

Investigating the ratio of modular housing design and formwork method

Ali Dolatabadi¹

Mohammad Reza Matini²

Received Date: 20 September, 2024 Accepted Date: 1 January, 2025

<https://doi.org/10.30480/AR.CAND.2025.5498.1065>

Abstract

After industrial urbanization grew significantly, and the subsequent increase in population in large cities led to easy and economical construction. The resources in exchange for the quality obtained in this matter made the construction of these buildings unjustifiable both economically and environmentally. For this reason, modularity was considered in the design of residential complexes. Also, the use of modular construction methods such as prefabrication and industrial construction became possible in order to greatly improve the construction in terms of quality, management, and speed of construction. The use of industrialization along with modular design has been chosen in the field of designing and constructing residential complexes to eliminate many areas. In our country, the increasing need for housing and the impact of global housing project developments have been exploited with modular design and construction, but in the meantime, less attention is paid to examining the types of modulars together and also the relationship between the formwork and the formation of modular design. This research has examined the types of modulation and formwork methods by examining case studies, so that appropriate methods can be proposed for designing a modular residential complex and selecting formwork. As a result, a modular design requires a modular structural tool and a modular structure system consisting of formwork modules for optimal implementation.

Keywords: residential complex, modular architecture, formwork.

1. MSc. Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Iran University of Art, Tehran, Iran.
Email: alidolatabadi110.ad@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Iran University of Art, Tehran, Iran.
Email: m.matini@art.ac.ir

بررسی نسبت طراحی مدولار مسکن و روش قالب‌بندی

محمدرضا متینی^۲

علی دولت آبادی^۱

<https://doi.org/10.30480/ARC.AND.2025.5498.1065>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

چکیده

بعد از انقلاب صنعتی شهرنشینی به طور قابل ملاحظه‌ای رشد کرد و به دنبال آن افزایش جمعیت در شهرهای بزرگ موجب نیاز به ساخت و ساز آسان، سریع و با صرفه اقتصادی شد، از سوی دیگر آلودگی‌های ایجاد شده بر اثر ساخت مجموعه‌های مسکونی و از بین رفتن منابع در ازای کیفیت پایین بدست آمده در این امر، ساخت این ساختمان‌ها را هم از نظر اقتصادی و هم از جنبه‌های زیست محیطی توجیه ناپذیر می‌کرد. بدین جهت رویکرد مدولار در طراحی مجموعه‌های مسکونی مورد توجه قرار گرفت. همچنین به‌کارگیری روش‌های ساخت و ساز مدولار مانند پیش‌ساختگی و ساخت صنعتی موجب شد تا بتوان فرایند ساخت را در محدوده کیفیت، مدیریت، و سرعت ساخت تا حد زیادی بهبود بخشید. به کارگیری صنعتی‌سازی در کنار طراحی مدولار توانسته است در زمینه طراحی و ساخت مجموعه‌های مسکونی بسیاری از موانع را از میان بردارد. در کشور ما نیز به سبب نیاز روزافزون مسکن و تحت تاثیر تحولات جهانی پروژه‌هایی مسکونی با طراحی و ساخت مدولار به بهره‌برداری رسیده است اما در این میان کمتر به بررسی ارتباط انواع مدولاسیون‌ها با هم و همچنین نحوه ارتباط میان بحث قالب‌بندی و چگونگی شکل‌گیری طراحی مدولار توجه شده است. این پژوهش با بررسی نمونه‌های موردی به بررسی نسبت انواع مدولاسیون و روش‌های قالب‌بندی پرداخته است تا در نهایت بتوان راهکارهایی مناسب برای طراحی مجموعه مسکونی مدولار و انتخاب روش قالب‌بندی پیشنهاد داد. در نتیجه یک طراحی مدولار برای اجرای بهینه نیاز به یک بستر ساختاری مدولار دارد و یک سیستم سازه‌ای مدولار خود متشکل از مدول‌های قالب‌بندی است.

واژه‌های کلیدی: مجموعه مسکونی، معماری مدولار، قالب‌بندی

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
Email: alidolatabadi110.ad@gmail.com

۲. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
Email: m.matini@art-ac.ir

مقدمه

امروز یکی از اصلی‌ترین نیازها در کشورهای توسعه یافته صنعتی‌سازی، سفارشی‌سازی و پیش‌ساختگی است. این نیاز در کشورهای در حال توسعه مانند ایران که با کمبود مسکن مواجه می‌باشند بیشتر احساس می‌شود. برای پاسخگویی مناسب به این نیاز حیاتی در سالیان اخیر ارگان‌های مسئول، سازمان‌ها، و متولیان ساخت و ساز در کشور بحث‌هایی جدی پیرامون صنعتی‌سازی پروژه‌های ساختمانی طرح می‌کنند. اگر با یک روش علمی و با یک نگاه آکادمیک این موضوع را مورد بررسی قرار دهیم، متوجه خواهیم شد که صنعتی‌سازی و پیش‌ساختگی ساختمان می‌تواند پاسخ مناسبی به این نیاز حیاتی کشور باشد، اما باید توجه داشت تا زمانی که این موضوع با برنامه‌ریزی دقیق و هماهنگ و همچنین بررسی تمامی مسائل آن از مسائل فرهنگی و اجتماعی گرفته تا مسائل فنی مهندسی و معماری پرداخت نشود کشور عزیزمان با بحران‌های جدی در زمینه منظر و هویت شهری و عدم تطابق هویتی و تضاد ساخت و سازها با زمینه‌های فرهنگی و اجتماعی در موارد گوناگون مواجه خواهد شد (آصفی، ۱۳۸۹).

پیشینه تحقیق

برت ادیاله یانگ بیان می‌کند که بریتانیا در دهه گذشته شاهد افزایش تقاضا برای مسکن و نگرانی‌های گسترده در مورد بهبود عملکرد آن‌ها بوده است. بررسی‌های متعددی برای بررسی محدودیت‌ها و بررسی اقدامات اصلاحی انجام شده است، با این حال، سازندگان در نظرات خود نامطمئن هستند، بنابراین تمایلی به پذیرش این نوآوری در کمک به برآورده کردن تقاضای فعلی برای خانه‌های جدید ندارند. در این تحقیق از سه مطالعه موردی که شامل مصاحبه ترکیبی، پرسشنامه، مشاهده سایت و بررسی اسناد برای جمع‌آوری داده‌ها بود، استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با ساخت و ساز سنتی در ساخت و ساز مدولار محصول نهایی با کیفیت‌تر و برنامه ساخت و ساز به صرفه‌تر است و همچنین سلامت، ایمنی و رضایت کاربر نهایی پروژه‌های بررسی شده دستاوردهای عالی را نشان می‌دهد. از این رو نویسندگان به این نتیجه رسیده‌اند که با توجه به تغییر درک مشتری، بهبود طراحی و تدارکات، و افزایش آگاهی، تکنیک‌های مدولار روند ساخت خانه آینده خواهد بود (Young, 2020).

همچنین نوردیانی اشاره می‌کند که بحران مسکن به یکی از معضلات جهانی تبدیل شده است و بسیاری از مردم قادر به خرید سرپناه مناسب نیستند. این مشکل را بیشتر جوانانی از طبقه متوسط تجربه می‌کنند. این تحقیق با روش توصیفی و مطالعه با هدف ارائه مسکن ارزان قیمت برای جوانان طبقه متوسط انجام شده است. جنبه‌ای که باید در نظر گرفته شود این است که چگونه کاربرد و روش معماری مدولار می‌تواند مسکن ارزان قیمت را برای جوانان در قالب مسکن عمودی یا آپارتمان فراهم کند. این مطالعه در مورد مقایسه بین ساخت و ساز مدولار و متعارف و تأثیر استفاده از معماری مدولار در آپارتمان‌ها برای تولید واحدهای آپارتمانی مقرون به صرفه بحث می‌کند (Nurdiani, 2021).

لی بتن را به عنوان یکی از اصلی‌ترین مصالح صنعت ساختمان معرفی می‌کند. قالب بندی نقش مهمی در کمک به تحقق هندسه و توسعه مقاومت عناصر بتنی دارد. همچنین یکی از هزینه‌های عمده در ساخت سازه‌های بتنی می‌باشد. استفاده از قالب‌ها سابقه‌ای طولانی دارد و از سیستم‌های قالب‌بندی متنوعی در پروژه‌های مختلف استفاده شده است. در طراحی و انتخاب سیستم قالب، الزاماتی مانند ایمنی، هزینه، هندسه سازه، زمان ساخت و کیفیت سطح باید در نظر گرفته شود. لی در این مقاله مروری جامع بر سیستم‌های قالب‌بندی مختلف در ساخت و ساز بتن، از جمله مواد اولیه، انعطاف‌پذیری، روش‌های ساخت، کاربردها در سازه‌های بتنی و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها را ارائه می‌کند و همچنین مزایا و محدودیت‌های فعلی سیستم‌های قالب‌بندی مختلف را مورد مقایسه و بحث قرار می‌دهد (Li, 2022).

روش تحقیق

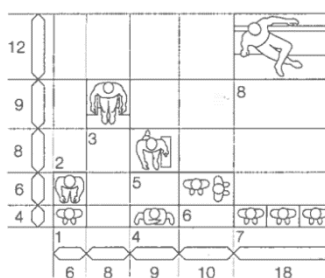
در این پژوهش از روش توصیفی-تحلیلی بهره‌برده شده است. سعی شد تا با استفاده از گردآوری اطلاعات پیرامون مفاهیمی همچون طراحی مجموعه‌های مسکونی، طراحی مدولار، روش‌های قالب بندی بتنی و بررسی نمونه‌های داخلی و خارجی، ضمن شناخت این مفاهیم بتوان به نسبت میان آن‌ها پی برد تا بتوان سه نمونه موردی

مجموعه مسکونی بررسی شده را از منظر عملکرد مطلوب زیستی ساکنین، نحوه شکل‌گیری بحث مدولار و روش‌های قالب‌بندی و ساخت مقایسه کرد.

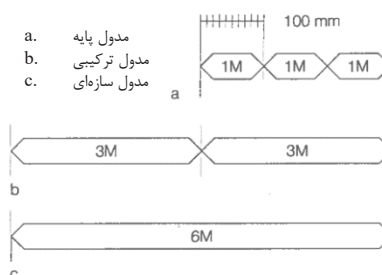
مبانی نظری تحقیق

تعریف مدول

مدول (پیمون) واحدی از اندازه که برای هماهنگ کردن فاصله‌ها در نظام هماهنگی اندازه‌ها به کار برده شده است. به عبارتی دیگر اندازه پایه از یک نظام مشخص هندسی را، یک مدول گویند؛ همچون اجزا سیستمی که بر اساس اصولی مشخص قرار گرفته اند مانند: ستون‌ها، پانل‌های دیوار و واحدها. واحد یک مدول، یک اندازه فنی مشخص است که با (m) نشان داده می‌شود. ابعاد تمامی اندازه‌ها در طراحی بر اساس این واحد پایه تعیین می‌شود (شکل ۱). واحد مدول پایه در کشورهای اروپایی $M=100\text{mm}$ است. ابعاد اجزا و عناصر ساختمانی برای خانه‌ها باید بر اساس این مدول M یا ضربایی از این مدول پایه بنا شده باشند (شکل ۲). واحدهای مدولار ساختمانی عناصری هستند که با اتصال به یکدیگر می‌توانند فرمی مشخص را در سایت پروژه ایجاد کنند. با توجه به نوع سیستم سازه‌ای، این اجزا می‌توانند باربر یا غیر باربر بدر نظر گرفته شوند. امروز در سیستم‌های باربر برای مدول‌های ساختمانی غالباً از فولاد و بتن و چوب بهره می‌گیرند. ابعاد و اندازه‌ها بوسیله روش‌های موجود حمل و نقل مشخص می‌شوند (Staib, 2008).



شکل ۱. مقادیر عددی طول و عرض مدول‌ها بر اساس تناسب‌های انسانی
منبع: (Staib, 2008)

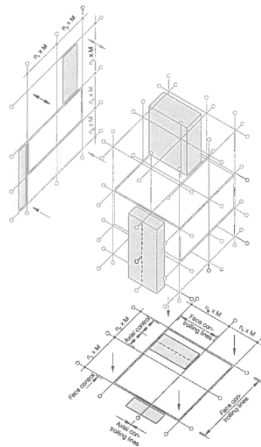


شکل ۲. طبقه‌بندی مدولار
منبع: (Staib, 2008)

شبکه

شبکه یک سیستم هندسی است که موقعیت و ابعاد عناصر ساختمانی مدولار را تعیین می‌کند. اسلوب کلی توسط

یک شبکه فضایی از خطوط کلی بر اساس یک مربع یا مستطیل ارائه می‌شود. صفحات، خطوط و نقاط مرجع، که فاصله آن‌ها از هم بر اساس مدول پایه یا ضربی از آن است، برای تعریف رابطه تک تک عناصر ساختمان نسبت به یکدیگر لازم است. سپس می‌توان این سیستم‌های مختصات مبتنی بر شبکه‌های مسطح دو بعدی یا شبکه‌های فضایی سه بعدی را توسعه داد (شکل ۳).



شکل ۳. ارتباط بین شبکه دو بعدی و شبکه سه بعدی
منبع: (Staib, 2008)

برنامه‌ریزی ساخت و مونتاژ عناصر ساختمان بر اساس این سیستم است. شبکه برای سازه باربر می‌تواند مستقل از شبکه‌های تناسب داخلی و نمای ساختمان باشد. فاصله ستون‌ها بر اساس یک شبکه محوری است. برای سیستم‌های ساختمانی پانلی معمولاً از یک شبکه مدولار استفاده می‌شود که هم ابعاد عناصر ساختمان و هم فاصله بین آنها را مشخص می‌کند. این شبکه‌های مختلف را می‌توان در یک ساختمان واحد ترکیب کرد، اما باید از نظر هندسی با یکدیگر هماهنگ شوند. این ترتیب اولیه هماهنگی هندسی و ابعادی طرح را تعیین می‌کند. شبکه‌های محوری و مدولار به عنوان یک پایه هندسی عمل می‌کنند، در حالی که شبکه‌های ساخت و نصب برای طراحی و طبقه‌بندی استفاده می‌شود (اولیا، ۱۳۶۳).

شبکه محوری

در یک شبکه محوری، محور مرکزی عنصر ساختمان با خط مرجع شبکه یکسان است. در یک طبقه بندی مدولار، ضخامت عناصر ساختمان در نظر گرفته نمی‌شود، بنابراین همپوشانی عناصر ساختمان در نقاط اتصال رخ می‌دهد. این بدان معنی است که عناصر اتصال و گوشه‌ای خاص باید توسعه یابند. شبکه محوری برای سازه‌های ساختمانی خطی، به عنوان مثال مثال سازه‌های دیواربرشی یا قاب خمشی مناسب است.

شبکه مدولار

یک شبکه مدولار مکان عناصر ساختمان را با استفاده از ابعاد واقعی آنها تعیین می‌کند و ضخامت عنصر ساختمان را در نظر می‌گیرد. بنابراین مکان و بعد عنصر با حداقل دو خط در سیستم مرجع تعریف می‌شود. هیچ تداخلی از عناصر رخ نمی‌دهد و هیچ عنصر ویژه‌ای لازم نیست. شبکه‌های مدولار مخصوصاً برای سیستم‌هایی مناسب هستند که در آن عناصر ساختمانی به هم متصل شده و به طور منظم در یک سیستم مدولار قرار می‌گیرند (آصفی، ۱۳۸۹).

شبکه ساخت و ساز

شبکه ساخت و ساز مکان و رابطه بین تمام عناصر باربر را تعیین می‌کند.

شبکه تناسب داخلی

شبکه تناسب داخلی مکان همه عناصر ساختمانی را که فضا را محصور می‌کنند، تعیین می‌کند.

شبکه خدمات

هنگام طراحی ساختمان‌های با نیازهای خدماتی زیاد، اغلب از شبکه خدمات فنی ویژه نیز استفاده می‌شود. به عنوان مثال، این می‌تواند برای تعریف فضای مورد نیاز برای خدمات بین دال‌های سازه‌ای و سقف‌های کاذب یا قسمت خالی شده در دیوارها برای سیم‌کشی، لوله‌کشی و غیره استفاده شود (Staib, 2008).

هماهنگی ابعادی

سیستم هماهنگی ابعادی یک ساختمان، فضا، عملکرد و مکان یابی عناصر ساختمان را تعیین می‌کند و همچنین ارتباط آنها با یکدیگر، با استفاده از یک واحد ابعادی استاندارد (به عنوان مثال مدول پایه اروپایی M یا اندازه عددی یک هشتم متر) در ارتباط با شبکه‌های مسطح و فضایی. برای مثال، برای سیستم‌های ساختمان مدولار، هماهنگی ابعادی هم موقعیت دقیق عناصر و هم روش‌های مختلف ترکیب آنها را تعیین می‌کند. این امر زمینه را برای طراحی، ساخت و مونتاژ عناصر ساختمان فراهم می‌کند. مکان‌یابی هندسی عناصر سازه‌ای سیستم‌های ساختمان معمولاً به دو سیستم تقسیم می‌شوند. یک سیستم اصلی برای پوسته ساختمان و یک سیستم فرعی برای اتصالات و پوشش ساختمان، به عنوان مثال یک قاب به عنوان سیستم اصلی و ماژول‌های اتاق غیر باربر به عنوان سیستم فرعی. این امکان را برای جایگزینی عناصر زیر سیستم در هر زمان ایجاد می‌کند. با این حال، در طراحی، همپوشانی سیستم‌های مختلف ساختاری، تناسب داخلی و پوششی باید امکان تقسیم بندی معقول فضاها را فراهم کند. عناصر ساختاری باربر اغلب می‌توانند در تناسب داخلی یا در پوشش ساختمان ادغام شوند. برای مثال می‌توان یک ستون بزرگ و مستقل را در تناسبی که فضاهای داخلی را مشخص می‌کند، ادغام کرد (Succar, 2009).

حمل و نقل

پیش فرض اساسی برای ساختن یکپارچه ساختمان در حال شکستن است. عناصر ساختمانی می‌توانند به صورت جداگانه از کارخانه به محل سایت حمل شوند. شرایطی که تحت آن عناصر ساختمانی باید منتقل شوند عاملی است که به طور جدی اندازه واحد را محدود می‌کند، زیرا ممکن است از ابعاد حمل و نقل مجاز تجاوز شود. ابعاد مجاز برای بار حمل شده توسط کامیون مفصلی تقریباً $2/5 \times 3/2 \times 12$ متر است. در موارد خاص، بارهای بزرگ در هنگام حمل و نقل عناصر ساختمانی بزرگ مجاز است، اما باید مجوز خاصی گرفته شود (Sabo, 2008).

طراحی مدولار

طراحی مدولار به معنای پیمون کردن عناصر و اجزا ساختمان‌ها و ایجاد نوعی هماهنگی در ابعاد ساختمان است. هماهنگی ابعاد به این معنی است که ابعاد ساختمان به گونه ای تنظیم شود تا موجب کاهش تنوع عددی و بعدی اجزا ساختمان و امکان قرارگیری آنها در کنار یکدیگر بدون استفاده از اندازه‌گیری کارگاهی فراهم شود (ارفعی، ۱۳۸۲). طراحی ساختمان‌ها با استفاده از سیستم مدولار بسیار حائز اهمیت است. با به کارگیری این سیستم، می‌توان اجزاء ساختمان را به صورت پیش ساخته در خارج از کارگاه ساختمانی به صورت گسترده تهیه نمود. این اجزا پیش ساخته به خاطر استاندارد بودن و همچنین تشابه اندازه‌ها می‌توانند به راحتی در کنار یکدیگر قرار گیرند. هماهنگی ابعاد در ساختمان زمانی ایجاد می‌شود که اندازه‌های تمام اجزا ساختمان و ساختار سازه‌ای، مضرب‌ها و یا کسرهایی از یک ابعاد مشخص و تعیین شده باشند (صفا، ۱۳۹۴).

معماری مدولار یک رویکرد طراحانه است که یک سیستم را به اجزا کوچک‌تری به نام «مدول» تقسیم می‌کند. این

مدول‌ها به هم پیوسته‌اند و ساختار خاصی را تشکیل می‌دهند. با وجود اینکه سال‌ها از آمدن معماری مدولار در دنیای معماری می‌گذرد ولی آن طور که باید و شاید جایگاه مناسبی در این عرصه ندارد. بازار ساخت و ساز هر روز رو به جلو حرکت می‌کند و مصالح و شیوه‌های مختلف را بدون توقف با یکدیگر ترکیب می‌کند. با این وجود بسیاری از معماران و سازندگان با این نوع ساخت و ساز درگیرند و به نظر می‌رسد در آینده ای نزدیک معماری مدولار جایگاه بهتری در بین معماران داشته باشد (Staib, 2008).

قالب بندی

استفاده از قالب می‌تواند به امپراتوری روم برگردد (M. Shazwan Ahmad Shah, 2019) در آن زمان، کرکره‌های چوبی توسط مهندسان رومی به عنوان قالب برای ساخت طاق‌های بتنی مورد استفاده قرار می‌گرفت (Strickland, 2010). در دوره رنسانس، قالب به طور فزاینده‌ای در ساخت ساختمان‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفت. در مقایسه با ساختمان‌های بنایی سنگی، صرف انرژی بسیار کمتری برای ساخت و ساز ساختمان‌های بتنی مورد نیاز بود به همین علت استفاده از قالب می‌توانست برای ساخت سازه‌های بتنی معمول مفید باشد. تا قرن بیستم، انواع مختلفی از قالب‌ها توسعه یافته بودند و به بخشی ضروری برای ساخت سازه‌های بتنی تبدیل شده بودند. تخته قالب‌بندی به سازه‌ای گفته می‌شود که بتن یا سایر مواد مشابه در آن ریخته می‌شود تا پس از گذشت مدتی، سفت گردد. این قالب‌ها معمولاً یا موقت هستند یا دائمی. قالب موقت یک قالب قابل استفاده مجدد است که پس از شکل گرفتن بتن و سفت شدن آن، از اطراف بتن برداشته می‌شود اما قالب دائمی برای همیشه در جای خود باقی می‌ماند (عشری، ۱۳۹۶).

انواع قالب‌بندی بر اساس اجزای ساختمان

- قالب بندی دیوار
- قالب بندی تیر
- قالب بندی ستون
- قالب بندی فوندانسیون
- قالب سقف

انواع سیستم‌های قالب‌بندی

با توجه به سختی مواد، قابلیت بازیافت و تکنیک‌های ساخت، سیستم‌های قالب را می‌توان به عنوان سیستم قالب بندی سنتی، سیستم قالب انعطاف‌پذیر و سیستم قالب قابل بازیافت طبقه بندی کرد. قالب‌های سنتی از زمان‌های اولیه در ساخت و ساز بتن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از مواد صلب ساخته شده و معمولاً برای سازه‌هایی با هندسه منظم استفاده می‌شود. قالب‌های چوبی و قالب‌های فلزی دو نوع قالب سنتی هستند که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند (R. Yip, 2008). با افزایش تقاضا برای کارایی سازه و زیبایی شناسی، سیستم قالب انعطاف‌پذیر در دهه‌های اخیر توسعه یافته و در ساخت اجزا و سازه‌های بتنی پیچیده هندسی استفاده شده است. قالب‌های پارچه‌ای و سیستم‌های قالب‌سازی دیجیتال دو شکل اصلی سیستم قالب‌بندی انعطاف‌پذیر هستند (D. Veenendaal, 2011). علاوه بر این، از آنجایی که صنعت ساختمان به منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای تبدیل شده است و تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر توجه جهانی را به خود جلب کرده است، استفاده از مواد قابل بازیافت و سازگار با محیط زیست، مانند شن و ماسه و یخ، به عنوان قالب‌سازی ظاهر شده است و آن‌ها در ساخت قطعات بتن سفارشی آزمایش شده‌اند (N. Ruffray, 2010).

الزامات عمومی طراحی قالب

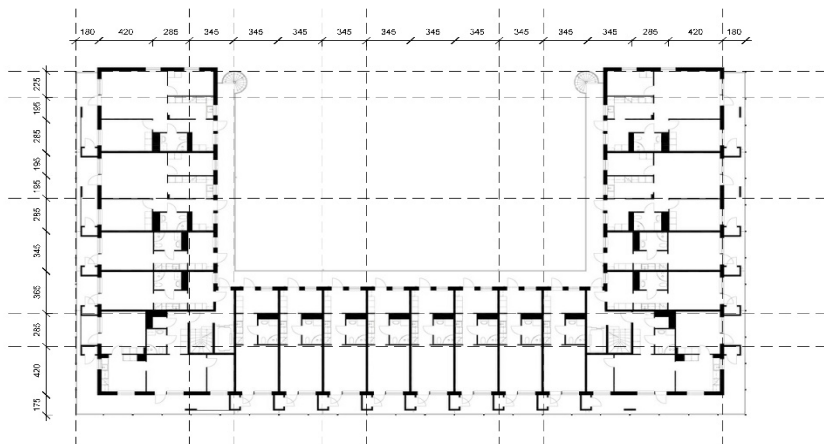
قالب بندی موقت برای ساخت سازه بتنی است که عمدتاً برای شکل دادن و حفظ بتن تازه تا رسیدن به مقاومت کافی استفاده می‌شود. هندسه نهایی و کیفیت سطح سازه بتنی تکمیل شده به شدت به سیستم قالب بکار رفته در

ساخت و ساز وابسته است (Schipper, 2015). بنابراین، معیارهای انتخاب و الزامات اساسی سیستم قالب باید قبل از شروع ساخت و ساز به طور کامل در نظر گرفته شود (L. R. Peurifoy, 2011). اول از همه، یک سیستم قالب بندی باید از نظر استحکام، دوام و استحکام کیفیت خوبی داشته باشد و ایمنی فرآیند ساخت باید تضمین شود (K. Brózda, 2019). این امر مستلزم آنالیز دقیق بارهای احتمالی، به ویژه فشار جانبی است که بر روی قالب اعمال می شود. مواد قالب و سیستم داربست مناسب که دارای استحکام کافی هستند باید برای تحمل بارها انتخاب شوند. به طور کلی، مواد سفت و سخت مانند چوب و فلز دارای استحکام بالایی هستند که می توان مستقیماً برای نگهداری بتن تازه استفاده کرد، در حالی که مواد نرم مانند منسوجات برای حفظ شکل مورد نظر برای ریخته گری بتن به تکیه گاه های اضافی مانند دکل ها و قاب ها نیاز دارند. در انتخاب سیستم قالب، هزینه نیز یک عامل مهم است که شامل هزینه مواد می شود. هزینه نیروی کار در ساخت، مونتاژ و برداشتن قالب، هزینه تجهیزات مورد نیاز برای رسیدگی به قالب، و هزینه عوامل رهاسازی هنگام برداشتن قالب (P. Arumsari, 2020). هزینه سیستم قالب ممکن است تا نیمی از کل هزینه ساخت سازه های بتنی با ریخته گری در محل را شامل شود. بنابراین کاهش مواد و استفاده مجدد احتمالی از قالب در انتخاب و طراحی سیستم قالب اهمیت زیادی دارد. علاوه بر این، مواد قالب حساس به شرایط آب و هوایی نیز منجر به افزایش هزینه نگهداری و کاهش طول عمر می شود. به طور کلی توصیه می شود از موادی استفاده کنید که مقاومت کافی در برابر آسیب و خوردگی قابل توجه داشته باشند. به عنوان مثال، در یک منطقه دائماً بارانی، قالب تخته سه لا مناسب تر از قالب فولادی در نظر گرفته می شود، زیرا فولاد خورده شده نه تنها طول عمر سیستم قالب را کاهش می دهد، بلکه باعث آسیب به سطح بتن نیز می شود (C. Hyun, 2018).

بررسی نمونه های موردی

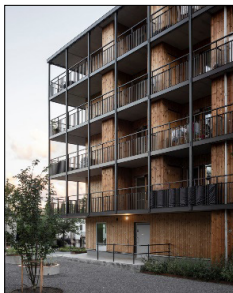
مجتمع مسکونی سُله‌گاپارکن

سیستم سازه ای شامل دال های پیش ساخته سقف و دیوار برشی است. این ساختمان دارای یک مدول سازه تکرار شونده با دهانه های ۳/۴۵ و ۶/۹ متر است (شکل ۴). این امر موجب شده است تا بتوان بر سرعت و دقت اجرا سازه افزود و همچنین هزینه های ناشی از تنوع قالب ها را کاهش داد. قالب مدولار فلزی یکی از بهترین نوع قالب های بتن می باشد که با استفاده از ورق فولادی در ضخامت ۳ میلی متر تولید می شوند. قالب های مدولار اصولاً برای نگهداری بتن و شکل دهی آن تا زمان شکل گیری مورد استفاده قرار می گیرند. یکی از مسائل مربوط به قالب مدولار فلزی، دشواری حمل به محل نصب و ذخیره سازی قالب پس از استفاده است. پانل ها فوق العاده سنگین هستند، به این معنی که حمل و نقل آنها به ویژه به صورت عمده دشوار است (Murman, 2023). شبکه مدول تناسبات داخلی و شبکه مدول نما بر هم منطبق اند (شکل ۸ و ۹). مقادیر عددی مدول تناسبات داخلی یا عیناً در شبکه مدول نما تکرار شده اند، مانند مقدار عددی ۲/۲۵ متر یا ضریبی از مدول نما هستند مانند ۱۸۰*۲۹۰. این ساختمان به گونه ای طراحی شده است که از شرایط پیچیده سایت نهایت استفاده را ببرد، بسیاری از آپارتمان ها در تمام طول روز از نور خورشید و منظره ای فوق العاده بهره می برند. واحدها تحت تاثیر سر و صدای بسیار زیاد قرار دارند و این مفهوم موجب شکل گیری حجم ساختمان به صورت U شکل است که یک حیاط داخلی محافظت شده ایجاد می کند (شکل ۵). دسترسی به واحدها عمدتاً از طریق راهروهای بیرونی در سمت حیاط است. رو به خیابان، ساختمان دارای بالکن های سخاوتمندانه و کشیده ای است که در آن اتاق های خارجی بین واحدها قرار می گیرد تا فضای بیرونی خصوصی برای ساکنان ایجاد کند و به مدیریت سر و صدا کمک کند (شکل ۶ و ۷). سه تیپ پلان واحد متفاوت در مجموعه سُله‌گاپارکن طراحی شده است، در قسمت مرکزی واحدهایی کشیده و تک خواب قرار گرفته است، که شامل یک پیش فضا رو به حیاط داخلی و یک فضا خدماتی شامل سرویس و آشپزخانه است. در دو بازوی کناری واحد های دو خواب قرار گرفته اند که دو تیپ مختلف را شامل می شوند. این چینش ساده و تکرار شونده در پلان نمایی مدولار ایجاد کرده است. همچنین به لحاظ سازه ای روش دال و دیوارهای برشی استفاده شده است که تکرار دیوارهای برشی نظامی مشخص به شکل گیری پلان ها و نما داده است (Murman, 2023).



شکل ۴. شبکه مدولار طراحی در پلان تیپ طبقات
منبع: (Murman, 2023)

همچنین حجم اصلی به واسطه تراس‌هایی کشیده سعی در برقراری دیالوگ با اقلیم را دارد و با استفاده از ترموود در نما فضایی گرم و مطبوع برای مجتمع مسکونی فراهم می‌آورد.



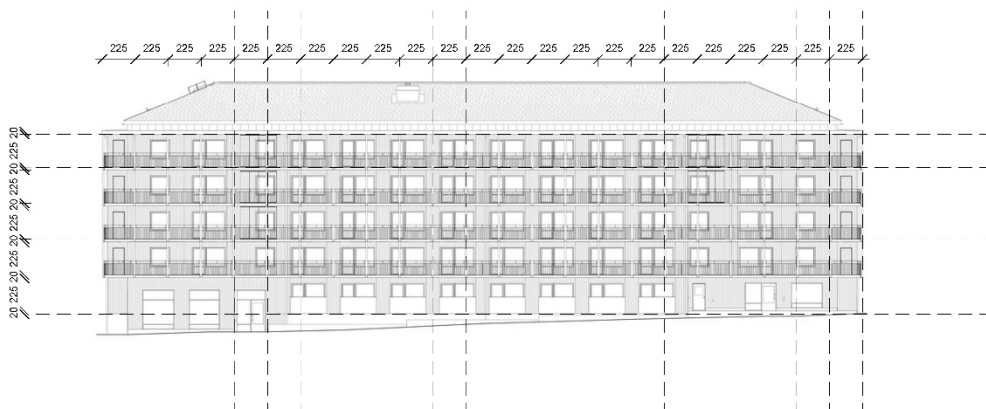
شکل ۷. دید ناظر رو به یکی از بازوها
منبع: (Murman, 2023)



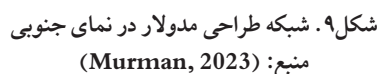
شکل ۶. دید ناظر از نمای پروژه
منبع: (Murman, 2023)



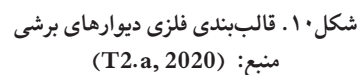
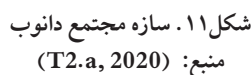
شکل ۵. دید ناظر از حیاط داخلی
منبع: (Murman, 2023)



شکل ۸. شبکه طراحی مدولار در نمای شمالی
منبع: (Murman, 2023)

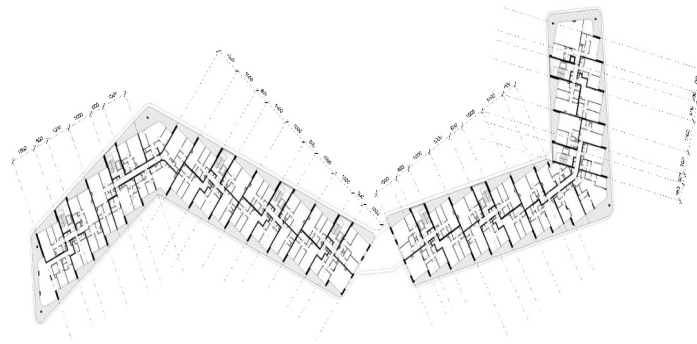


در این پروژه مفهوم سازه به گونه‌ای تعریف شده است که پلان‌های طبقات انعطاف‌پذیر هستند، زیرا تنها دیوارهای سازه‌ای، دیوارهای موازی هم هستند که در یک شبکه موازی بر روی پلان قرار گرفته‌اند. تمام دیوارهای داخلی دیگر غیرسازه‌ای هستند. قالب‌بندی به صورت فلزی انجام شده است (شکل ۱۰) و سیستم سازه‌ای دال و دیوارهای برشی تکرار شونده‌ای است که طبق قاعده معمول به صورت عمودی و زیر هم در ارتفاع حرکت نمی‌کنند بلکه با هدف فعال کردن مقطع و در ارتباط با کانسپت حجم در هر طبقه نسبت به طبقه دیگر در طول حرکت می‌کنند (شکل ۱۱ و ۲۰) که همین امر موجب شده است تا سازه، حجم و به ویژه نما کاملاً از هم تبعیت کنند. به همین دلیل یک انتظام بصری در پلان و نما شکل گرفته است که حاصل استفاده از یک سیستم سازه‌ای متداول (دال و دیوار برشی) اما به صورتی مدولار و منعطف است (شکل ۱۲). دیوارهای برشی بر مدول سازه منطبق‌اند که با دهانه‌های ۶ و ۱۰ متری تکرار می‌شوند. همین‌طور مدول قالب بندی برای دیوارهای برشی ۰/۳ متر است به همین دلیل همواره طول دیوارهای برشی استفاده شده در پروژه ضریب ۰/۳ متر است.



حجم ساختمان علاوه بر حضور شهری، کاربردی و پویا نیز هست. حجم دو قسمت ساختمان و ارتباط آنها با یکدیگر امکان به حداکثر رساندن سطوح جلویی به سمت دانوب و خلیج را فراهم می‌کند (شکل ۱۳). حجم پویا و «حرکت به سمت بیرون» ساختمان نیز به عنوان یک پتانسیل انرژی غیرفعال عمل می‌کند. نسبت اندازه‌ها و چیدمان‌های مختلف واحدها در یک ساختمان همیشه یک معضل خاص برای توسعه دهندگان است. بنابراین، یک سیستم معماری و سازه‌ای انعطاف‌پذیر توسط معماران طراحی شد که امکان تغییر سریع و انعطاف‌پذیر در تعداد اندازه‌ها و انواع مختلف واحدها (S/M/L/XL) را فراهم کرد (شکل‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸). مدول تناسبات

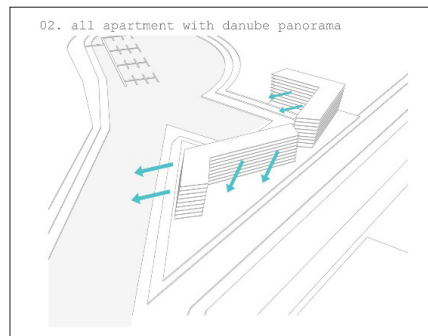
داخلی بر مدول سازه منطبق است، همین امر موجب شده است تا سازه به خوبی در فضاهای داخلی حل شود. مدول نما همراه ضربی از ۴/۰ متر است. ابزارهای سفید برجسته در لبه‌های طبقات (شکل ۱۴)، با فاصله ۵۳ سانتی‌متر در هر سطح به سمت جنوب، سطوح پنجره‌های نما را از نور مستقیم خورشید در امان نگه می‌دارند و در عین حال اجازه می‌دهند نور پراکنده بیشتری از شمال به واحدها وارد شود. (T2.a, 2020)



شکل ۱۲. شبکه مدولار طراحی در پلان طبقات
منبع: (T2.a, 2020)



شکل ۱۴. پرسپکتیو مجموعه
منبع: (T2.a, 2020)

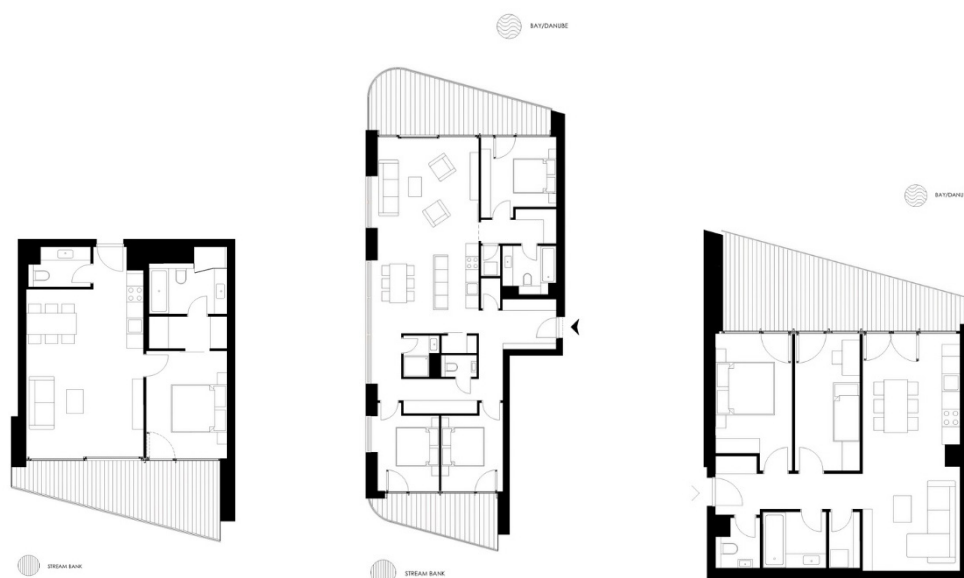


شکل ۱۳. نحوه شکل‌گیری حجم
منبع: (T2.a, 2020)

واحدها در یک سیستم خوشه‌ای در اطراف هسته‌های عمودی جای گرفته‌اند، هر طبقه نه واحد مسکونی را در بر می‌گیرد. واحدهای بزرگتر دو نمای مخالف را به هم متصل می‌کنند، در حالی که واحدهای کوچکتر رو به ارتفاعات جنوبی هستند. بخش V شکل ساختمان "A" در کنار دانوب و بخش L شکل "B" رو به خلیج در مجموع حدود ۳۵۰ واحد شامل انباری و پارکینگ در دو طبقه زیرزمین را در خود جای می‌دهند. سطوح گاراژ زیرزمین به اندازه نیمی از سطح زمین بالا می‌رود تا ساختار بتن آرمه ضد آب گاراژ نیز به عنوان یک سازه محافظ در برابر سیل عمل کند.



شکل ۱۵. واحدهای تیپ XL
منبع: (T2.a, 2020)



شکل ۱۸. واحد تیپ S

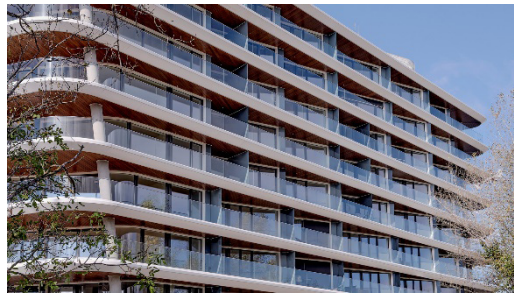
شکل ۱۷. واحد تیپ L

شکل ۱۶. واحد تیپ M

واحد های L و XL منظره را از هر دو جهت قاب می‌کنند اما واحدهای M و S تنها در یک سمت بالکن دارند. در واحد های XL به واسطه جایگذاری دستگاه پله و آسانسور نحوه ورود به واحدها به گونه ایست که فضای عمومی و خصوصی از هم جدا شوند. پنجره های واحدها با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور طولی سازه ساختمان چرخیده اند، بنابراین نمای "دندانه‌ای" تراس ها را به سمت رودخانه و چشم انداز جهت می‌دهد (شکل ۱۹) و در عین حال جدایی بصری و صوتی بین تراس های آپارتمان ها را ایجاد می‌کند. هر واحد دارای یک فضای تراس بزرگ و سرپوشیده است که ادامه مستقیم فضاهای داخلی است. تراس ها به عنوان محدوده زندگی در فضای باز برای آپارتمان ها، به عنوان مناطق کاربردی واقعی طراحی شده اند. این سطوح به خوبی محافظت شده و کمتر در معرض آب و هوا هستند (T2.a, 2020).



شکل ۲۰. سازه بتنی و دیوارهای برشی
منبع: (T2.a, 2020)

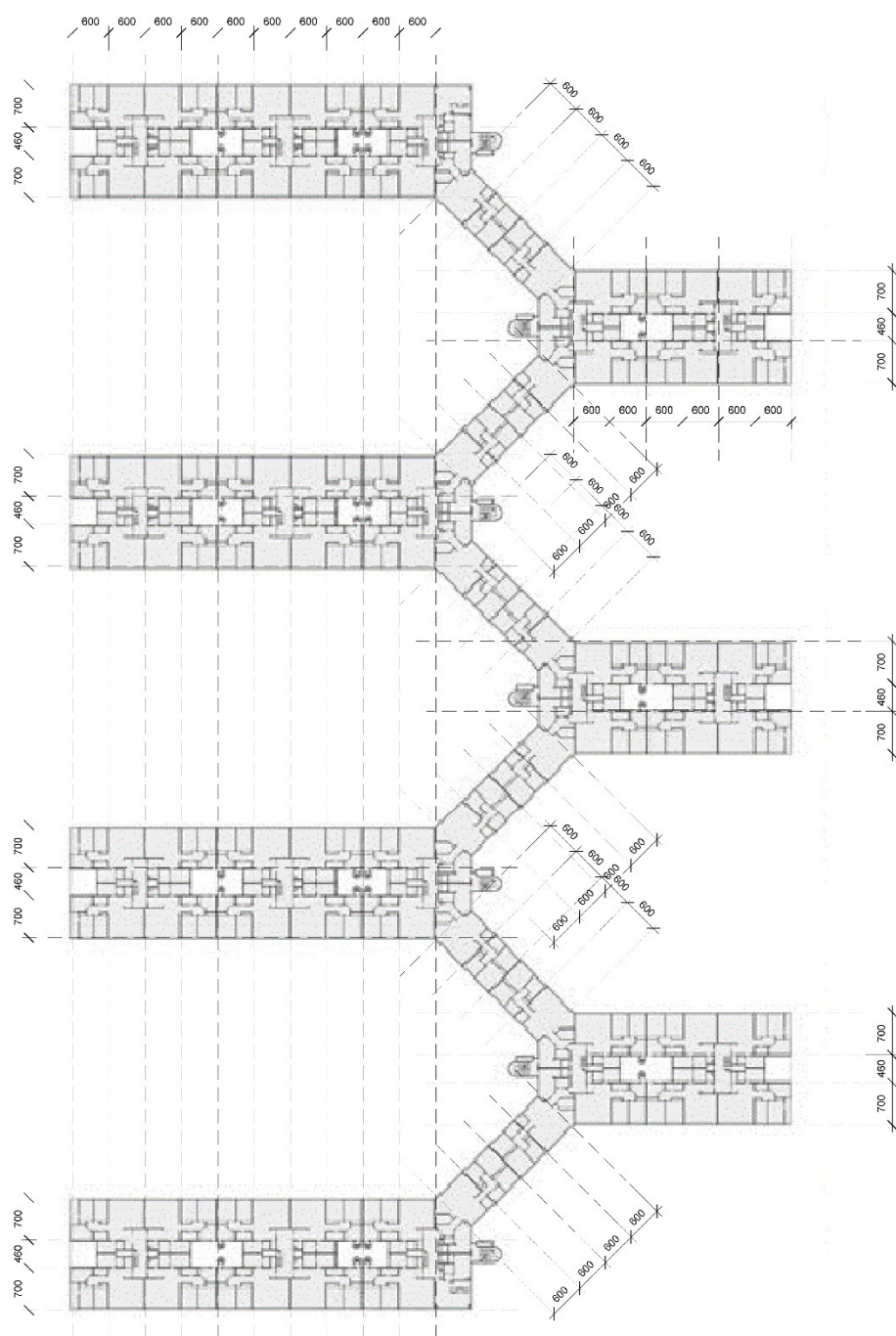


شکل ۱۹. نمای دندانه‌ای تراس‌ها
منبع: (T2.a, 2020)

شهرک اکباتان

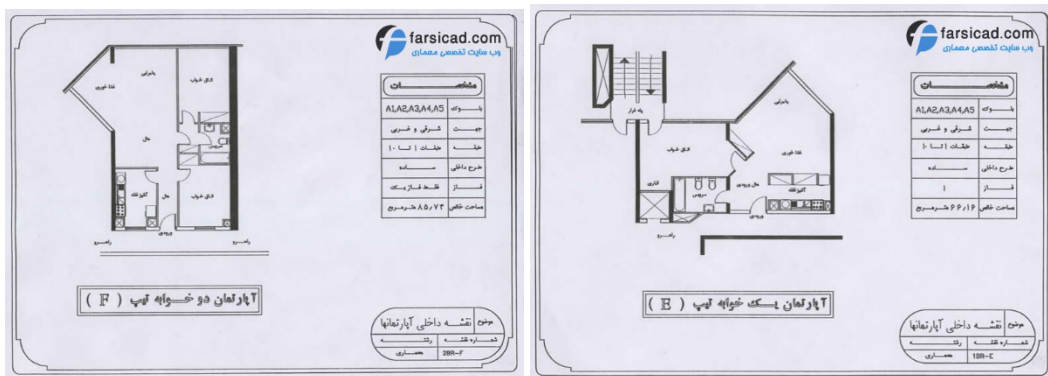
شهرک اکباتان یکی از وسیع‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهرک‌های خاورمیانه است که در غرب تهران و در منطقه ۵ واقع شده است. به علت گستردگی و تعداد زیاد بلوک‌ها روش قاب تونلی به لحاظ ساختاری انتخاب و اجرا شده است. مدول سازه با دهانه‌های ۴/۶، ۶ و ۷ متر شبکه بابر مجموعه را تشکیل می‌دهد (شکل ۲۱). سیستم تونلی سیستم سازه‌ای و اجرایی خاصی از ساختمان‌های بتن آرمه می‌باشد. واژه تونلی به علت شکل‌گیری قالب‌های فلزی به صورت یکپارچه در دیوارها و سقف‌ها انتخاب شده است. در سیستم قالب تونلی، دیوارها و سقف‌ها پس از آرماتورگذاری به صورت همزمان و پیوسته قالب‌بندی و بتن‌ریزی می‌شوند، به گونه‌ای که سازه اصلی ساختمان تنها همان دیوارهای بتنی باربر و سقف‌ها به صورت دال بتنی است و در واقع از سیستم متداولی مانند تیر و ستون در انتقال بارها تبعیت نمی‌کند. بعد از پایان هر مرحله بتن‌ریزی دیوار و دال و با گذشت زمان گیرش و کسب مقاومت کافی بتن که بر حسب نوع سیمان و افزودنی‌های بتن مورد استفاده تا ۲ روز قابل کاهش می‌باشد، امکان انتقال قالب‌ها به طبقات بالاتر وجود دارد و سازه یک طبقه به طور کامل به همین روش ایجاد می‌شود (یگانه، ۱۳۸۹). برای پوشش دادن یک دهانه دو قالب به ابعاد $۷۰۰ \times ۳۲۰ \times ۳۰۰$ به صورت پشت به پشت قرار گرفته اند.

مدولار بودن دهانه‌ها ناشی از انتخاب سیستم قالب تونلی به عنوان سیستم سازه‌ای است. با توجه به هزینه اولیه بالای ایجاد قالب‌ها تنها زمانی که قالب‌ها به صورت انبوه استفاده می‌شوند به لحاظ اقتصادی توجیه پذیر است. استفاده از قالب تونلی دیوارهایی موازی و مدولار در پلان معماری ایجاد خواهد کرد همین طور موجب محدودیت‌هایی در بازشوها و طول دهانه‌ها می‌شود، این چالش می‌تواند موجب تکرار صرف دهانه‌ها، عدم تنوع و غیرخوانا شدن محیط شود. در پروژه اکباتان تلاش شده تا تیپ‌های متفاوتی به لحاظ مترایژ، دوبلکس بودن، نحوه دسترسی، نورگیری و... در آن‌ها ایجاد شود (شکل‌های ۲۲، ۲۳ و ۲۴). مدول تناسبات داخلی و مدول سازه ضریبی از مدول پایه (۰/۱ متر) است که مقادیر عددی آن‌ها بر هم منطبق است. این شهرک متشکل از سه فاز است که هر کدام چند بلوک و هر بلوک چند ورودی را شامل می‌شود. در مجموع این شهرک دارای ۳۳ بلوک و ۱۵۶۷۵ واحد مسکونی است. همچنین سرانه فضای سبز در شهرک اکباتان با میزان سطح اشتغال مسکونی برابر است که این امر موجب ایجاد یک خرد اقلیم در محدوده شهرک شده و فضای زیستی مطلوبی را برای ساکنین ایجاد کرده است (منبع: پرتال جامع اطلاع رسانی و ارتباطی شورایاری محلات منطقه ۵ تهران).

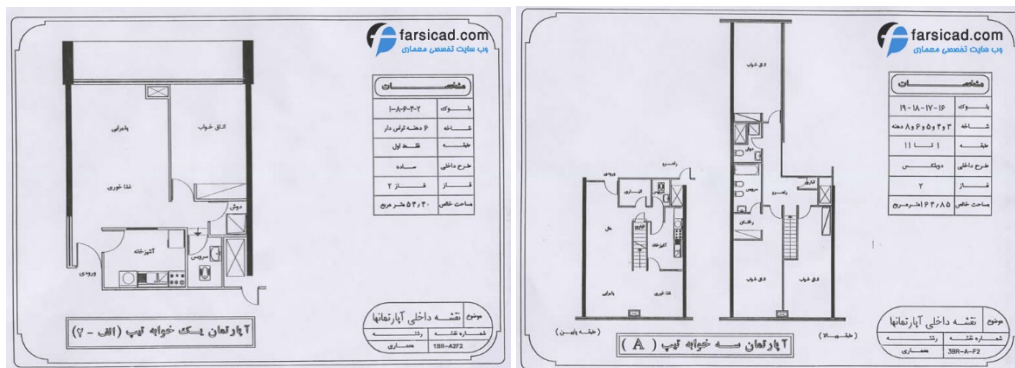


شکل ۲۱. شبکه مدولار پلان فاز ۱ شهرک اکباتان

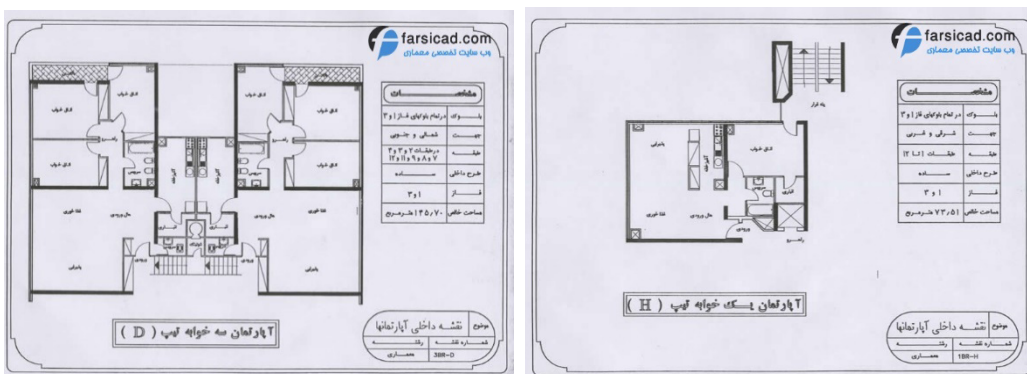
منبع: www.farsicad.com



شکل ۲۲. پلان های تپ فاز ۱ پروژه اکباتان
منبع: www.farsicad.com



شکل ۲۳. پلان های تپ فاز ۲ پروژه اکباتان
منبع: www.farsicad.com



شکل ۲۴. پلان های تپ فاز ۳ پروژه اکباتان
منبع: www.farsicad.com

بررسی و تحلیل نتایج

هر کدام از نمونه های موردی به لحاظ مدولار بودن، شیوه قالب بندی، روش ساخت، نحوه دسترسی ها، مسائل اقلیمی، کوتاه مرتبه بودن و... دارای وجوه مشترکی بودند و از این جهات مورد بررسی قرار گرفتند تا ضمن اشاره به نقاط ضعف و قوت این پروژه ها بتوان راهکارهایی مناسب برای طراحی مسکن مدولار پیشنهاد داد. در جدول زیر به بررسی و مقایسه این سه پروژه می پردازیم:

جدول ۱. بررسی و مقایسه کیفی نمونه‌های موردی

آیتم مورد بررسی	سهاگا پارکن	دانوب	اکباتان
نوع مدولاسیون	عناصر و ساختار مدولار	عناصر مدولار	عناصر و ساختار مدولار
طراحی مدولار	خطوط موازی دیوارها با تکرار شونده‌گی مدولار	طراحی تیپ پلان‌های تکرار شونده تکرار شکستگی‌های ۹۰ درجه در نما خطوط موازی دیوارها در پلان	دهانه‌های تکرار شونده پنجره‌های نواری تیپ‌بندی مدولار واحدها
نوع قالب بندی	قالب فلزی	قالب فلزی	قالب تونلی
نسبت قالب بندی و بحث مدولار	قالب‌بندی مدولار فلزی در هماهنگی با طرح مدولار واحدها	قالب بندی مدولار دیوارهای برشی	قالب تونلی و ایجاد واحدهای مدولار با محدودیت دهانه و بازشوها
هماهنگی با اقلیم	گسترش خطی پلان‌ها بالکن‌های خطی و کشیده سقف شیب‌دار	گسترش خطی پلان‌ها بالکن‌های وسیع رو به خلیج دانوب	شکل‌گیری احجام مطابق با دریافت نور و سایه اندازی (پله پله شدن)
نحوه ساخت	دال، ستون و دیوار برشی بتنی	دال، ستون و دیوار برشی بتنی	سیستم قالب تونلی
مصالح نما	چوب ترموود پنجره‌های آنادایز شده نرده‌های فولادی	پروفیل آلومینیومی عرشه‌های کف از کامپوزیت چوب-پلاستیک	بتن اکسپوز
شبکه طراحی	شبکه طراحی مدولار و متقاطع با زوایای ۹۰ درجه	شبکه طراحی حول هسته‌های دسترسی عمودی	شبکه طراحی مدولار با دیوارهای موازی و دهانه‌های تکرار شونده
تنوع واحدها	سه تیپ واحد مسکونی	پنج تیپ واحد مسکونی	بیش از چهار تیپ واحد مسکونی
هماهنگی با سایت	پشت کردن به آلودگی صوتی و ایجاد یک حیاط خصوصی	رو کردن احجام به مناظر پیروی کردن خطوط پلان از لبه‌های سایت	ایجاد خرد اقلیم و فضاهای سبز گسترده

با توجه به نقشه‌های موجود از پروژه‌های بررسی شده در نمونه‌های موردی، سعی شد تا مقدار عددی انواع مدولاسیون از مدارک پروژه‌ها استخراج شود، در جدول ۲ مقادیر عددی که مدولاسیون بر پایه آن‌ها استوار است جمع‌آوری شده است.

برای دستیابی به مقادیر عددی مدول‌ها، در ابتدا خطوط اصلی در پلان‌ها، نماها و مقاطع شناسایی شدند. سپس خطوط راهنما در راستای این خطوط اصلی ترسیم شدند. از ترسیم این خطوط راهنما یک شبکه متقاطع ایجاد شد. با اندازه‌گذاری این شبکه متقاطع مقادیر عددی متفاوتی به دست آمد. با بررسی نحوه تکرار این اعداد و نسبت بین آن‌ها مقادیر عددی جدول ۲ استخراج شد. به عنوان مثال مدول پایه به عنوان کوچکترین سازنده شبکه هماهنگی ابعاد، عددی بود که همه این اعداد بر آن بخش پذیر بودند. اعداد مدول تناسب داخلی که مربوط به نحوه تفکیک فضاهای داخلی، اتاق‌ها، راهروها و ... است، از جمع‌آوری پرتکرارترین اعداد در شبکه خطوط راهنمای منطبق بر پلان و با توجه به تیغه‌بندی داخلی هر پروژه بدست آمده است (شکل‌های ۴، ۸، ۹، ۱۲ و ۲۱). مدول سازه نیز با همین روش اما با مبنا قرار دادن عناصر سازه‌ای در پلان‌ها و فواصل تکرار شونده آن‌ها به دست آمد، به عنوان مثال در شهرک اکباتان مدول سازه‌ای همان دیوارهای برشی تکرار شونده است که مدول قالب‌بندی سیستم قاب تونلی به پلان‌ها تحمیل کرده است (شکل ۲۱) یا در پروژه دانوب و سلهاگا پارکن فواصل تکرار شونده دیوارهای برشی در پلان‌ها مورد بررسی قرار گرفتند (شکل‌های ۴ و ۱۲). مقادیر مدول نما پر تکرارترین اعدادی

است که شبکه متقاطع خطوط راهنما با عبور از لبه بازشوها، نردیس‌ها و عنصرهای استفاده شده در نما و... تشکیل داده است (شکل‌های ۸ و ۹). مقادیر عددی به دست آمده برای مدول قالب‌بندی متأثر از نوع سیستم سازه‌ای و نحوه قالب‌بندی آن است، به عنوان مثال در پروژه سلهاگاپارکن پانل‌های پیش‌ساخته بتنی، به عنوان عنصر اصلی مدولاسیون عمل کرده و در پروژه اکباتان ابعاد قالب‌های تونلی ($۳۲۰ \times ۳۰۰ \times ۷۰۰$) مدول قالب‌بندی را تعیین کرده است.

جدول ۲. بررسی نمونه‌های موردی بر اساس مقدار عددی انواع مدولاسیون (واحد اعداد جدول سانتی متر است)

مدول مورد بررسی	سلهاگاپارکن	دانوب	اکباتان
مدول پایه	۵	۱۰	۱۰
مدول نما	۲۰، ۴۵، ۹۰، ۱۲۰، ۲۲۵	۸۰، ۱۶۰، ۱۲۰	۱۰۰، ۱۵۰، ۶۰۰
مدول تناسبات داخلی	۱۹۵، ۲۲۵، ۲۸۵، ۳۴۵، ۳۶۵، ۴۲۰، ۱۸۰	۱۲۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰	۲۵۰، ۳۵۰، ۴۶۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۱۲۰
مدول سازه	۳۴۵، ۶۰۰	۶۰۰، ۱۰۰۰	۴۶۰، ۶۰۰، ۷۰۰
مدول حمل و نقل	$۱۲۰ \times ۳۲۰ \times ۱۲۰$	$۱۲۰ \times ۳۲۰ \times ۱۲۰$	$۱۲۰ \times ۳۲۰ \times ۱۲۰$
مدول قالب‌بندی	۲۰، ۳۴۵، ۶۰۰ (پانل‌های پیش‌ساخته)	طول دیوارهای برشی مضرپی از ۳۰ (ضخامت ۹۰)	۷۰۰، ۳۰۰، ۳۲۰ (ابعاد قالب تونلی)

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی این سه پروژه می‌توان دریافت طراحی مدولار مسکن می‌تواند پتانسیل‌هایی را در مرحله طراحی و ساخت ایجاد کند. به علاوه نحوه قالب‌بندی نیز می‌تواند در روند طراحی و شکل‌گیری پلان‌ها موثر واقع شود. با توجه به مقادیر عددی مدول‌های بررسی شده در نمونه‌های موردی می‌توان این گونه بیان کرد که به منظور پیوستگی و نظم طراحی فضاهای داخلی با ساختار بابر باید همواره شبکه مدول سازه بر مدول تناسبات داخلی منطبق باشد. نکته قابل توجه دیگر اینکه همه انواع مدولاسیون‌ها همواره ضریبی از مدول پایه هستند که این خود موجب هماهنگی ابعادی طرح می‌شود. مقدار عددی ۶ متر برای طول دهانه‌ها در هر سه پروژه تکرار شده است که شاید علت آن تناسب مطلوب فضاهای داخلی به وجود آمده از تقسیم آن برای کاربری مسکونی باشد. با توجه به اینکه نما تا حد زیادی از تناسبات داخلی تبعیت می‌کند معمولاً یا مدول نما یا مدول تناسبات داخلی منطبق است یا ضریبی از آن است. همان طور که دیده شد می‌توان با ایجاد یک شبکه مدولار و تکرار شونده تیپ پلان‌ها را مطابق با آن شبکه طراحی نمود و سپس با گسترش به تمام محدوده ساخت، سرعت و دقت طراحی را افزایش داد. استفاده از ساختار و شبکه مدولار موجب می‌شود تا ابعاد و تنوع قالب‌ها نیز کاهش یابد که این امر موجب افزایش سرعت و دقت در ساخت و همین طور کاهش هزینه ساخت قالب‌ها می‌شود به عنوان مثال دیدیم که در مجموعه مسکونی دانوب طول دیوارهای برشی همواره ضریبی از $\frac{۳}{۴}$ متر است و ابعاد قالب فلزی (طول $\frac{۳}{۴}$ متر) استفاده شده در بتن‌ریزی دیوارهای برشی (شکل ۱۰ و ۱۱) مدول قالب‌بندی را با مدول سازه مرتبط می‌سازد. در پروژه اکباتان نیز از تکرار دو مدول قالب‌بندی یک مدول سازه ایجاد می‌شود و به طور همزمان مدول تناسبات داخلی و نما نیز از آن متأثر می‌شود. با بررسی پروژه‌ها با رویکرد مدولار می‌توان به این مهم دست یافت که اگر راهی برای متمایز کردن پلان‌ها اتخاذ نشود، موجب تکرار طاق‌ها و فرسا واحدها و غیر معمارانه شدن فضاها خواهد شد. به همین جهت در این سه پروژه به تناسب موقعیت قرارگیری، دریافت نور، دسترسی‌ها، مسائل اقلیمی و... واحدها، تیپ‌های متفاوتی پیدا کرده‌اند با وجود اینکه همچنان خطوط اصلی راهنما (شبکه طراحی) بر پلان‌ها حاکم است. در انتها ذکر این نکته ضروری است که در طراحی مجموعه‌های مسکونی شیوه قالب‌بندی و طراحی مدولار مکمل هم هستند و یکدیگر را بهبود می‌بخشند. یک طراحی مدولار برای اجرای بهینه نیاز به یک بستر ساختاری مدولار دارد و یک سیستم سازه‌ای مدولار خود متشکل از مدول‌های قالب‌بندی است. برای پژوهش‌های آتی می‌توان بر

فهرست منابع

روی نحوه بهینه‌سازی هزینه‌ها و مدیریت زمان با استفاده از ارتباط روش قالب‌بندی و طراحی مدولار تمرکز کرد.

- آصفی، م. (۱۳۸۹). تکنولوژی طراحی و ساخت سازه های صنعتی و مدولار. دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- ارفعی، م. ن. (۱۳۸۲). ضوابط طراحی معماری براساس اصل انطباق شبکه‌های مدولار در سیستم‌های تولید ساختمان. تهران: مرکز تحقیقات مسکن، راه و شهرسازی.
- امیری، و. (۱۳۹۸). به کارگیری رویکرد پارامتریک در متره و برآورد پروژه با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان. دومین کنفرانس بین المللی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان.
- اولیا، ج. (۱۳۶۳). هماهنگی مدولار، ضوابط هماهنگی مدولار برای کشور ایران. نشریه شماره ۵۶ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- پرتال جامع اطلاع رسانی و ارتباطی شورایاری محلات منطقه ۵ تهران
- صفا، ح. (۱۳۹۴). جایگاه مدوالر و پیش‌ساختگی در معماری مدرن. پنجمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی. تهران: مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.
- عشری، م. ط. (۱۳۹۶). بررسی و تحلیل مزایا و معایب انواع قالب متداول و ارزیابی و انتخاب روش قالب بندی. چهارمین کنفرانس ملی مدیریت ساخت و پروژه.
- یگانه، م. م. (۱۳۸۹). انواع صنعتی سازی به روش قاب تونلی. واحد تحقیق و توسعه شرکت سرمایه گذاری مسکن
- C. Hyun, C. J. (2018). Automated optimization of formwork design through spatial analysis in building information modeling. *Automation in Construction*, vol. 95, pp. 193–205, 2018/11/01/.
- D. Veenendaal, M. W. (2011). History and overview of fabric formwork: using fabrics for concrete casting. *Structural Concrete*, vol. 12, no. 3, pp. 164–177.
- K. Brózda, a. J. (2019). Safety of Formworks in the Engineering and General Construction Sector. *System Safety: Human–Technical Facility–Environment*, vol. 1, no. 1, pp. 284–290.
- L. R. Peurifoy, a. D. (2011). Formwork for Concrete Structures 4th edition. *The McGraw–Hill Companies*.
- Li, W. L. (2022). A review of formwork systems for modern concrete construction. In *Structures* (Vol. 38, pp. 52–63). Elsevier.
- M. Shazwan Ahmad Shah, N. M. (2019). A review on wooden formwork for concrete casting,. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 513, pp. 012036, 2019/04/25.
- Murman, A. (2023, Oct 10). *Solhagaparken Residential Complex*. Retrieved from ArchDaily: <<https://www.archdaily.com/1008010/solhagaparken-murman-arkitekter>> ISSN 0719-8884
- N. Ruffray, M. B. (2010). Complex architectural elements from HPFRC and 3D printed sandstone.
- Nurdiani, N. K. (2021). The application of modular architecture on apartment buildings. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 794, No. 1, p. 012169). IOP Publishing.
- P. Arumsari, a. C. (2020). Cost and time analysis on the selection of formwork installation method. *E&ES*, vol. 426, no. 1, pp. 012042.
- Pibal, S. S. (2022). *Framework of an algorithm-aided BIM approach for modular residential building information models*. International Journal of Architectural Computing, 20(4), 777–800.
- R. Yip, a. C. (2008). Comparison of timber and metal formwork systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management*, vol. 161, no. 1, pp. 29–36.
- Sabo, W. (2008). Legal guide to AIA documents (No. 1). *Wolters Kluwer*.
- Schipper, H. (2015). Double-curved precast concrete elements: Research into technical viability of the

flexible mould method.

- Staib, G. D. (2008). Components and systems: modular construction–design, structure, new technologies. DE GRUYTER.
- Strickland, M. H. (2010). Roman building materials, construction methods, and architecture: The identity of an empire. *Dissertations & Theses – Gradworks*.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in construction*, 18(3), 357–375.
- T2.a, A. (2020, Nov 20). *Danubio Budapest Building*. Retrieved from ArchDaily: <<https://www.archdaily.com/1003582/danubio-budapest-building-t-architects>> ISSN 0719–8884
- Young, B. E. –K. (2020). Modular construction innovation in the UK: The case of residential buildings. *In The 10th Annual Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) Conference. IEOM Society*.