*5]**

1 Master's student in Architectural Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2 Department of Architecture Engineering, Ard. C., Islamic Azad University, Ardabil, Iran.

3 Graduated with a Bachelor of Architecture degree from University of Guilan, Rasht, Iran.

4 Graduated with a Master's degree in Architectural Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

5 Assistant Professor, Department of Architecture, University of Mohaghegh Ardabili.

**Keywords**

Deployable structure,
Prefabricated foldable house,
Light Steel Frame (LSF).

**A B S T R A C T**

Due to population growth, urbanization, and the increasing need for housing, the use of modern construction technologies, especially prefabricated systems, has become important. Among these, deployable and expandable structures – a type of transformable structure that changes configuration from a compact, packaged state to an operational, expanded state – have gained attention. Important advantages of these structures include modularization, transportability, speed of execution, cost reduction, and high flexibility. This research aims to investigate and present a novel solution in the design of prefabricated, expandable, foldable, and portable houses based on the Light Steel Frame (LSF) system. The research methodology includes library studies, analysis of similar examples, and structural simulation using engineering software. The results show that using modular design, flexible connections, and modern construction technologies can increase efficiency, reduce construction time and costs, and improve the structural performance of such buildings. Furthermore, the use of standard components, rapid assembly systems, and lightweight materials enables easy transport of these structures. Finally, this research provides a framework for developing deployable, expandable, prefabricated houses with high adaptability that can be used effectively in crisis situations, as temporary shelters, in construction projects, and as mobile homes for tourism projects.

*Corresponding Author.

Email Addresses: rostamzadeh@uma.ac.ir.

Haghi, R., Akbari, T., Alipour, G., Yari, N., and Rostamzadeh, Y. (2025). Design of a deployable foldable structure using lightweight prefabricated materials. Human Ecology, 4(11), 1130-1145.

**Doi: https://doi.org/10.22034/he.2026.586539.1231**

سال چهارم، شماره یازدهم، تابستان ۱۴۰۴، ۱۱۳۰-۱۱۴۵.

شاپای الکترونیکی: ۹۲۵۵-۳۰۴۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

http:// www.landscapeecologyjournals.ir

مقاله پژوهشی

# طراحی سازه قابل استقرار تاشونده با مصالح سبک پیش ساخته

رقیه حقی[۱]، طاهره اکبری[۲]، قادر علیپور[۳]، نگین یاری[۴]، یاور رستم‌زاده*[۵]

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲ گروه مهندسی معماری، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

۳ فارغ‌التحصیل کارشناسی معماری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۴ فارغ التحصیل کارشناسی ارشدمهندسی معماری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۵ استادیار گروه معماری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

**چکیده**

**با توجه به افزایش جمعیت، شهرنشینی و نیاز روزافزون به مسکن، استفاده از فناوری‌های نوین ساختمانی به‌ویژه سیستم‌های پیش‌ساخته اهمیت یافته است. در این میان، سازه‌های قابل استقرار و گسترش‌پذیرکه نوعی سازه تغییر شکل‌دهنده هستند و می‌توانند ساختار خود را از یک پیکربندی فشرده و بسته‌بندی شده به یک پیکربندی عملیاتی و گسترده تغییر دهند، مورد توجه قرار گرفته است. از مزایای مهم این سازه‌ها می‌توان به امکان مدولارسازی، قابلیت حمل و جابه‌جایی، سرعت اجرا، کاهش هزینه‌ها و انعطاف‌پذیری بالای اشاره کرد. این پژوهش با هدف بررسی و ارائه راهکاری نوین در طراحی خانه‌های پیش‌ساخته گسترش‌پذیرتاشو و قابل حمل مبتنی بر سیستم قاب سبک فولادی (LSF) انجام شده است. روش تحقیق شامل مطالعات کتابخانه‌ای، تحلیل نمونه‌های مشابه و شبیه‌سازی ساختاری با استفاده از نرم‌افزارهای مهندسی بوده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری طراحی مدولار، اتصالات انعطاف‌پذیر و فناوری‌های نوین ساخت، می‌تواند منجر به افزایش کارایی، کاهش زمان و هزینه اجرا، و بهبود عملکرد سازه‌ای این نوع ساختمان‌ها شود. همچنین، استفاده از اجزای استاندارد، سیستم‌های مونتاژ سریع و مصالح سبک، قابلیت جابه‌جایی آسان این سازه‌ها را فراهم می‌کند. در نهایت، این پژوهش چارچوبی برای توسعه خانه‌های پیش‌ساخته قابل استقرار و گسترش‌پذیر با قابلیت تطبیق‌پذیری بالا ارائه می‌دهد که می‌تواند در شرایط بحران، سکونت گاه‌های موقت، پروژه‌های عمرانی و خانه سیار در پروژه‌های توریستی کاربرد مؤثری داشته باشد.**

**واژگان کلیدی**

**سازه قابل استقرار؛ خانه تاشونده پیش‌ساخته؛ قاب سبک فولادی (LSF).**

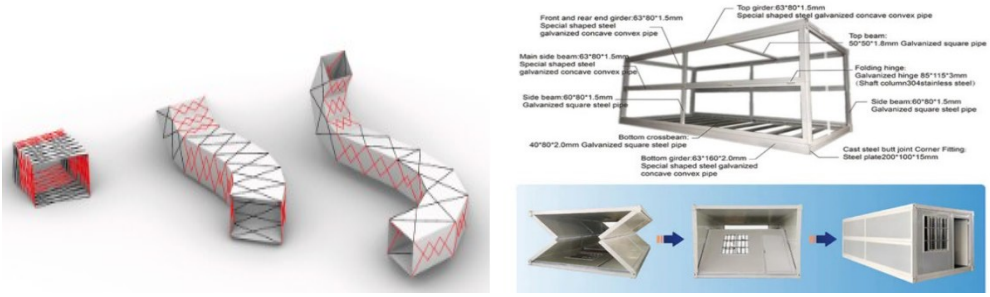
اسکن کنید

**ارجاع به این مقاله:** حقی،رقیه ، اکبری،طاهره ، علیپور،قادر ، یاری،نگین و رستم زاده،یاور . (۱۴۰۴). طراحی سازه قابل استقرار تاشونده با مصالح سبک پیش ساخته. اکولوژی انسانی، ۴(۱۱)، ۱۱۴۵-۱۱۳۰.

## ۱. مقدمه

سازه‌های قابل استقرار و گسترش‌پذیر، نوعی سازه تغییر شکل‌دهنده هستند که قادرند از یک پیکربندی فشرده و بسته‌بندی‌شده به یک پیکربندی گسترده و عملیاتی تغییر یابند (Chang B et al, 2024). این ویژگی امکان استفاده بهینه از فضا، سهولت در حمل‌ونقل و افزایش کارایی را فراهم می‌کند. همچنین استفاده از مصالح سبک وزن برای به حداقل رساندن جرم و در عین حال حفظ استحکام، در کنار ویژگی‌هایی چون امکان جداسازی قطعات، امکان مدولارسازی را میسر می‌سازد و باعث افزایش عمر مفید سازه و کاهش ضایعات در مقایسه با ساخت و سازهای معمول می‌گردد. به دلیل این مزایا، استفاده از آنها در زیرساخت های اضطراری و موقت، نماهای دینامیکی و سیستم سقف‌های متحرک کاربردهای گسترده‌ای دارد (Sychterz A. C, 2025 & Baruah A. C).

در واقع این مکانیسم‌ها، با تغییر شکل از تا شده و فشرده به یک فرم باز شده و گسترده ، به طور موثری تضاد بین حجم ذخیره‌سازی کوچک و مقیاس استقرار بزرگ را متعادل می‌کنند (Meng Q et al, 2025).

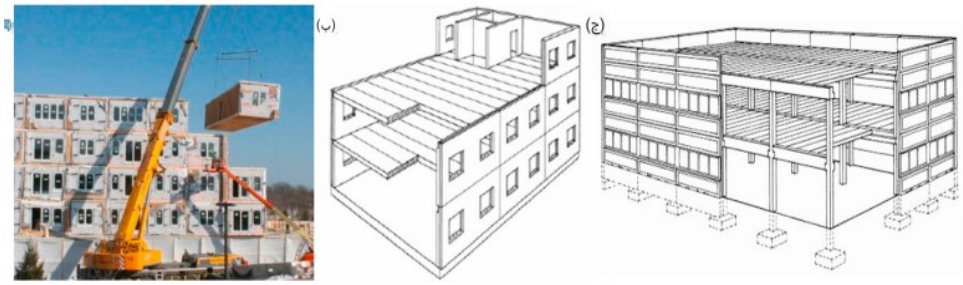



Eita Tsuda, et al, 2022 https://hobbsdisplays.com.au

**شکل ۱، سازه های قابل استقرار و گسترش پذیر**

مسئله تامین زمین برای ساخت، هزینه بالای مصالح و ساختمان‌سازی، کمبود منابع و زیرساخت‌ها، همگی نیاز به مسکنی امن، با کارایی و انعطاف‌پذیری مناسب برای سازگاری با نیازهای کاربران و استفاده‌کنندگان را بیش از گذشته ملموس می‌سازد. صنعت ساختمان همواره از روش‌های جدید و نوظهور بهره برده است تا به اشکال مختلف پاسخگوی نیازهای رو به رشد انسان باشد. در کشورهای توسعه یافته، این صنعت در تلاش است تا با کمک فناوری‌های رو به رشد و هوشمند، ایمنی،کارایی و بهره‌وری را بهبود بخشد (Motamedmanesh & .Nahri Z M., 2025) یکی از این روش‌ها پیش‌ساخته‌سازی است. یکی از این روش‌ها پیش‌ساخته‌سازی است. ساخت و ساز پیش ساخته در سال های اخیر در سرتاسر جهان رایج شده است. قدمت ساختمان های پیش ساخته می تواند به سال ۱۹۴۰ برگردد، زمانی که کاربردهای آنها در کشورهای مختلف یافت شد و به سرعت در سراسر جهان گسترش یافت. با توسعه ساختمان های پیش ساخته به تدریج ویژگی های آنها مشخص می شود (Yuan Z. Sun C. & Wang Y., 2021)؛ ویژگی های اساسی که با غیر پیش ساخته متفاوت است.این نوع ساخت و ساز در مقایسه با روش‌های سنتی ساخت و ساز در محل، به دلیل سهولت ساخت، دوره کوتاه تر ساخت، کاهش نیاز به نیروی کار، کنترل با کیفیت بالا به دلیل پیش ساخته بودن، و هدر رفتن کمتر مصالح، مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه فناوری ساخت و ساز پیش ساخته بیش از ۱۰۰ سال وجود داشته است، در دهه گذشته، در بسیاری از کشورها از جمله استرالیا (Navaratnam S. Ngo T. Gunawardena T. & Henderson D., 2019) ، سنگاپور (Liew J. Y. R. Chua Y. S. & Dai Z., 2019) ، انگلستان (Perampalam G et al, 2019) و چین (Yu S. e., 2021) با توجه به مزایای این روش نسبت به روش های ساخت و ساز سنتی، توسعه بیشتری پیدا کرده است. ساختمان‌های پیش ساخته با داشتن سیستم ساخت و ساز خشک می توانند تا حدی در طول مرحله استفاده از هم جدا شوند و امکان تعمیر و نگهداری یا پیکربندی مجدد فضای داخلی و همچنین به حداقل رساندن تولید زباله را فراهم کند. در پایان عمر بنا نیز، ساختمان‌ها را می‌توان به طور کامل جدا و مجددا استفاده کرد و یا اینکه بازیافت نمود. با این حال، پیش‌ساخته‌سازی ممکن است چالش‌هایی مانند محدودیت‌های لجستیکی و حمل و نقل دشوار و بسته‌بندی حجیم و سنگینی همراه داشته باشد (Tavares V. Soares N. Raposo N. Marques P. & Freire F, 2021). برای حل این‌گونه چالش‌ها، طرح پیشنهادی پژوهش حاضر، با افزودن قابلیت تاشدن و جمع شوندگی به سازه از پیش ساخته شده و کامل، مشکلات حمل و نقل قطعات بزرگ پیش ساخته و همچنین نصب و مونتاژ آنها را مرتفع نموده و سازه با تراکم پذیری مناسب به راحتی قابل حمل و جابه‌جایی می‌باشد. تراکم پذیر ی این سازه به ۳/۱ ابعادپایه آن حمل و نقل آن راسریع و

با حداقل هزینه انجام می دهد. این قابلیت ها سازه را برای ساختمان های موقتی مانند خانه های مسکونی قابل جابه جایی، نمایشگاه ها، سکونتگاه های موقت یا بیمارستان در مناطق آسیب دیده مناسب می کند.



**شکل ۲، الف) ساختمان پیش‌ساخته حجمی. ب) ساختمان پیش‌ساخته پانلی. ج) ساختمان قاب پیش‌ساخته**
(Sah, Lacey, Hao & Chen, 2024)

سازه‌های پیش‌ساخته را می‌توان در دسته‌بندی‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد؛ آنها را می‌توان بر اساس عملکرد یا نوع اتصالات یا در نظر گرفتن سیستم‌های قاب و یا بر اساس سیستم‌های عنصری و سیستم‌های ساختمانی، به صورت زیر دسته‌بندی کرد: ۱- سیستم‌های کف و سقف، ۲- سیستم‌های دیوار. ۳- سیستم‌های تیر و ستون. برای انتقال نیروها و گشتاورهای ناشی از بارهای عمودی و جانبی، باید تک تک عناصر به درستی به هم متصل شوند، از این رو، درک عملکرد اتصالات مورد استفاده در سازه های پیش ساخته ضروری است. اتصالات باید دارای استحکام بالا بوده و شکل پذیری مطلوبی را برای رفتار الاستیک-پلاستیک در مواقع بارگذاری جانبی شدید فراهم کنند. بنابراین استفاده از اتصالات انعطاف پذیر با مقاومت بالا در سیستم های پیش ساخته یا کاهش نیروهای وارده بر آنها اهمیت دارد. معمولاً سازه‌های قاب دار از چهار نوع اتصال بهره می‌برند. یعنی تیر به ستون، تیر به تیر، ستون به ستون و ستون به پایه (Baghdadi A. Heristchian M. & Kloft H, 2021). در این راستا تلاش هایی با هدف تولید و تکامل اتصالات جدید تحت بارهای مختلف انجام شده است. در دهه‌های اخیر، فناوری‌های نوین ساخت‌وساز به منظور افزایش بهره‌وری، کاهش زمان اجرا و بهینه‌سازی مصرف منابع توسعه یافته‌اند. در میان این فناوری‌ها، استفاده از سیستم‌های پیش‌ساخته مدولار، به‌ویژه قاب سبک فولادی (LSF)، به دلیل وزن کم، قابلیت مونتاژ سریع، مقاومت بالا و امکان جابه‌جایی آسان، جایگاه ویژه‌ای یافته است (Liew J. Y. R. et al, 2019) . این سیستم‌ها علاوه بر کاهش هزینه‌های ساخت، به بهبود عملکرد سازه‌ای و افزایش ایمنی در برابر زلزله و شرایط محیطی کمک می‌کنند (Yu S. e., 2021). با این حال، چالش‌هایی مانند محدودیت‌های حمل‌ونقل، بسته‌بندی حجیم و نیاز به بهینه‌سازی فرآیند مونتاژ همچنان مطرح هستند (Nahri Z. et al, 2025) . در این پژوهش، با بررسی نمونه‌های مشابه و تحلیل ساختارهای تاشونده و گسترش‌پذیر، راهکاری نوین برای طراحی خانه‌های تاشو و قابل حمل ارائه می‌شود. هدف اصلی، توسعه سیستمی است که ضمن حفظ استحکام و پایداری، قابلیت حمل‌ونقل آسان، انعطاف‌پذیری در استفاده و کاهش هزینه‌های اجرایی را فراهم کند.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

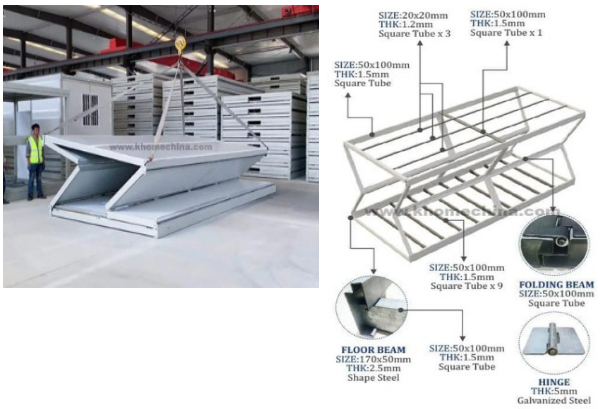
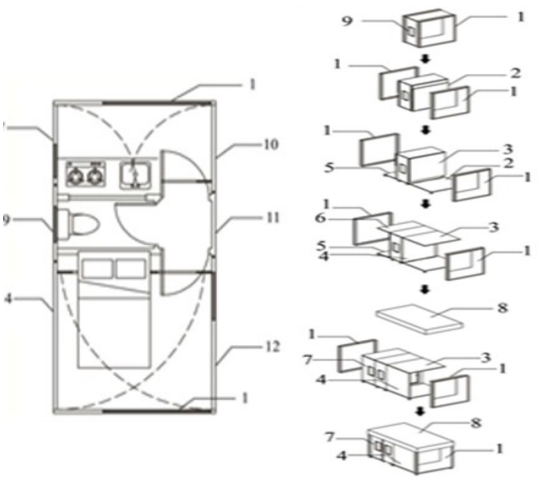
سازه ها ی قابل استقرار و تاشونده را می‌توان در چهار گروه اصلی طبقه بندی کرد: سازه های میله ای فضایی متشکل از میله‌های لولایی، سازه های صفحه تاشو متشکل از صفحات لولایی؛ سازه‌های تنسگریتی; و ساختارهای غشایی، به دلیل کاربرد گسترده آنها در زمینه معماری متحرک و گسترش‌پذیر و منعطف، کاربردهای فراوانی دارد (Doroftei I. A. Bujoreanu C. & Doroftei I., 2018). این سازه‌ها، به دلیل ویژگی‌هایی همچون کاهش حجم، قابلیت حمل‌ونقل و همچنین قابلیت باز و بسته شدن سریع، در پروژه‌های متنوعی همچون نمایشگاه ها، استادیوم‌ها، فضاهای موقت، ایستگاه‌های مترو، پروژه‌های پناهگاهی، یا حتی پروژه‌های مسکونی کوچک و فضاهای تجاری و دیگر ساختارهای که نیاز به حمل و نقل و تغییرپذیری دارند، قابل استفاده است؛ همچنین در شرایطی که نیاز به تغییرات موقتی در فضا باشد، به طراحان این امکان را می‌دهند که سازه را به راحتی تطبیق داده و برای نیازهای خاص باز و بسته و جابه‌جا کنند. بسیاری از این سازه‌ها از ترکیب مکانیزم‌های مختلفی مانند قیچی‌سان، اوریگامی و لولاهای متحرک بهره می‌برند که به سازه‌ها، انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری بالایی می‌دهد. درباره‌ی سازه های قابل استقرار و گسترش‌پذیر، پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است که به بررسی جنبه های مختلف طراحی، ساخت و کاربرد این نوع سازه‌ها پرداخته اند. در این قسمت به بررسی نمونه‌ای از این پژوهش‌ها در قالب مصادیق نظری (بررسی مقالات) و مصادیق عملی (بررسی نمونه‌های موردی) پرداخته شده است تا با شناخت کافی در این حوزه، سازه تاشونده مبتنی بر LSF طراحی گردد. در جدول ۱، مصادیق نظری و مقالات ارائه شده با محوریت ساختارهای قابل استقرار ارائه شده است.

**جدول ۱. پیشینه پژوهش، منبع نگارنده**

| ردیف | عنوان | نام پژوهشگر و سال انتشار | یافته ها | منبع |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | Deployable scissor structures: Classification of modifications and applications | Yuan liao, 2024 et al | این مقاله به بررسی جامع سازه های قیچی سان تاشونده می پردازد که به خاطر انعطاف‌پذیری بالا و نرخ گسترش‌پذیری مناسب، در حوزه‌های مختلفی مانند سازه‌های متحرک و موقت، فضاهای ماژولار و... کاربرد دارد | Automation in Construction Volume 165 |
| ۲ | Large-scale modular and uniformly thick origami-inspired adaptable and load-carrying structures | Yi zhu, Et 2024 al | این مقاله ساختارهای الهام گرفته از اوریگامی معرفی می‌کند که هم تطبیق‌پذیرند و هم قادر به تحمل بارهای سنگین و بزرگ مقیاس هستند. این سازه‌های ماژلار در ساخت و سازهای متحرک، هوافضا، رباتیک و... کاربرد دارند | Nature Communication |
| ۳ | Origami-based adaptive facade for reducing reflected solar radiation in outdoor urban environments | Marco mel 2023 oni | در این پژوهش، سازه‌های اوریگامی قابل‌گسترش برای سیستم‌های سایه‌بان تطبیقی معرفی شده‌اند. طراحی این سازه‌ها به گونه‌ای است که بتوانند با تغییر شرایط محیطی، به‌صورت خودکار باز و بسته شوند و سایه‌ی مطلوبی ایجاد کنند.. | Sustainable Cities and Society Volume 97, |
| ۴ | Design and Analysis of an Origami-inspired Modular Thick-panel Deployable Structure | Zhipeng fa 2024 n | این مقاله به بررسی سازه‌های تاشونده با استفاده از مکانیزم اوریگامی و پانل‌های ضخیم می‌پردازد. نویسندگان روش‌هایی را برای طراحی و ساخت این سازه‌ها ارائه داده‌اند که می‌تواند در پروژه‌های مختلفی مانند سازه‌های موقت و قابل حمل و جابه‌جایی، مهندسی هوافضا و سایر کاربردهایی که نیاز به سازه‌های گسترش‌پذیر و مقاوم دارد، استفاده گردد. | International Journal of Mechanical Sciences Volume 282 |
| ۵ | A Study of Deployable Structures Based on Nature Inspired Curved-Crease Folding | Gaurab sundar dutta 2024 | این پژوهش، با الهام از مکانیزم‌های رشد در گیاهان، به‌ویژه نحوه خم شدن برگ‌ها و ساقه‌ها، به توسعه ساختارهای تاشو با استفاده از تاهای منحنی می‌پردازد. هدف اصلی، ایجاد سازه‌هایی است که بتوانند به‌صورت فشرده جمع شوند و به راحتی گسترش یابند. این ساختار گسترش‌پذیر، در زمینه‌های مختلفی مانند ساختارهای قابل حمل، پناهگاه‌های اضطراری و سازه‌های فضایی کاربرد دارند. | Polymers 2024, 16, 766 |
| ۶ | A foldable temporary shelter design | İrem yetkin, 2024 et al | این پژوهش به بررسی یک پناهگاه موقت تاشو می‌پردازد که برای پاسخگویی به شرایط بحرانی طراحی شده است. ویژگی‌های ماژولار، قابلیت حمل و نصب سریع و امکان اتصال چندین واحد و ایجاد فضاهای بزرگتر از نکات برجسته این طرح است. | Proceedings of the IASS Symposium 2024 Redefining the Art of Structural Design |
| ۷ | An Overview on the Applications of Mechanisms in Architecture. Part II: Foldable Plate Structures | I a doroftei, 2018 et al | این پژوهش به بررسی ساختارهای تاشو در معماری می‌پردازد. این ساختارها،که از اصول صفحات لولادار و اوریگامی الهام گرفته‌اند، امکان ایجاد فضاهای پویا، سبک و قابل حمل را فراهم می‌کند که در سازه های متحرک و موقت کاربرد دارد. | The 8th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering |

معماری قابل تغییر و انعطاف‌پذیر، مشابه معماری ایستا، نیازمند یک سیستم مدیریت و نگهداری با برنامه ریزی دقیق است تا ایمنی کاربران را تضمین کند و عملکرد مطلوب ساختمان را چه از نظر معماری و چه از نظرسازه تضمین کند. همچنین باید با نیازهای کاربران قابل تنظیم باشد و بتواند به طور مداوم بر اساس نیازهای کاربران تغییر کند و در گسترش و استقرار و حمل و نقل عملکرد مناسبی داشته باشد. این سازه باید به گونه ای طراحی شود که در هنگام نصب به عنوان یک اثر معماری، سازه و هنری خوب در نظر گرفته شود. یک طراحی خوب در این زمینه باید هنر، معماری، علم و عملکرد را با هم ادغام کند (Doroftei I. A., 2018) . همچنین حرکت و مفصل بندی باید ساختاری ایمن، روان و قابل اعتماد داشته باشد (Liao Y. & Krishnan S., 2024). اتصالات بین صفحات منفرد به خودی خود می تواند حجیم باشد و بنابراین ساختاری با قابلیت تاشوندگی که حجم و فضای کمتری اشغال می‌کند و می‌تواند به یک ساختار سه بعدی قابل گسترش تبدیل شود، فضایی با عملکرد بهتر و بزرگتر را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. جزئیات و استراتژی‌های مدیریت نگهداری وتعمیرات انتخاب شده باید عملکرد موثر و کارآمد سازه را در هر دو حالت باز و بسته و در طول فرآیند تبدیل در نظربگیرد. از دیگر موارد مهم و لازم که در طراحی و اجرای سازه تاشونده و تبدیل پذیر باید در نظر گرفته شود، هزینه‌های ساخت، جاری و هزینه های نگهداری پروژه است. همچنین به دلیل ماهیت تغییرپذیری که بارها باز و بسته شدن سازه را به همراه دارد، باید تمهیدات خاصی لحاظ گردد (Ahangar S., 2012 & Asefi M). در جدول ۲، برخی از ویژگی‌های ساختاری نمونه های مشابه بررسی شده است.

**جدول ۲، بررسی نمونه‌های موردی**

| جزییات طرح | ویژگی‌های اصلی |
|---|---|
| steemit.com | ساخت سریع و نصب آسان<br>قابل استفاده در دفعات زیاد<br>قابل حمل و جابه جایی<br>ضد آب و ضد حریق<br>قابل گسترس و انعطاف پذیر<br>استفاده از مصالح مقرون به صرفه و اقتصادی<br>سازگار با محیط زیست<br>قابل بازیافت |
| https://khomechina.com/folding-container-house   | سیستم ماژولار<br>مکانیزم خود استقرار<br>ساخت سریع و نصب آسان<br>قابل استفاده در دفعات زیاد<br>قابل حمل و جابه جایی<br>ضد آب و ضد حریق<br>انعطاف پذیر<br>استفاده از مصالح مقرون به صرفه و اقتصادی<br>سازگار با محیط زیست<br>قابل بازیافت |
| Hui Yu, et al, 2018  | سیستم ماژولار<br>قابلیت مونتاژ و جداسازی<br>ترکیب های مختلف فضایی<br>قابل استفاده در دفعات زیاد<br>قابل حمل و جابه جایی<br>ضد آب و ضد حریق<br>انعطاف پذیر<br>استفاده از مصالح مقرون به صرفه و اقتصادی<br>سازگار با محیط زیست<br>قابل بازیافت |

پس از بررسی نمونه های مشابه که ساختاری تاشو، گسترش‌پذیر و قابل حمل دارند، در طراحی مدل پیشنهادی، ویژگی‌هایی مانند قابلیت جابه‌جایی و حمل‌و نقل، سریع الاحداث، مدولار با استفاده از مصالح پایدار و دوستدار محیط‌زیست که قابلیت استفاده از انرژی‌های پایدار و تجدیدپذیر با بهرمندی از تکنولوژی روز دنیا، لحاظ گردید. مهمترین ویژگی‌های در نظر گرفته شده جهت طراحی مدل پیشنهادی در جدول ۳ نشان داده شده است.

**جدول۳. ارزیابی و تحلیل ساختار پیشنهادی منبع: نگارندگان**

| | |
|---|---|
| سهولت اجرا | استفاده از اجزای مدولار و اتصالات ساده در ساختار پیشنهادی ، باعث شده بدون استفاده از کارگران مجرب قابل نصب و استقرار باشد. باتوجه به امکانات و تجهیزات موجود در مقصد می‌توان از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف استفاده کرد. |
| استفاده مجدد و کاهش هزینه‌ها | چون این سازه تاشو کامل و اماده نصب و استقرار برای استفاده کاربران است، در زمان و هزینه های دوران ساخت صرفه‌جویی می‌شود. انتقال پذیری و توانایی سازه در پیکربندی‌های مختلف، سازه را قابل استفاده مجدد می‌کند و این به‌نوبه خود هزینه‌های آتی را کاهش می‌دهد. به دلیل انعطاف‌پذیری و سازگاری اجزا و اتصالات سازه، امکان استفاده از سازه در شرایط اقلیمی مختلف و پیکربندی چیدمان متفاوت وجود دارد. طراحی مدولار هزینه‌های ساخته شده را کاهش می‌دهد. |
| زیبایی و کارایی | ساختار با استفاده از عناصر مدولار، زیبایی و کارایی مناسب را به همراه داشته و همچنین می‌تواند متناسب با نیاز کاربر تغییر کند و جابه‌جا شود. |
| تعمیر و نگهداری | قطعات آسیب دیده و معیوب به دلیل سهولت در اتصالات و مدولار بودن قابل تعمیر و یا تعویض هستند. |
| گسترش و استقرار و حمل ونقل | قابلیت تاشوندگی و گسترش‌پذیری این سازه، امکان حمل‌ونقل آسان را فراهم می‌کند. |

## ۲.۱. بررسی مبانی نظری

تأمین مسکن مناسب و مقرون‌به‌صرفه، کشورهای صنعتی و در حال توسعه را با چالش بزرگی مواجه کرده است. ساخت‌وساز متعارف و سنتی، بهره‌وری مناسب به‌ویژه در مراکز شهری متراکم و مناطق روستایی یا دورافتاده ندارند. از این رو با توجه به ناکارامدی این روش‌ها، پیش‌ساخته‌سازی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و موثرترین روش‌های ساخت و ساز، مطرح می‌گردد (Dave M. Watson B. & Prasad D., 2017) صرفه‌جویی در زمان، کاهش هزینه، ایمنی در محل، کیفیت بالاتر محصول، نیاز کمتر به نیروی کار ماهر، بهره‌وری بالاتر، ضایعات کمتر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از مهم‌ترین مزایای پیش‌ساختگی محسوب می‌شود (Yu S. e., 2021) این مزایا در بسیاری از کشورها از جمله ایران، انگیزه‌ی فزاینده‌ای برای بهره‌گیری از صنعتی‌سازی و سرمایه‌گذاری در این خصوص ایجاد کرده است (Yazdanfar S. A., 2023 & .Rajabipour F. Ekhlasi A) کارامدی صنعتی‌سازی در توسعه ساخت و ساز، مستلزم رعایت مؤلفه‌ها و مواردی است که با درنظر گرفتن آنها می‌توان از مزایای آن به خوبی بهره‌مند شد. در جدول ۴، مهم‌ترین و کارامدترین مؤلفه‌ها ارائه شده است.

**جدول ۴. مولفه های صنعتی سازی در توسعه ساخت و ساز اقتباس از (رجبی‌پور و همکاران، ۱۴۰۲)**

| چارچوب مفهومی اولویت‌بندی به‌کارگیری مؤلفه‌های مؤثر در طراحی مسکن پیش‌ساخته | |
|---|---|
| فنی | در نظر گرفتن مهارت (دانش فنی) کارگران و ظرفیت کارخانه برای تولید قطعات |
| زیست محیطی | بهینه‌سازی جذب و استفاده از انرژی خورشیدی (آب گرم خورشیدی–تبدیل انرژی به الکتریسیته و...) |
| کارکردی | تفکیک ساختمان به دو بخش: ساختار اصلی سازه‌ای برآورده کننده الزامات سازه‌ای ساخت و ساز + ساختار پرکننده پاسخگوی انعطاف‌پذیری<br>افزایش قابلیت مشارکت کاربران در فرایند طراحی |
| اقتصادی | استفاده از مصالح و قطعات استاندارد ارزان، در دسترس و موجود در بازار به منظور کاهش هزینه‌های ناشی از تولید قطعات غیر استاندارد<br>استفاده از تجهیزات و حمل و نقل در دسترس و به صرفه‌تر و در نظر گرفتن این مسئله در طراحی ابعاد و وزن قطعات |
| اجتماعی_فرهنگی | پاسخگویی به شرایط در حال تغییر اجتماعی، فرهنگی و سیاسی و تاثیر آن بر تفکر، ایدئولوژی و سبک زندگی<br>افزایش سطح مقبولیت عمومی–فرهنگی سیستم<br>درنظر گرفتن تقاضا بازار و منطقه برای انتخاب نوع مصالح |
| اقلیمی | استفاده از استراتژی‌های تهویه‌ی غیرفعال نظیر اثر یوتیجو، دودکش خورشیدی، بادگیر و...<br>فعال‌سازی جداره پیرامونی به عنوان بخشی از سیستم تکنولوژیکی ساختمان در جهت تنظیم دما متناسب با شرایط |
| زیبایی شناسی کالبدی | همسازی با طبیعت (بهره‌گیری از زیبایی‌شناسی اکولوژیکی) |

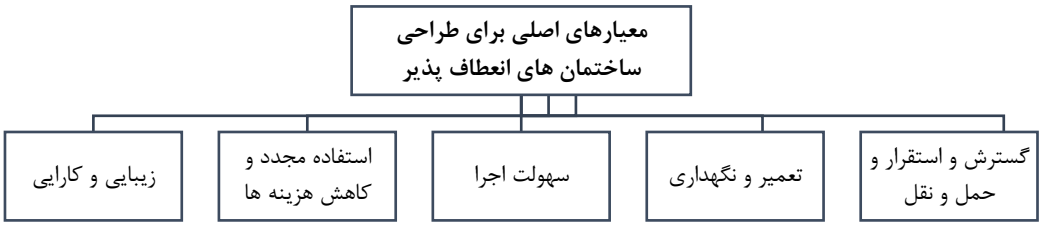
## ۲.۲. سیستم قاب سبک فولادی LSF

ساخت و ساز LSF در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است و محبوبیت آن برای استفاده در خانه های مسکونی و بلوک های آپارتمانی در حال افزایش است؛ این نوع ساخت و ساز مزایای خاصی نسبت به ساخت و سازهای سنگین دارد، مانند: وزن کمتر با استحکام مکانیکی بیشتر و سرعت ساخت و ساز بالا؛ پتانسیل مناسب برای بازیافت و استفاده مجدد؛ انعطاف پذیری معماری بالا برای اهداف مقاوم سازی؛ پیش ساخته آسان که امکان ساخت مدولار را فراهم می کند، مناسب برای تولید انبوه. اقتصاد در حمل و نقل و جابجایی؛ کیفیت برتر و استانداردهای بالا که با کنترل تولید خارج از محل به دست آمده است.LSF یک سیستم ساخت و ساز ساختمان متشکل از مواد خشک است که عمدتاً برای ساختمان های مسکونی کم ارتفاع به کار میرود. این سیستم ساخت و ساز خشک را می توان با سه ماده اصلی که در دیوارها و دال ها استفاده می شود مشخص کرد: بخش های فولادی سرد برای تحمل بار. پانل های روکش دار مانند تخته رشته ای جهت دار (تخته گچی) و مواد عایق مانند پشم معدنی و پلی استایرن منبسط شده (Sah, 2024).

سیستم قاب سبک فولادی با نام اختصاری ال اس اف، از مقاطع سرد نوردشده فولادی یا "سی اف اس" ساخته می‌شود. این سیستم در صنعت ساختمان سازی کاربردهای متنوعی چون ساختمانهای کوتاه‌مرتبه، میان‌مرتبه، طبقاتی و اضافه طبقه دارد. اجزای مورداستفاده در این سیستم، نیمرخ‌های فلزی حاصل از نورد سرد ورقهای فولادی با ضخامتهای ۰.۴۵ تا ۲.۵ میلیمتر می‌باشد. جهت محافظت این عناصر در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی از آلیاژ روی به ضخامت ۴۰ تا ۱۲۰ میکرون استفاده می‌شود. سیستم قاب سبک فولادی، در قالب کلی سیستمهای دیوار باربر قرار می‌گیرد. عناصر باربر ثقلی متشکل از مقاطع منفرد و یا ترکیبی و عمدتاً سی یا یو شکل و یا ترکیب این مقاطع می‌باشند. دیوارها از آرایش اجزای عمودی سی شکل( استاد)، که در بال و پایین در داخل اجزای افقی یو شکل( رانر یا تراک ) مهار شده‌اند، تشکیل می‌شود. اجزای باربر سقف نیز عمدتاً با استفاده از مقاطع منفرد و یا ترکیبی سی، یو و زد شکل می‌باشد. سقف طبقه آخر نیز غالباً به صورت شیبدار و با استفاده از خرپاهای متشکل از پروفیل‌های سردنورد اجرا می‌گردد. اتصالات در سیستم قاب سبک فولادی معمولا به صورت سرد و با پیچهای خودکار سرمته‌ای انجام می‌شود. در موارد محدود امکان استفاده از انواع اتصالات دیگر مثل پیچ و مهره، پرچ یا جوش نیز مقدور می‌باشد (Yeganeh, 2017). مزایای دیگری چون: مقاومت در برابر زلزله، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سهولت نگهداری و تعمیرات، وجود مواد اولیه در داخل کشور، امکان مدولار و استانداردکردن، امکان پیش‌ساخته کردن پانلها، امکان تولید قطعات در محل اجرا، سهولت اجرای تأسیسات برقی و مکانیکی، تطابق با آیین‌نامه‌های رایج ساختمانی، محاسبات سازه‌ای دقیق نیروها، رعایت کلیه مسائل اتلاف انرژی حرارتی و برودتی، تنوع طراحی و تولید بنا با نماهای متفاوت به درخواست کارفرما و هماهنگ با معماری محل، استفاده دائم به عنوان ساختمانی با طول عمر بالا و مشابه با ساختمانهای سنتی، بازگشت سریع سرمایه اولیه، سازگاری با محیط زیست و رعایت اصول ساخت و ساز پایدار، دوام و پایداری سازه و افزایش عمر مفید ساختمان (Yeganeh, 2017)، باعث شده است سیستم انتخابی در پژوهش حاضر از نوع LSF باشد.

### ۲.۳. مفهوم انعطاف‌پذیری در ساختمان

انعطاف‌پذیری به توانایی ساختمان برای پاسخگویی به نیازهای انسانی، شرایط و کاربردهای متغیر در طول زمان اطلاق می‌گردد (Mlote, 2024). این مفهوم بیانگر توانایی فضا برای تطبیق با تغییرات عملکردی، کالبدی و جمعیتی بدون نیاز به تخریب یا بازسازی اساسی است (Pelsmakers, 2022) و نشان‌دهنده ظرفیت سازگاری با شرایط یا موقعیت‌های جدید و پرداختن به عدم قطعیت‌ها و انطباق با شرایط متغیر زندگی انسان است (Ratsou Staehr, 2025) مدولارسازی و انعطاف‌پذیری از رویکردهای مهم در طراحی ساختمان‌های سازگار و تطبیق‌پذیر با این شرایط متغیر است (Mlote, 2024). تلفیق مدولارسازی با طراحی انعطاف‌پذیر به افزایش کارایی سازه‌ای پیش‌ساخته کمک می‌کند. این ترکیب نه‌تنها سرعت اجرا و قابلیت توسعه‌ی فضاها را افزایش می‌دهد، بلکه امکان پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع و آینده‌نگر کاربران را نیز فراهم می‌سازد (Wang, 2025) (Djukanovic, 2025) در نتیجه، می‌توان گفت انعطاف‌پذیری به‌عنوان یکی از اصول کلیدی طراحی این سازه‌ها و زمینه‌ساز پایداری عملکردی و انطباق فضایی در مقیاس‌های مختلف است. در شکل ۳، معیارهای اصلی برای طراحی ساختمان های انعطاف پذیر مدولار ارائه شده است.




**شکل۳. معیارهای اصلی برای طراحی ساختمان های انعطاف پذیر منبع: نگارندگان**

### ۲.۴. مدولارسازی

یکی از ابزارهای اصلی تحقق طراحی انعطاف‌پذیر، استفاده از سیستم‌های مدولار است .ساختمان مدولار یک تکنیک ساخت و ساز است که به موجب آن ماژول های ساختمان در خارج از سایت پیش ساخته می شوند. این یک نوع ساخت خارج از محل است که به طور خاص به واحدهای حجمی اشاره دارد که ممکن است یک عنصر ساختاری یک ساختمان باشد. پیش‌ساخته‌سازی توسط تولید خارج از محل منجر به کاهش زمان‌بندی کلی ساخت، بهبود کیفیت و کاهش اتلاف منابع می‌شود. معایب شامل فقدان راهنمایی طراحی و دهانه های ساختاری نسبتاً کوچک به دلیل محدودیت های حمل و نقل ماژول است. مزایای ساختمان مدولار بیشتر از معایب آن به ویژه برای برنامه های توسعه هتل و مسکونی است. بنابراین ساختمان مدولار به طور فزاینده ای محبوب و ترویج می شود (Bi K., 2018 & .Lacey W. Chen W. Hao H). تولید مدولار می‌تواند کارایی تولید و استفاده را بهبود بخشد و هزینه‌های تولید و ذخیره‌سازی را کاهش دهد. در یک خانه پیش ساخته، ماژول فضای نشیمن ثابت نیازهای عملکردهای مختلف را برآورده می‌کند، ازسوی دیگر، این یک جزء ساختاری مهم واحد مسکونی مدولارسازی است که عملکرد پایدار سازی کل واحد و حمایت از محفظه سقف را دارد. دیوار، کف، سقف و سایر صفحات محافظ بیرونی محفظه از مواد عایق سبک و با استحکام بالا استفاده می‌کنند، از طریق حالت تولید استاندارد، واحد مسکونی موقت مدولارشده تحقق می‌یابد و فرآیند نصب و جداساز ی قطعات ساده شده است (Yu H. & Bai G., 2018).

در طرح پیشنهادی حاضر انعطاف‌پذیری و سازگاری فضایی به شکل مطلوبی از طریق قابلیت تاشوندگی، استقرار سریع و مولفه‌هایی چون پیش‌ساختگی، مدولار بودن و امکان حمل‌ونقل و جابه‌جایی آسان ایجاد شده است. این قابلیت‌ها به کاربران و بهره‌برداران پروژه این امکان را می‌دهد که بسته به نیازهای خود بتوانند حتی مکان و موقعیت جغرافیایی فضای زیستی خود را تغییر دهند؛ این ویژگی می‌تواند بیانگر رویکردی نو در حوزه انعطاف‌پذیری تلقی شود.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که طراحی مدولار در خانه‌های پیش‌ساخته، به‌ویژه با استفاده از سیستم LSF، می‌تواند کارایی سازه را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. این روش نه‌تنها زمان اجرای پروژه را کاهش می‌دهد، بلکه امکان استفاده مجدد از اجزا را نیز فراهم می‌کند، که به کاهش هزینه‌های نهایی منجر می‌شود (Tavares V. et al, 2021) . همچنین، استفاده از اجزای استاندارد و سبک باعث بهینه‌سازی فرآیند حمل‌ونقل شده و امکان جابه‌جایی سازه‌ها را در شرایط مختلف تسهیل می‌کند (Perampalam G et al, 2019) . نتایج مدل‌سازی و تحلیل‌های سازه‌ای نشان داد که طراحی پیشنهادی در برابر بارهای وارد بر ساختمان، از جمله بار زلزله و باد، عملکرد مناسبی دارد. در مقایسه با سیستم‌های سنتی، این روش نه‌تنها ایمنی را افزایش می‌دهد، بلکه امکان استفاده در شرایط بحران، سکونتگاه‌های موقت و پروژه‌های عمرانی را نیز فراهم می‌کند (Ahangar S., 2012 & .Asefi M) علاوه بر این، مدولار بودن طرح پیشنهادی امکان تغییر در چیدمان فضاهای داخلی را بر اساس نیاز کاربران فراهم کرده و انعطاف‌پذیری عملکردی سازه را افزایش می‌دهد (Doroftei I. A. Bujoreanu C & .Doroftei I., 2018). گسترش‌پذیری این سیستم تاشونده، امکان کاهش حجم و فضای مورد نیاز جهت حمل و نقل سازه مذکور را فراهم و امکان جابه‌جایی را به آسانی میسر می‌سازد. این ویژگی بارز، امکان استفاده از این سازه قابل استقرار تاشونده را در کاربری‌ها متفاوت فراهم می‌کند.

## ۳. مواد و روش‌ها

این پژوهش از یک روش ترکیبی بهره می‌برد که شامل مطالعات توصیفی، تحلیلی و کاربردی است. در مرحله نخست، منابع کتابخانه‌ای، مقالات علمی معتبر و جستجوهای اینترنتی برای بررسی ادبیات فنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Yuan Z. et al, 2021) . سپس، با تحلیل مطالعات پیشین، نقاط قوت و ضعف روش‌های موجود در طراحی خانه‌های پیش‌ساخته ارزیابی شده است (Navaratnam S. et al, 2019) در مرحله بعد، برای ارزیابی امکان‌پذیری اجرای طرح پیشنهادی، فرآیند مدل‌سازی سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار CATIA انجام شده است. همچنین، به منظور بررسی رفتار سازه‌ای سیستم پیشنهادی، تحلیل‌های مکانیکی و بارگذاری در محیط نرم‌افزار ETABS/SAP اجرا شده است. این فرآیندها امکان تحلیل عملکرد سازه تحت بارگذاری‌های مختلف، از جمله بار زلزله، بار باد و بار برف را فراهم کرده است ( Liew J. Y. R. et al, 2019). در نهایت، مقایسه یافته‌های این پژوهش با مطالعات مشابه به ارائه یک مدل بهینه برای طراحی خانه‌های پیش‌ساخته تاشو و قابل حمل منجر شده است.

این سازه بر اساس مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان بار گذاری شده (بار باد، بار برف، بار برف نامتوازن و غیره) و بار زلزله آن طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم طراحی گردیده است. رعایت آیین نامه ها و مباحث کنترل کیفیت ساختمان در این سازه قابلیت استفاده از آن را در هر منطقه ای و با هر شرایطی میسر می سازد.

## ۴. یافته‌ها

سازه تمام اتوماتیک تاشونده مبتنی بر LSF، با قابلیت جابه جایی و استقرار سریع یک سیستم کاملا پیش ساخته و صنعتی است که در آن برای ایجاد پایداری مناسب از مقاطع فولادی و برای جمع شدن از عناصر مکانیکی استفاده شده است. این سامانه مدولار با قطعات و صفحات تاشونده خود، عملا یک باکس قابل حمل را ایجاد نموده که براحتی و در کوتاهترین زمان (در کمتر ازیک ساعت) قابل برپایی و نصب است. همچنین طراحی آن مطابق با آئین نامه‌ها و قوانین مقررات ملی ساختمان است و عملکرد سازه‌ای مناسبی در مقابل نیروهای وارده دارد. این سیستم قابلیت این را دارد که به صورت تمام اتوماتیک و خودکار (توسط جک‌ها و کنترل الکترونیکی) به صورت رباتیک، در کوتاهترین زمان برپا شود و با بهره‌گیری از تکنولوژی روز جهان بتواند به صورت بلوتوثی و اینترنتی توسط یک سیستم اندرویدی کنترل گردد.

از اهداف و ویژگی‌های این سامانه مبتنی بر قاب سبک فولادی (LSF) ، می‌توان به قابلیت جمع‌شوندگی و تاشوندگی، حمل‌ونقل و جابه‌جایی، استقرار سریع، کاهش هزینه‌های ساخت و افزایش بهره‌وری اشاره کرد. طراحی مدولار و استفاده از اتصالات استاندارد و مکانیزم‌های مونتاژ، امکان سرهم‌بندی و جداسازی آسان را فراهم کرده و باعث افزایش دوام و طول عمر این سازه شده است. این ویژگی‌ها، همراه با بهره‌گیری از عایق‌های حرارتی و صوتی کارآمد، این سازه را به گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای متنوع از جمله اسکان اضطراری، پروژه‌های عمرانی و سکونت‌گاه‌های موقت و قابل جابه‌جایی، تبدیل کرده است.

سیستم از مقاطع سازه ای فولادی تشکیل شده است و صفحات و تخته های گچی به عنوان پوشش درونی، لایه‌های عایق حرارتی و صوتی، قطعات دیوار خارجی به عنوان نما و عناصر تکمیل کننده ساختمان به کار گرفته شده است. عناصر فولادی به عنوان عناصر باربر و غیر باربر و گچ‌برگ‌ها و پانل‌های پیش‌ساخته به عنوان پوشش درونی به‌کار رفته و اجزای قائم آن به عنوان عضو باربر ستونی، در بارهای ثقلی عمل می‌کند؛ بطوریکه برخی از این اعضا، علاوه بر بارهای ثقلی، بارهای جانبی را نیز تحمل می‌کنند. کلیه اتصالات در این سیستم اتصالات پیچ ومهره است.

اجزای سازه ای عبارتند از (اجزای سازه ای LSF)

اجزای مکانیکی عبارتند از: لولا( قفل دار)، مکانیزم‌های مکانیکی ( مکانیزم لغزنده لنگی، پیچ متحرک، جغجغه، مکانیزم تبدیل حرکت دورانی به رفت و برگشتی، مکانیزم چرخ و شانه)، جک‌های بازویی هیدرولیکی یا جک‌های پنوماتیکی یا هیدرولیکی.

پیچ های متحرک: درپانل های متحرک از پیچ‌های متحرک جهت اتصال دو پانل استفاده می‌شود. این پیچ ها قابلیت باز و بسته شدن را دارند و توسط مکانیزم‌های مکانیکی دیگر کنترل می‌شوند. در این پیچ‌ها که عملکردی مبتنی بر تبدیل یک حرکت دورانی به خطی است، حرکت رفت و برگشتی اهرم پیچ را باز و بسته می‌کند.

اجزای این سیستم ساختمانی پیش ساخته عبارتند از: کف کاذب، دیوارهای ثابت باربر سازه‌ای، دیوارهای باربر سازه‌ای تاشو، دیوارهای باربر داخلی، سقف‌های مسطح ثابت و متحرک، سقف‌های شیبدار (مجهز به جک های مکانیکی ). در ادامه به شرح مختصری در مورد این اجزا پرداخته خواهد شد.

### ۴.۱. سیستم کف کاذب

کف کاذب برای بالاتر قرار گرفتن کف تمام شده ساختمان از زمین و ایجاد یک فضای خالی در زیر کف، استفاده شده است. این ویژگی در کف ساختمان، امکان ایجاد تهویه طبیعی در مناطق مرطوب و همچنین جلوگیری از جمع شدن رطوبت و آب و صدمات ناشی از آن در مناطق سیل گیر را میسر می‌سازد. کاهش هزینه، جلوگیری از ورود حشرات موذی از ویژگی های دیگر این کف کاذب است.

کف کاذب از سه پانل تشکیل شده است؛ پانل میانی ثابت بوده و پانل‌های جانبی متحرک است و هنگام جمع شدن سیستم، تا می شود. اجزای سازه‌ای کف شامل مقاطع C شکل ( ترک های پیرامونی)، تیرچه ها، استاد ها، سخت کننده جان، بست های تسمه ای و بست های انسجام دهنده، صفحات سازه ای چوبی به عنوان پوشش نهایی و اجزای مکانیکی کف شامل لولاها (قفل لولا و مکانیزم کنترل قفل لولاها)، پیچ‌های متحرک (مکانیزم پیچ‌های متحرک و مکانیزم کنترل پیچ‌ها) و جک‌های بازویی یا پنوماتیکی و هیدرولیکی است. ترک های پیرامونی در ابتدا و انتها و در فواصل مشخص (به طول تیرچه ) قرارگرفته است. همچنین، تیرچه ها در فواصل مشخص در بین ترک های پیرامونی واقع شده و با پیچ و مهره به هم متصل شده است. در محل تاشدن کف های جانبی، روی دو ترک پیرامونی لولا (لولاها قفل دار هستند و توسط یک مکانیزم مکانیکی کنترل، بصورت الکترونیکی کنترل می‌گردد) کار گذاشته شده و تیرچه ها توسط بست های تسمه ای و بست های انسجام دهنده محکم گردیده و سبب یکپارچگی در اجرای کفسازی شده است. جهت هم سطح شدن کف روی تیرچه ها، استادها با پیچ بوکس ۷ سانتی متری پیچ و سپس پوشش نهایی چوبی، اجرا شده است.

### ۴.۲. دیوارها

در سیستم فولادی سیار، دیوارها شامل دیوارهای سازه ای باربرثابت، دیوارهای سازه ای باربر (خارجی) تاشو و دیوارهای باربر سازه ای داخلی می باشد. دیوارها که از مجموعه ای از ستونک ها (استادها) و اعضای مهاربندی تشکیل شده، بار جانبی و بار ثقلی را تحمل می‌کنند. دیوارها بار ثقلی و اعضای مهاربندی بار جانبی را تحمل میکنند. فاصله ستونکها بین ۶۰ تا ۴۰ سانتی متر است. به دلیل توخالی بودن دیوارها می توان فاصله بین ستونک ها را با موادی مانند بتن سبک یا فوم پلی استایرن پر کرد. برای یکپارچگی بیشتر، ستونک ها به صورت افقی (بست های تسمه ای و بست های انسجام دهنده) نیز بهم متصل شده است.

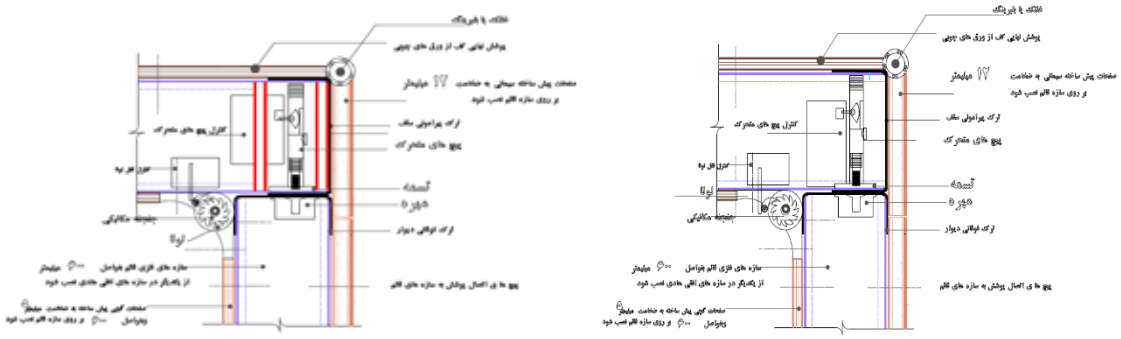
از دیگر ویژگی های این سازه، می توان به ایجاد بازشو در ابعاد دلخواه اشاره کرد. در محل تاشدن دیوارهای خارجی، لولا به کار رفته است. در این محل ها پیچ های متحرکی مورد استفاده قرار گرفته که قابلیت باز و بسته شدن دارد و توسط مکانیزم مکانیکی و مدار الکترونیکی کنترل می‌شوند.

### ۴.۳. سقف

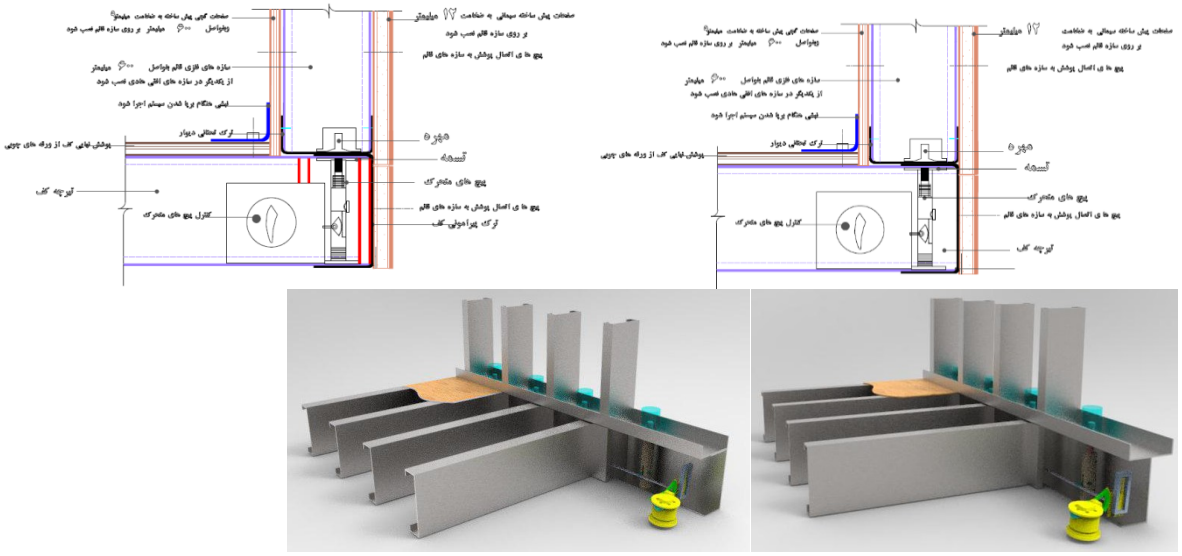
در این سیستم پیش ساخته ساختمانی، سقفها شامل سقف های مسطح و شیبدار هستند که قابلیت جمع شدن و تاشدن دارند. سقف های مسطح خود از سه پانل تشکیل شده اند؛ پانل میانی سقف مسطح ثابت بوده و پانل های جانبی توسط عناصر مکانیکی به پانل میانی متصل شده که قابلیت تاشدن وجمع شدن دارند. سقف‌های مسطح شامل عناصر سازه ای تیرچه، ترک پیرامونی، سخت کننده جان، بست تسمه ای و بست انسجام دهنده و استادها (جهت همسطح کردن سقف عمود روی تیرچه ها پیچ شده اند )، می‌باشد. پوشش نهایی از صفحات سازه ای چوبی است و اجزای مکانیکی کف شامل لولاها (قفل لولا و مکانیزم کنترل قفل لولاها)، پیچ های متحرک ( مکانیزم پیچ های متحرک و مکانیزم کنترل پیچ ها) وجک های بازویی است. ترک های پیرامونی در ابتدا و انتها و در فواصل مشخص (به طول تیرچه ) قرار می‌گیرد. تیرچه ها در فواصل مشخص در بین ترک های پیرامونی قرار گرفته و با پیچ ومهره به هم متصل می‌شود. در محل تاشدن کف های جانبی روی دو ترک پیرامونی، لولا کار گذاشته شده و تیرچه ها توسط بست های تسمه‌ای و بست های انسجام دهنده محکم گردیده است. این امر سبب یکپارچه عمل کردن سیستم کف می شود جهت هم سطح شدن کف روی تیرچه ها، استاد ها با پیچ بوکس ۷ سانتی متری پیچ می‌شوند سپس پوشش های نهایی از چوب اجرا می شود.

### ۴.۴. عایق کاری حرارتی و صوتی

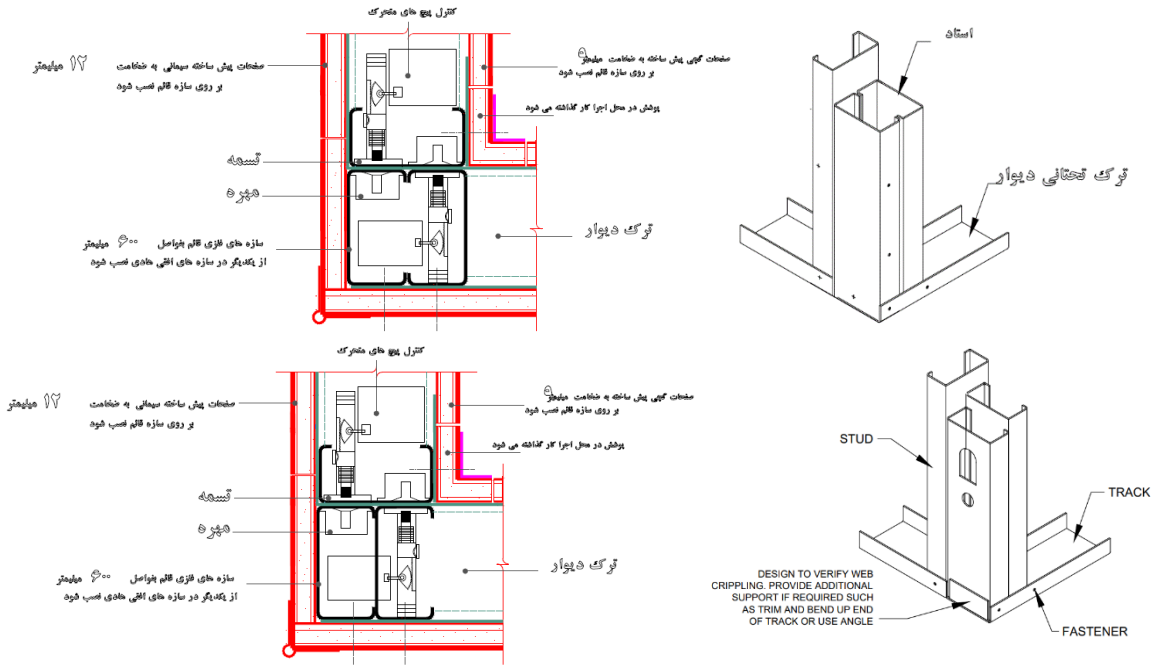
این سیستم قابلیت بالایی برای نصب عایق حرارتی دارد؛ عایق حرارتی به کار رفته در این سامانه، همراستا با ستونک‌ها و در فضای بین آنها قرار می‌گیرد. یکی دیگر از روش های عایق کاری دیوارها نصب یک لایه حرارتی صلب در طرف خارجی قالب فلزی است. همچنین با افزودن تخته های گچی و سیمانی در دو طرف عایق حرارتی (پشم شیشه) عایقبندی صوتی، تامین می‌گردد. از دیگر روش های ایجاد عایق صوتی استفاده از وادارهای اکوستیکی است.



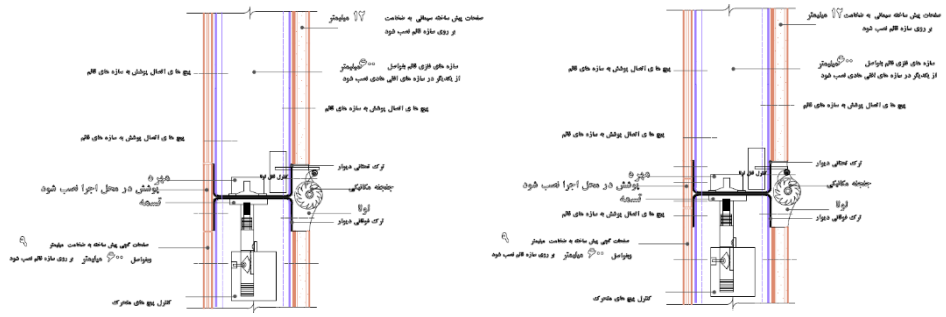
**شکل۴. جزئیات اجرایی اتصال سقف به دیوار (منبع، نگارنده)**



**شکل ۵. جزئیات اجرایی اتصال کف به دیوار**




شکل ۸: جزئیات اجرایی گوشه ها (منبع، نگارنده)



**شکل ۶. جزئیات اجرایی پنل عمودی (منبع، نگارنده)**

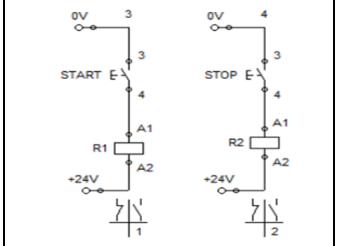
## ۴.۵. اجزای مکانیکی

اجزای مکانیکی در این سیستم، شامل لولا ( قفل دار)، مکانیزم های مکانیکی ( مکانیزم لغزنده لنگی، پیچ متحرک، جغجغه، مکانیزم تبدیل حرکت دورانی به رفت و برگشتی، مکانیزم چرخ و شانه )، جک های بازویی هیدرولیکی یاجک های پنوماتیکی یا هیدرولیکی می‌باشد. در جدول ۵، نمونه‌هایی از اجزای مکانیکی به‌کار رفته در سازه تاشونده نشان داده شده است.

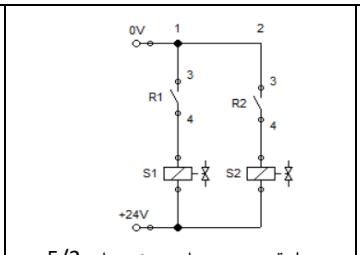
مدار الکتروپنوماتیکی بالابر سقف

ساختار: مدار بالابر از دو جک پنیوماتیکی تشکیل شده که برای کنترل عمل رفت و برگشت از شیر 5/2 با تحریک دو سر بوبین(برق) استفاده شده و سپس با استفاده از دو مدار الکتریکی کنترل لازم بر دو جک اعمال شده است. نحوه عملکرد: با زدن کلید Start در مدار کنترل رله باعث برق رسانی به بوبین رفت شده و هر دو جک همزمان مثبت می شود. با زدن کلید Stop این عملیات مجددا برای بوبین برگشت اعمال می شود.

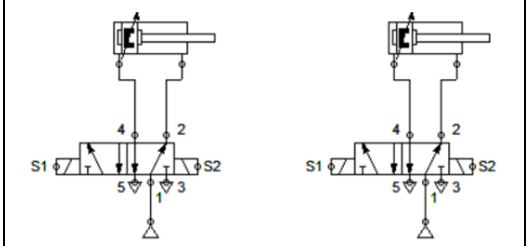
**مشخصات مدار الکتروپنوماتیکی بالابر سقف، منبع نگارنده**



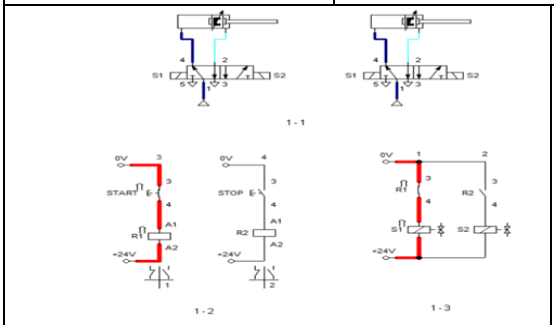
مدار فرمان کنترل برقی



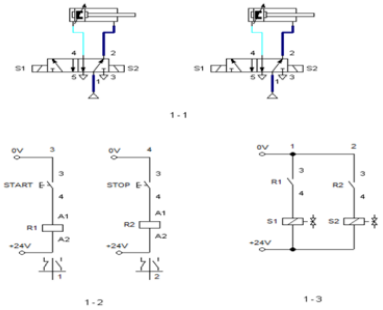
مدار قدرت برق رسانی به شیر های 5/2



مدار پنیوماتیکی در حالت منفی ( داخل بودن جک)



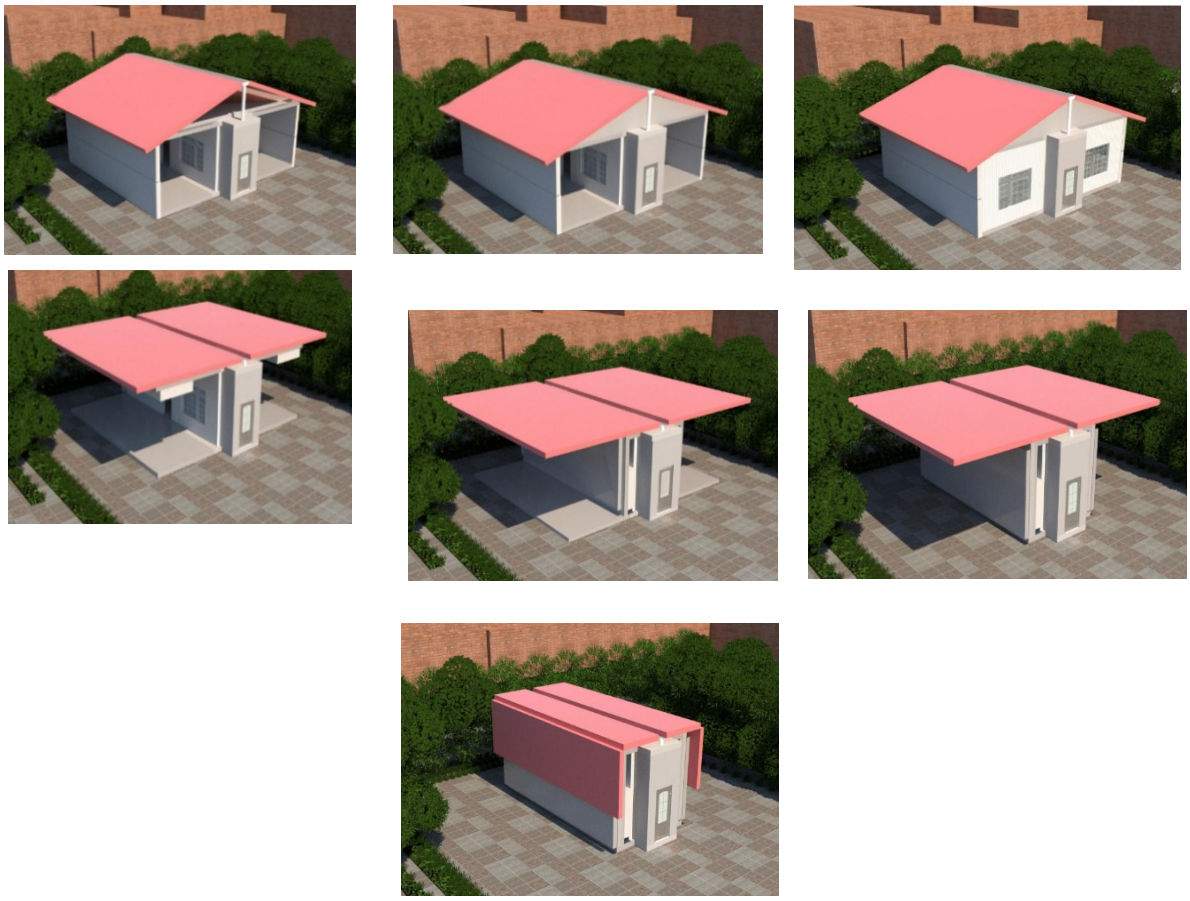
دیاگرام عملکرد کلی (در حالت مثبت)



دیاگرام عملکرد کلی (در حالت منفی)

وسایل مورد استفاده در سیستم پنیو ماتیکی

۱- کمپرسور هوا (برای تامین هوای مورد نیاز جک ها) ۲- شیر دوسر بوبین 5/2 ۳-جک پنیوماتیکی



**شکل ۷. نحوه استقرار ساختمان به ترتیب از راست به چپ از حالت جمع شده و تاشو به گسترده (منبع، نگارندگان**

## ۵. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

نتایج این پژوهش نشان داد که خانه‌های پیش‌ساخته گسترش‌پذیر، به‌ویژه با بهره‌گیری از سیستم LSF، می‌توانند به عنوان یک راهکار کارآمد برای رفع چالش‌های مسکن در شرایط بحران، توسعه شهرنشینی و پروژه‌های ساختمانی موقت مورد استفاده قرار گیرند. این سیستم‌ها، علاوه بر کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت اجرا، قابلیت بهینه‌سازی فضا و حمل‌ونقل آسان را نیز دارند که این ویژگی‌ها آن‌ها را به گزینه‌ای پایدار و اقتصادی تبدیل می‌کند. مهم‌ترین دستاورد این پژوهش، ارائه مدلی است که با ترکیب اصول معماری مدولار، استفاده از مصالح سبک و مقاوم، و به‌کارگیری فناوری‌های نوین در طراحی اتصالات و مونتاژ، می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی ساخت‌وساز باشد. این روش نه‌تنها باعث افزایش انعطاف‌پذیری در طراحی و چیدمان داخلی فضاها می‌شود، بلکه امکان استفاده مجدد از سازه و کاهش ضایعات ساختمانی را نیز فراهم می‌کند.

پژوهش حاضر، به ارائه مدلی برای طراحی خانه‌ای پیش‌ساخته و قابل استقرار تاشونده، با قابلیت جابه‌جایی و حمل‌و نقل، سریع الاحداث، مدولار با استفاده از مصالح پایدار و دوستدار محیط‌زیست که قابلیت استفاده از انرژی‌های پایدار و تجدیدپذیر با بهرمندی از تکنولوژی روز دنیا، پرداخته است. از مهمترین ویژگی‌های این خانه می‌توان به انعطاف‌پذیری و تنوع در کاربری ( قابلیت استفاده  به‌عنوان یک واحد مسکونی با بهره‌برداری دائمی و موقت، اسکان نیروهای اجرایی در پروژه های عمرانی، به عنوان خانه سیار در پروژه‌های توریستی و...)، امکان استفاده از ساختمان برای دفعات مکرر در مکانهای مختلف، امکان انتقال مکان ساختمان (ساختمان سیار)، کاهش زمان ساخت، کاهش وزن ساختمان (۲۵ درصد ساختمان های فولادی)، افزایش سطح مفید بنا، سهولت اجرا و بر پاشدن ساختمان در زمان کوتاه، کاهش فعالیت‌های اجرایی ساختمان اشاره کرد.

ترکیب استفاده از مصالح سبک، قابلیت باز و بسته شدن چندباره و امکان بازیافت اجزا، این ساختار را به الگویی از معماری چرخه‌ای و دوستدار محیط زیست نزدیک می‌کند. انعطاف‌پذیری کاربری این سازه، از پناه‌گاه اضطراری تا فضاهای آموزشی و فرهنگی و یا حتی یک خانه سیار نشان می‌دهد که چگونه طراحی هوشمند می‌تواند با یک راه‌حل، پاسخگوی نیازهای متنوع باشد. در جایی که تغییرات اقلیمی، مهاجرت‌های گسترده و بلایای طبیعی رشد فزاینده‌ای دارند، سازه‌هایی که بتوانند به سرعت جابه‌جا شوند، مستقر گردند و تطبیق‌پذیر باشند، بیش از پیش اهمیت می‌یابند. ساختارهای تاشونده، نماینده رویکردی جدید در معماری هستند: معماری که با کاربر حرکت می‌کند، با محیط تطبیق می‌یابد

و نیازهای زمانه را مرتفع می‌سازد. پیشنهاد حاضر، تنها یک مدل سازه‌ای نیست؛ بلکه الگویی برای آینده‌ای است که در آن معماری، نه تنها سازه‌ای فیزیکی، بلکه پاسخگو، تطبیق‌پذیر و هوشمند است.

در مجموع، ساختارهای تاشونده و گسترش‌پذیر پیشنهادی در این پژوهش، الگویی نوین از معماری انعطاف‌پذیر و هوشمند را معرفی می‌کنند که قادرند در پاسخ به چالش‌های معاصر نظیر کمبود زمان، محدودیت منابع و ضرورت انطباق‌پذیری با شرایط متغیر، عملکرد بهینه ارائه دهند. این ساختار نه‌تنها بازتعریفی از معماری موقت و متحرک است، بلکه چشم‌اندازی از سکونت آینده می‌باشد؛ سکونتی سیال، سازگار با محیط و در تعامل با نیازهای انسان و طبیعت. در جهان پرشتاب امروز، سازه‌هایی از این دست می‌توانند نقش مهمی در تحقق توسعه پایدار و بازطراحی زیرساخت‌های آینده ایفا کنند.

در نهایت، این پژوهش پیشنهاد می‌کند که در طراحی و توسعه ساختمان‌های پیش‌ساخته گسترش‌پذیر، به ارتقای کیفیت اتصالات، افزایش دوام مصالح و بهبود عایق‌بندی حرارتی و صوتی توجه ویژه‌ای شود. همچنین، انجام آزمایش‌های عملی بر روی نمونه‌های واقعی و بررسی رفتار این سازه‌ها در شرایط اقلیمی مختلف، می‌تواند به بهبود کارایی این سیستم‌ها کمک کند.

## ۶. منابع


1. Baruah, A. C., & Sychterz, A. C. (2025). Comparison of computational and experimental dynamic behavior of a meter-scale deployable origami pill bug structure. Structures, Volume 71.
2. Meng, Q., Jiang, M., & Ceccarelli, M. (2025). Deployable Cellular Structures of Pyramids and Prisms for Construction of Large-scale Deployable Supporting Trusses. Mechanism and Machine Theory, Volume 209.
3. Tsuda, S., Kohno, J., Nakahara, Y., Makoto, Y., & Ohsaki, M. (2022). Composition of curvilinearly extendable tubular scissor mechanisms. International Journal of Solids and Structures, Volume 250.
4. Nahri, Z., & Motamedmanesh, M. (2025) A new look at increasing the quality of government projects in Iran using modern technologies. Naqsh-e Jahan Scientific Research Quarterly, Volume 14, Number 2.
5. Yuan, Z., Sun, C., & Wang, Y. (2021) Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. Automation in Construction, Volume 88, Pages 13–22.
6. Navaratnam, S., Ngo, T., Gunawardena, T., & Henderson, D. (2019) Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia. Buildings, Volume 9.
7. Liew, J. Y. R., Chua, Y. S., & Dai, Z. (2019) Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings. Structures, Volume 21, Pages 135–149.
8. Perampalam, G., Dobson, R., Pologanathan, K., Tsavdaridis, K. D., Nagaratnam, B., & Iacovidou, E. (2019) Modular building design: post-brexit housing. CE/Papers, 3, 219–224.
9. 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. Renew. Sustain. Energy Rev., Volume 137.
10. Tavares, V., Soares, N., Raposo, N., Marques, P., & Freire, F. (2021) Prefabricated versus conventional construction: Comparing life-cycle impacts of alternative structural materials. Journal of Building Engineering, Volume 41.
11. Sah, P., Lacey, T., Hao, A. W., & Chen, W. (2024). Prefabricated concrete sandwich and other lightweight wall panels for sustainable building construction: State-of-the-art review. Journal of Building Engineering, Volume 89. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109391
12. Baghdadi, A., Heristchian, M., & Kloft, H. (2021). Connections placement optimization approach toward new prefabricated building systems. Engineering Structures, Volume 233, 111648.
13. Imperadori, M., Salvalai, G., & Pusceddu, C. (2014). Air Shelter House technology and its application to shelter units: the case of Scaffold House and Cardboard Shelter installations. Procedia Economics and Finance, Volume 18, 552–559.
14. Dave, M., Watson, B., & Prasad, D. (2017). Performance and perception in prefab housing: An exploratory industry survey on sustainability and affordability. Procedia Engineering, Volume 180, 676–686.
15. Rajabipour, F., Ekhlasi, A., & Yazdanfar, S. A. (2023). The Effective Components in Prefabricated Housing Design: A Systematic Review. Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning, Volume 28, No. 1.
16. Yeganeh, A., & Shariatmadar, H. (2017) Technical Note: Identifying Risks in the Design, mplementation, and Construction Stages of LSF Structures. Scientific and Research Journal of Structural Engineering and Construction, Year 4, Issue 4.
17. Mlote, D. S., Budig, M., & Cheah, L. (2024). Adaptability of buildings: a systematic review of current research. Frontiers in Built Environment, Volume 10. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1376759
18. Ratsou Staehr, E., Stevik, T. K., & Houck, L. D. (2025). Adaptability in the Building Process: A Multifaceted Perspective Across the Life Cycle of a Building. Buildings, 15, 1119. https://doi.org/10.3390/buildings15071119
19. Djukanovic, M., Alegre, A., & Teixeira Bastos, F. (2025). Prefabricated Solutions for Housing: Modular Architecture and Flexible Living Spaces. Buildings, Volume 15(6), 862.

20. Wang, M., Li, X., Li, F., & Wang, J. (2025). Research on design of modular apartment building product platform for manufacture and assembly: A case study of the modular dormitory building design project. Buildings, Volume 15(19), 3585.
21. Lacey, W., Chen, W., Hao, H., & Bi, K. (2018) Structural response of modular buildings – An overview. Journal of Building Engineering, Volume 16, Pages 45–56.
22. Yu, H., & Bai, G. (2018) Research on Modularization and Sustainable Design of Temporary Housing. Art and Design Review, 2018, Pages 125–132.
23. Asefi, M., & Ahangar, S. (2012). Transformable Shelter: Evaluation and New Architectural Design Proposals. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 51, Pages 961–966.
24. Doroftei, I. A., Bujoreanu, C., & Doroftei, I. (2018) An Overview on the Applications of Mechanisms in Architecture. Part II: Foldable Plate Structures. The 8th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering, 2018.
25. Liao, Y., & Krishnan, S. (2024). Deployable scissor structures: Classification of modifications and applications. Automation in Construction, Volume 165. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105547
26. Zhu, Y., & Filipov, E. T. (2024). Large-scale modular and uniformly thick origami-inspired adaptable and load-carrying structures. Nature Communications, Volume 15. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46667-0
27. Meloni, M., Zhang, Q., Cai, J., & Lee, D. S.-H. (2023). Origami-based adaptive façade for reducing reflected solar radiation in outdoor urban environments. Sustainable Cities and Society, 97. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104740
28. Fan, Z., Wang, R., & Huang, H. (2024). Design and Analysis of an Origami-inspired Modular Thick-panel Deployable Structure. International Journal of Mechanical Sciences, 282. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2024.109579
29. Dutta, G. S., Meiners, D., & Ziegmann, G. (2024). A Study of Deployable Structures Based on Nature Inspired Curved-Crease Folding. Polymers, Volume 16(6), Pages 766. https://doi.org/10.3390/polym16060766
30. Yetkin, İ., Maden, F., Tosun, S., Kilit, O., Akgun, Y., Kiper, G., Korkmaz, K., & Gunduzalp, M. (2024). A foldable temporary shelter design. Proceedings of the IASS Symposium 2024.
31. Doroftei, I.-A., Bujoreanu, C., & Doroftei, I. (2018). An Overview on the Applications of Mechanisms in Architecture. Part II: Foldable Plate Structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 444, https://doi.org/10.1088/1757-899X/444/5/052019
32. Steemit, (n.d.). Home page. [online] Available at: https://steemit.com [Accessed 2025].
33. Khome China, (n.d.). Folding container house. [online] Available at: https://khomechina.com/folding-container-house [Accessed 2025].
34. Yu, H., & Bai, G. (2018). Research on Modularization and Sustainable Design of Temporary Housing. Art and Design Review, Volume 6, Pages 125–132.