

## بررسی و تحلیل صنعت پیش‌ساختگی و مدولار برای طراحی فضاهای آموزشی ایران

سینا علائی\*<sup>۱</sup>، مهناز طالبی<sup>۲</sup>

۱- گروه معماری، پردیس علوم و تحقیقات اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

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

s.alaei@iauardabil.ac.ir

### چکیده

تأثیر سازه بر شکل‌گیری اثر معماری غیر قابل انکار است. در جامعه صنعتی امروز که نیاز به خشک‌سازی، سریع‌سازی و مقاوم‌سازی از جمله اصول کلی است، نیاز به مدولاریت ثابت که طرح‌های معماری را با سازه مطبق سازد، ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله ضمن بررسی پیش‌ساختگی در فضاهای آموزشی و همچنین مدولار پیش‌ساختگی در فضاهای آموزشی، به انطباق آن مدولار مبلمان و در واقع طراحی معماری فضا پرداخته می‌شود. در این پژوهش از راهبرد ترکیبی و موردی از طریق مطالعه اسنادی و استنتاج منطقی استفاده شده و جهت دقیق‌کردن بررسی، مطالعه روی ساختمان‌های آموزشی متمرکز شده است. این انطباق که به عنوان نتیجه آورده شده است، می‌تواند در بهینه‌سازی، صرفه‌جویی در منابع و رسیدن به طراحی پایدار معماری تأثیر به‌سزایی داشته باشد.

واژگان کلیدی: سازه، سریع‌سازی، فضای آموزشی، مدولار، پیش‌ساختگی

### مقدمه

شناخت بارزهای اصلی تمدن هر ملت برای مردم‌شناسی، در حقیقت یک نوع خودشناسی و آگاهی از ریشه‌های هستی و موجودیت هر فرد و شناسنامه ملی آن قوم است. ناگفته پیداست این امر برای ما ایرانیان که وارث فرهنگی بسیار غنی و سرشار بودهایم بایسته و ضروری است. الگوهای است‌مورد تأکید اکثر معماران و شهرسازان جهان است. از جمله مهمترین و بارزترین ساختمان‌های سنتی که معرف هویت خاص معماری اسلامی کشورمان هستند، مدارس و مراکز علمیه در شهرهای مختلف بوده که در طول تاریخ معماری به تدریج به تکاملی قابل‌تحسین رسیده‌اند و خوشبختانه اکثر آنها هم‌مورد استفاده و دارای عملکرد آموزشی می‌باشند. طراحی معماری عملی سهل و ممتنع است. ساختا فضا در ظاهر ساده و در واقعیت امری بسیار پیچیدگی و چندبعدی‌بودن مسئله آموزش و پرورش و ساخت مراکز آموزشی که از ابعاد کالبدی و فضایی، کیفیت‌های بصری و ادراکی، ابعاد زیبایی‌شناسی، جنبه‌های محیطی و اقلیمی، مسائل تکنولوژی و غیره برخوردار است مستلزم همکاری متخصصین، در یک نظام سیستمی و مرتبط خواهد بود. (غفاری، ۱۳۷۷، ۲)

فضاهای آموزشی باید بتوانند جوابگوی نیازهای بر اساس تغییرات الگوهای آموزشی باشند، با پیشرفت تکنولوژی و فن، هر روز تقاضای کودک و معلم تغییر میکند. پس فضاهای آموزشی باید بتوانند امکان این انعطاف‌پذیری را فراهم آورده، جوابگوی پایداری در طول زمان باشند. نیاز به انعطاف‌پذیری در فضاهای آموزشی را میتوان به گروه‌های کارکردی، اجتماعی، روانی و اقتصادی دستهبندی کرد. بنابراین نیاز به تطابق

با مسائل روان‌شناختی و اجتماعی، فضاهای آموزشی را نیازمند انعطاف‌پذیری بیشتری مینماید. الگوی انعطاف‌پذیر یک فضای آموزشی هم‌رند آموزش و هر فرم فضای آموزش، هم‌وص فضایی زنده است و هم‌وص روندی که فضا در آن ایجاد شود. چند عملکردی دیدن یک فضا، همچنین امکان تلفیق، تفکیک و گسترش آن از مهمترین عواملی هستند که در طراحی یک الگوی منعطف باید به آن پرداخت. بررسی الگوهای انعطاف‌پذیر در ابعاد مختلفی امکان‌پذیر است، در مقیاس کلان، در همجواری و تلفیق با عناصر و عملکردهای دیگر و در ایجاد سیمای مطلوب شهری که در دانش‌آموز حس تعلق، هویت، اعتماد به نفس و افتخار را قوت میبخشد. در مقیاس میانی در سازماندهی اجزاء، تعداد طبقات و نوع ارتباطات فضاهای آموزشی به گونهای که جوابگوی آموزش جدید و پویای امروز و پیشرفت تکنولوژی و سرعت آن در سالهای اخیر باشد و در مقیاس خرد، در دقت عمل منوط به انتخاب شکل فرم اجزای آموزشی، مبلمان، مقیاس و جزئیات آنها به طوری که ادراکات حسی مثبت را در تطابق با استفاده‌های متفاوتی که در طول زمان ممکن است داشته باشند، به وجود آورد. (محمودی، ۱۳۹۱، ۱)

سیستم مدولار در برابر تغییر، پاسخگو می‌باشد، سیستم‌های ساختمانی نوین در طراحی، انعطاف‌پذیری معینی را ممکن می‌سازند و امکان بهبود را بوجود می‌آورند، در حالیکه سیستم‌های ساختمانی متداول برای تغییر طراحی نشده‌اند و هر تغییر شکلی در بنا با تخریب بخش و یا گاه تمامی آن همراه خواهد بود. برای افزایش ظرفیت تغییر شکل ساختمان‌ها، ساخت بناها باید بر بهره‌وری ساختمان و روش‌های ساخت نوآورانه تمرکز بیشتری پیدا کند تا سازه‌های انعطاف‌پذیرتری حاصل آمده و اجزای این سازه‌ها به راحتی قابل جایگزینی، استفاده مجدد یا بازیافت باشند همچنین، روش‌های گذشته و کنونی انبوه‌سازی فاقد تعادل مناسب میان جنبه‌های عملکردی، زیبایی‌شناسی و ظرفیت شخصی‌سازی برای ساکنان بوده است و انبوه‌سازی مسکن با اعمال رویکردهای طراحی صنعتی میتواند ارتقا یابد، در این پژوهش به رویکرد صنعت پیش‌ساختگی و مدولار در مسکن انعطاف‌پذیر پرداخته خواهد شد. امروزه با توجه به نیاز مزاعف به طراحی و اجرای صحیح و متناسب فضاهای آموزشی در ایران، رسیدن به طراحی مدولار بر اساس آنچه در فرهنگ و تاریخ خود داشتیم جهت سریع‌سازی، خشک‌سازی و مقاوم‌سازی ضروری به نظر میرسد. این روند رسیدن به پیش‌ساختگی به معنای عدم انعطاف یا طراحی یکنواخت نیست، بلکه هدف تطبیق طراحی بر هندسه‌ای هماهنگ است. در این مقاله پس از شناخت مدولاسیون به تطبیق سازه و معماری بر اساس هماهنگی به دست آمده در فضاهای آموزشی ایران پرداخته می‌شود. از این رو برآنیم تا در این پژوهش به سوال زیر پاسخ دهیم:

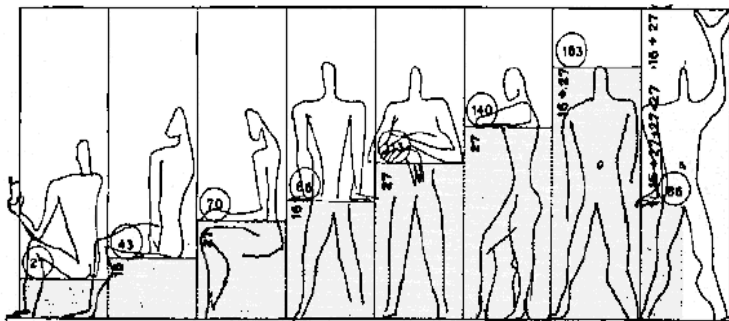
## سوال تحقیق

- ۱- مزایای طراحی سازه مدولار چیست؟
- ۲- در طراحی مدولار از چه نوع فناوری‌ها و سازه‌های نویی میتوان استفاده نمود؟

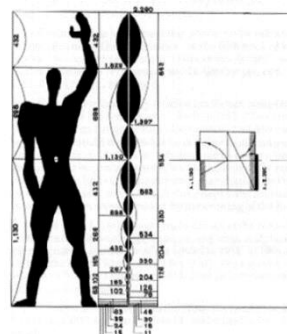
## تناسب

تناسب، عبارت است از رابطه‌ی نسبی و قیاسی بین اجزای مختلف و تمامی یک عنصر. سنجش میان اندازه‌ی دو چیز، یک نسبت را پدید می‌آورد و سازواری یا تناسب، به برابری این نسبت‌ها گفته می‌شود. تناسب گاهی از طریق کشف و شهود و گاهی از راه اعمال نسبت‌های ریاضی به وجود می‌آید. هر دستگاه ساماندهی تناسبات، دارای نسبت ویژه‌ای است که میان بخش‌ها با هم و نیز هر بخش با کل برپا است (پی‌یر فون، ۱۳۸۷). تناسب در عین اینکه یک عامل تعیین‌کننده برای هماهنگی است، یکی از مسائلی است که همیشه مورد بحث معماری بوده و هست. تناسب ارزشی است ذهنی و فقط در ارتباط با شکل قابل بررسی است. منظور از تناسب در معماری، نسبتی است که بیان‌کننده رابطه بین دو یا چند اندازه است. (گروتز، ۱۳۹۰). بدین ترتیب، سیستم تنظیم تناسب مجموعه‌ای از نسبت‌های بصری را بین اجزاء یک بنا و نیز بین اجزا و کل به وجود می‌آورد. با اینکه این نسبت‌ها در نظر اول ممکن است به چشم بیننده‌های که تصادفاً با آن برخورد میکنند نیاید، ولی نظم بصری که ایجاد میکند طی یک رشته تجربیات مکرر میتواند احساس، پذیرفته یا حتی تشخیص داده شود. (بوکهارت، ۱۳۶۵). تناسب به روابط (اندازه‌های) میان بخش‌های مختلف اثر هنری مربوط میشود و چیزی است که هر بیننده‌های تجربهاش میکند: صنعت یا ویژگی خاص برای نمایانند بخش‌های گوناگون یک اثر است. رابطه‌های تناسبی، غالباً بر یک مدول یا واحد مبتنی است و بخش‌های مختلف یک ساختمان یا هر اثر

دیگر نیز به عنوان بعدی از آن، کسرها یا مضرب‌هایش به شمار می‌روند. این واحد ممکن است قطر یک ستون، بلندی قامت آدمی، یا یک واحد انتزاعی اندازه‌گیری باشد (گاردنر، ۱۳۸۵).



تصویر ۲ - مدولار بر اساس اندام انسان  
(ماخذ: [www.architecture.arizona.edu](http://www.architecture.arizona.edu))



تصویر ۱ - مدولار لوکوربوزیه  
(ماخذ: [www.geocities.com](http://www.geocities.com))

## تاریخچه تناسبات

بشر از دیر باز به رابطی میان اندازه‌ها و شکل‌ها پی برده و تلاش کرده است با اندازه‌ها به شکل برسد، یا با شکلها، اندازه‌ها را نشان دهد. بنیاد طبیعت و چیزهایی که در آن هستند، بر پایه‌ی تناسبات ویژگی‌های پیریزی شده است و بشر از گذشته‌های دور در پی کشف این تناسبات بوده است، تا هم به کنجکاوی خود پاسخ دهد و هم از این تناسبات در آفریده‌های خویش بهره‌گیری کند. (پی‌یر فون، ۱۳۸۷) از نخستین روزهای پیدایش فلسفه یونان، اندیشمندان کوشیده‌اند در هنر یک قانون هندسی بیابند (پی‌یر فون، ۱۳۸۷). برای نمونه تناسبات طلائی، کلیدی برای اسرار هنر در نظر گرفته می‌شده است و این ساختار نه تنها در تناسبات طلائی، که در دیگر نسبت‌های هندسی نیز، پیوند ناگسستنی دانش هندسه و تناسبات را با هنر بیان می‌کرده است. (هربرت، ۱۳۵۴). شناخت تناسبات به گذشته‌های بسیار دور، حتی پیش از تاریخ می‌رسد. (عصام و همکاران، ۱۳۷۷) در ساخت اهرام اندازه‌گیری و روابط هندسی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است (رجبی‌الاصل، ۱۳۸۱) جایگاه تناسبات تا اندازه‌ای است که لئون باتیستی آن را یکی از سه رکن زیبایی بر می‌شمارد. (توسلی، ۱۳۸۳)

## مدول ساختمان

مدول ساختمان، موقعیت و ارتباط بین تمام اجزای ساختمان را تعیین می‌کند. اجزای ساختمان، شامل دو دسته اند: اجزای ساختاری و اجزای غیر ساختاری. در نظام‌های ساده تیر و ستون که شامل سطوح افقی اند، مدول ساختمان، به چگونگی تأمین ایستایی، تیرها و ستونها و سقفهای باربر، ارتفاع فضاها و مدول ساختمان، به چگونگی تأمین ایستایی، تیرها و ستونها و سقفها باربر، ارتفاع فضاها و مدول قطعه و اجزای متشکل بستگی دارد. مدول ساختمان، موقعیت نقاط ثابت بستها و پیچ و مهره‌ها، تیرهای ارتباطی و هر جزئی که به طور مستقیم یا غیر مستقیم مربوط به یکی از ویژگی‌های استاتیکی، مکانیکی و دینامیکی ساختمان باشد، مشخص می‌کند. بدون توجه به اینکه سیستم‌های مورد نظر از پروفیل‌های ساده یا از اجزای سنگین، اسکلت‌های سبک یا خرپاهایی با اتصالات بسیار دقیق و استاندارد که به صورت انبوه تولید می‌شوند یا سطوح ساخته شده از بتن سبک تشکیل شده اند، مدول‌ها در زمینه مشترکی در یک ساختمان عمل می‌کنند که به صورت یک نظام و آهنگ کلی در ساختمان، مطرح می‌گردند. بنابراین در چنین نظام سامان یافته‌ای نمی‌توان و نباید ساختار بنا را به گونه‌ای جدا شده از زمینه‌های معماری و تأسیسات در نظر گرفت و آن را فقط در ارتباط با قوانین استاتیکی یا دینامیکی مربوط به خود، مورد مطالعه قرار داد. اگر دیوارها، پنجره‌ها، درها و سقفها همگی به صورت پیش ساخته شده و برای ساخت مسکن در طبقات به کار گرفته شوند، تمامی اجزای بنا تحت تأثیر

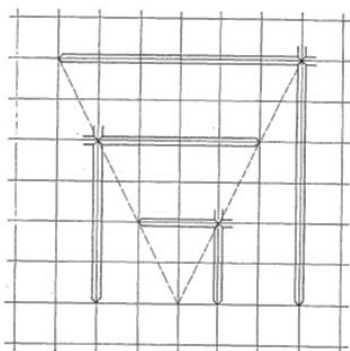
نظام هماهنگ کننده عمل خواهند کرد، که به نظام صنعتی تولید بستگی دارد. تعداد نظام‌های برابر و اتصالات گوناگون از هر نظر، ایجاب می‌کند که ایجاد انسجام در روش‌های ساختمانسازی با استفاده از روش‌های صنعت ساخت صورت گیرد. می‌دانیم که نظام‌های مدولار بر اساس قوانین و ضوابط ویژه خود، سامان یافته اند که در پاره ای از موارد وارد کردن اشیاء و حجم‌ها که از این ویژگی‌ها پیروی نمی‌کنند در یک نظام مدولار، وحدت و انسجام ساختمان را از بین می‌برند. (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۳)

## مدول قطعه

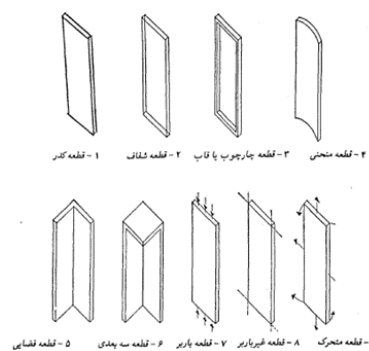
مدول قطعه از تناسب اندازه‌های تمام قطعاتی که فضاهای کاربردی را تعریف می‌کند به دست می‌آید و به عبارت دیگر، به صورت نظری، درباره قطعه با کیفیت فیزیکی ویژه که برای اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد بحث می‌کند و می‌توان آنها را به صورت زیر مشخص نمود:

قطعات کدر، قطعات افقی، قطعات قائم، قطعات شفاف، قطعات منحنی، قطعات غیربرابر، قطعات برابر، قطعات غیرثابت (قابل جابجایی)، قطعات فضایی یا سه بعدی

به این ترتیب نیازمند بازنگری مفاهیم دیوارها، جدارهای جداکننده، پنجره‌ها، درها، سقفها، کفهاست. این بازنگری مفاهیم تنها جنبه‌های ساخت و تولید آنها به روش صنعتی را در بر نمی‌گیرد، بلکه به چگونگی ترکیب و اتصال پدید آمده همه جانبه عمل کنند. برای اینکه بتوان چنین مدولی را به وجود آورد که امکان کاربرد آن در ترازهای مختلف وجود داشته باشد، مدول مورد نظر آنقدر بزرگ باشد که تعداد اتصال قطعات به حداقل برسد زیرا اتصالات همواره نقاط ضعف یک مجموعه اند و از طرف دیگر، قطعه ذکر شده می‌بایست تا حد امکان دارای ابعاد کوچک باشد، زیرا کاربرد قطعه به دلیل افزایش انعطاف‌پذیری آن و امکان ایجاد ترکیب‌های گوناگون از قطعات کوچک تأمین کننده نیازهای طراحی خواهد بود. فرض می‌شود با بهره‌گیری از مطالعاتی که در زمینه مدول‌های تأسیساتی، مبلمان و طراحی انجام گرفته است و مقایسه نیازهای مربوط به هر یک از این مدول‌ها و همچنین بررسی مدول هندسی، این نتیجه حاصل گردد که تمامی این مدول‌ها با یکدیگر مطابقت دارند. در این صورت می‌بایست آن را مجدداً با مدول ساختمان مقایسه کرد تا موفق به ایجاد ترکیب سامان یافته‌ای برای طراحی شد. ساده‌ترین مورد آن است که در یک ساختمان که فقط از عناصر برابر تشکیل یافته است رابطه مدولار و همگن بین تمامی اجزاء برقرار باشد. اگر یک ساختمان فقط از قطعات و اجزای برابر تشکیل شده باشد، هر کدام از قطعات می‌بایستی یک تناسب مدولار با سایر قطعات داشته باشد. لیکن در مورد ساختمان‌های مسکونی چند طبقه باید توجه داشت که علاوه بر اتصال بین عناصر برابر، اتصال عناصر غیر برابر به یکدیگر و یا به عناصر برابر نیز بایستی مورد بررسی و دقت قرار گیرند. بنابراین لازم است، اتصالات بین اجزای ساختمان به سهولت امکانپذیر باشد. در تصویر ۳، قطعات ساختمانی پیش گفته شد. به شرح زیر نشان داده شده اند:



تصویر ۴ - این شکل ابعاد گوناگون یک قطعه را نمایش می‌دهد. این ابعاد در یک سیستم مدولار با پیشین و کمین اندازه‌ها مشخص شده اند (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۶)

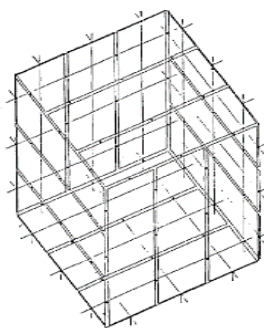


تصویر ۳ - قطعات ساختمانی (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۵)

## مدول اتصال

مدول اتصال به منظور تعیین موقعیت هر نقطه نسبت به اتصال مشخص می گردد. نحوه تعیین این موقعیت به نظام انتخاب شده برای ساختار باربر و عناصر پرکننده ساختمان، بستگی دارد. این اتصالات را می توان به دو گونه اصلی دانست: اتصالات که بخشی از ساختار را تشکیل می دهند و به منظور انتقال نیروها از نقطه ای به نقطه دیگر به کار گرفته می شوند مانند: گره ها، لولاها و اتصالات

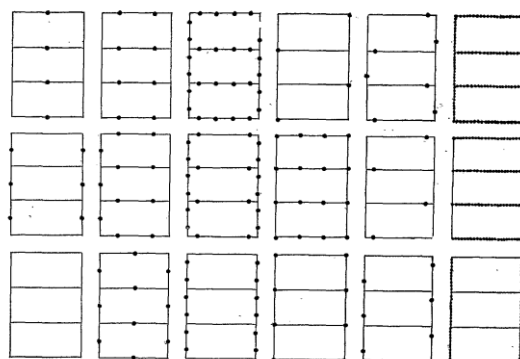
اتصالاتی که به عنوان ابزار ساده ای برای تثبیت اجسام در موقعیت شخصی و معینی به کار گرفته می شوند. تقسیم بندی این اتصالات از یک رشته روابط هندسی متقارن و غیر متقارن ناشی از مدوله های ساختمان، و قطعه پیروی می نماید به همین دلیل غالباً نیازمند نظام های پیچیده در صفحه و گام نظام های پیچیده هستند که بایستی به زیر نظام های متناسب با خود تقسیم گردند. تا بتوان به نظام های بسیار کوچک دست یافت. اگر نوعی اتصال، با توجه به برخی نیازهای ایستایی قطعات به وجود آمده باشد، نظام مدولار بایستی به گونه ای طراحی شود که نقاط برخورد قطعات به یکدیگر در محدوده تعریف شده ای که مورد نظر است مستقر گردند تا یک نظام مدوله های هندسی متناسب به گونه ای که در صورت نیاز در هر ترکیب یا اتصالی کاربرد داشته باشد، شکل یافته و مزاحمتی برای کل نظام یا نظام کل نداشته باشند.



تصویر ۵ - جسم ساختمانی که از عناصر متشکل یکسان شکل یافته است. این جسم، نظام مدولاری را نمایش می دهد که نقاط تقاطع و اتصال اجزاء با یکدیگر و نحوه ارتباط قطعات در فضا ترسیم شده است. (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۷)

## مدول اجزاء

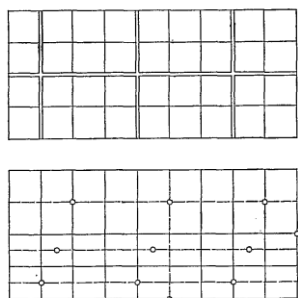
مدول اجزاء، اندازه آن دسته از عناصر ساختمانی را مشخص می کند که در هیچ کدام از گروه های دیگر مدول، چون مدول ساختمان و یا قطعه جایی نداشته باشند. این اجزاء ممکن است ثابت باشند، مانند: پله ها و یا اجسام مکانیکی باشند، مانند: آسانسورها و غیره... باید به این نکته توجه داشت که معمولاً ممکن نیست اندازه و ابعاد این اجزاء نصف یا دو برابر شوند، از نظر هندسی ابعاد شان ثابت می ماند و نمی توان به آن قطعه ای اضافه کرد یا از آن قطعه ای را کم نمود. این دسته ابعادشان ثابت می ماند و نمی توان به آن قطعه ای اضافه کرد یا از آن قطعه ای را کم نمود. این دسته متعلق به گروهی از اجزاء هستند که قابل تقسیم یا تفکیک نیستند. آنها مکمل دیگر عناصر ساختمانی (اجزای ساختمانی یا اجزای معماری) می باشند. یا به عبارت دیگر، اجزای اتصالی به سایر عناصر به سایر ساختاری هستند که از قبل وجود داشته اند (تصویر ۶). (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۸)



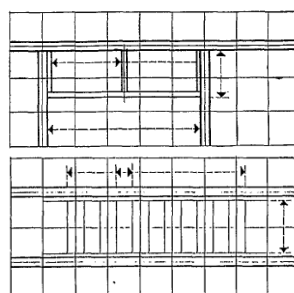
تصویر ۶- اجزای ساختمانی یا اجزای معماری (مآخذ: نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۸)

### مدول رواداری (تلرانس)

مدول رواداری موقعیت اتصالات را تعیین می کند، و تغییرات کوچک فاصله های اجسام را به هنگام اتصال به یکدیگر مشخص می سازد، این مدول موجب می گردد که اشتباهات کوچک ابعادی که هنگام ساخت اجسام صورت می گیرند، تأثیر نامطلوبی روی نحوه اتصال نگذاشته و هماهنگی مجموعه حفظ شود. در آزمایشهایی که به منظور توسعه مدول صورت می گیرند، بایستی به انعطاف پذیری آن در نقاط اتصال توجهی ویژه مبذول گردد بدون آنکه از سختی و یکپارچگی آنها کاسته شود بدین منظور نیازی نیست که از عناصری استفاده شود که خطای موجود را پرکند. برای این کار می توان فاصله هایی را تعیین کرد که اجزاء از قبل در آن فاصله ها به یکدیگر پیوند داده شوند (تصویر ۷ و ۸) (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۹)



تصویر ۸ - (مآخذ: نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۹)



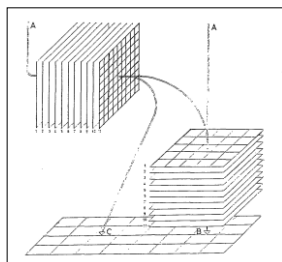
تصویر ۷ - (مآخذ: نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۹)

مدول اجزا، نیازمند تعیین دقیق ابعاد عناصر ساختمانی است و مدول رواداری (تلرانس) می بایست به آن افزوده شود. مدول تأسیسات نیز کلیه لوله کشی ها، محل گذر لوله ها و دودکشها، هواکشها، و فاضلابها را شامل می شود. مدول مبلمان و طراحی داخلی که در آخر مورد بهره گیری قرار می گیرد زیرا مضارب مدول را نیز در بر می گیرد. (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۱۸)

### مدول طراحی

مدول طراحی، از بررسی، ارزیابی و جمع بندی مدول های پیش گفته شده به دست می آید. این مدول عاملی است برای برقرار توازن و نزدیک سازی بین مدول های دیگر، که هر کدام برای منظور ویژه ای تعریف شده اند. ولی باید در نظر داشت که تمام مدولها، در اصل از مدول عادی پایه و مشترکی که برابر با کوچکترین واحد اندازه برای هماهنگی ابعادی است پیروی می کنند.

مدول طراحی، در حقیقت به عنوان عامل جهت دهنده نظری و یا چون نظام تنظیمی، به منظور ارزیابی روابط سامان یافته ای که بین مدول های دیگر برقرار است، عمل می کند. در عمل و کاربردی لازم است فرایند طرح یا بنا مشخص شده و مقایسه ای بین مدول های گوناگون ساختمان، قطعه و تأسیسات، صورت گیرد. اهمیت مدول طراحی به عنوان ابزار و روش برای اندازه گذاری در فضا، بستگی به نتایج تحقیقات انجام شده روی انواع مدول های قبلی دارد. در اینجا یادآور می شود که هر مدول، معرفی یک مقدار عددی است که توسط نقاط یا خطوط متقاطع یا شبکه های متشکل از خطوط متقاطع بیانگر سطح یا حجم، تصویر می گردند (تصویر ۹). (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۲۲)



تصویر ۹- (مآخذ: نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۲۳)

این علائم هندسی تنها در ارتباط با اجسام مشخص موضوعیت پیدا می کنند. این علائم ممکن است به صورت محورهایی ارائه گردند که این الزامی نیست. ولی الزاماً بیانگر یک نظم مورد نیاز در یک مظام اند. این نظر را می توان با نشان دادن اجزای متشکل ساختمان، به دلخواه در یک شبکه تامین کرد. برای این کار، لازم است که قطعات را بالای شبکه یا نزدیک به آن و یا در تماس با آن به صورت متقارن، نامتقارن یا با خروج از مرکز مستقر کرد. ممکن است در حالت هایی این تراز استقرار دارای آهنگهای متفاوتی باشد. این بررسی های نظری، در چارچوب مفهوم هماهنگی مدولار گردآوری و به گونه ای ارائه شده اند، که تأثیرات ساختمان سازی صنعتی در نظر گرفته شده باشد. با بهره گیری از مفاهیم ارائه شده برای مدول می توان به ارزیابی و تدوین معیارها دستورالعمل های مورد نیاز برای هماهنگی مدولار و در نتیجه برای ساختمان سازی صنعتی و تولید انبوه پرداخت. (نیکروان مفرد، ۱۳۷۴: ۱۲۲)

## انعطاف پذیری

انعطاف پذیری در اصطلاح عام، قابلیت خم شدن، تغییر پذیری، حساس نبودن به اصلاح یا تغییر، آماده ظرفیت داشتن برای سازگاری به مقاصد یا شرایط مختلف، آزادی از خشکی یا سفتی تعریف می گردد. یکی از اصول اساسی طراحی انعطاف پذیر، جلوگیری از عدم انعطاف است (Schneider & Till, 2005:287). به عبارت دیگر در طراحی قطعات یک ساختمان در دستیابی به انعطاف پذیری، نقش حیاتی را در نظر گرفتن معایب انعطاف ناپذیری بازی می کند. در این قسمت باید دوجنبه مورد توجه قرار گیرد: تعداد فضاها و اماکن مناسب برای رشد فرهنگی و اجتماعی و میزان پاسخگویی آنها به نیازهای مربوطه است. از این رو ابتدا باید کمیت فضاهایی که می توانند نیازهای مربوط به رشد معنوی و اجتماعی را برآورده کنند بررسی شود (حبیبی و همکاران، ۶۷: ۸۲)، به عبارت دیگر فضاهایی که انعطاف پذیر باشند. بناهای انعطاف پذیر در صدد پاسخ به شرایط متغیر دوره استفاده، عملکرد یا مکان هستند. ساختمان ها دوره زندگی طولانی و پیچیده ای دارند و در طی آن پارامترهای کاربردها تغییر گسترده ای پیدا می کند. اغلب در سایت های دائمی ساخته می شوند ولی به همان صورت که سایر ساختمان ها گسترش می یابند یا جایگزین می شوند، محیط پیرامونی آنها نیز به صورت مداوم تغییر می یابد. نیاز به انعطاف پذیری و سازگاری با شرایط جدید، نه تنها از شرایط مطلوب و امکان، بلکه از اقتصاد و نیاز نیز نشأت می گیرد (اولیا و همکاران، ۸۹: ۶).

## فضای آموزشی

### تعریف فضای آموزشی

فضای آموزشی، ابتدا باید از لحاظ فیزیکی مطلوب باشد. فضاهای با کیفیت فیزیکی مطلوب، به فضاهایی اطلاق می‌شود که در طراحی آنها، استاندارد شاخصهایی از قبیل هوای سالم، دمای مناسب، رطوبت کافی، نور، صوت، دید و منظر مناسب، کارایی انرژی، دسترسی‌ها و ارتباطات رعایت شده باشد (اکبری، ۱۳۷۲) برخی صاحب‌نظران، فضای آموزشی را محیطی فیزیکی مانند کلاس درس، آزمایشگاه یا محیط خودآموز تلقی می‌کنند که در آن برخی، فرایندهای یادگیری رخ می‌دهد. (Tessmer & Harris, 1992) دیگر آن را در قالب محیط نر مافزای خاص آموزش تعریف می‌کنند. (Papert, 1980)

### معیارهای طراحی فضای آموزشی

توجه به مکانیابی مدارس با در نظر گرفتن عواملی چون دسترسی آسان برای سواره و پیاده، تأمین امنیت برای کودکان، همجواری و سازگاری فعالیت‌های مدرسه، آینده‌نگری و قابلیت توسعه، توجه به اقلیم و کیفیت‌های محیطی چون آلودگی هوا، سر و صدا، اقتصادیبودن و غیره و برخورد سیستماتیک با روش درست برای ارزیابی و اولویت‌بندی‌ها از جمله عوامل مهم در مکانیابی مدارس محسوب می‌گردد. (خضریور، ۱۳۹۲)

### طراحی با ساخت و سازهای نوآورانه

از دیدگاه کاربر، دو موضوع است که باید در طراحی فضای آموزشی به منظور دستیابی به مدولار (انعطاف‌پذیری) در نظر گرفته شود: در مرحله اول، قابلیت پروژه به ارائه انواع انتخاب قبل از آموزش، با نام "انعطاف‌پذیری اولیه" در مرحله دوم، قابلیت فضای آموزشی برای "تغییرات" پس از آموزش است. هر دوی این مسائل نیاز به تفکر بلند مدت در فرآیند طراحی دارند. (Schneider & Till 2005:287). تعیین این که آیا یک پروژه آموزشی، انعطاف‌پذیر است یا نه، در دراز مدت قابل پاسخگویی است، یعنی قابلیت برآورده ساختن خواسته‌های در حال تغییر کاربران در طول زمان، که "انعطاف‌پذیری دائم" نام دارد (Galffetti : 2003: 90).

### برای طراحی مدولار (رویکرد انعطاف‌پذیر) گزینش موارد زیر ضروری است:

- ۱- شناسایی فضا: همبستگی بین مقدار فضا و میزان انعطاف‌پذیری باعث محدودیت یا گشایش طراحی است؛ فضای محدودتر طراحی را سخت تر می‌کند در حالی که از آن فضا در راستای پاسخگویی به نیازهای کاربران انتظارات زیادی می‌رود.
- ۲- ساخت و ساز: ارتباط بین تکنیک‌های ساخت و ساز و انعطاف‌پذیری وجود دارد.
- ۳- طراحی برای انطباق حرکات و مانورهای طراحی: در نظر گرفتن فضاهایی مانند قرار دادن راه پله‌ها، هسته‌های عرضه خدمات و یا ورودی در مکان‌هایی مناسب، اجازه می‌دهد انعطاف‌پذیری در آینده بدون هیچ هزینه اضافی انجام گیرد.
- ۴- لایه: شناسایی روشن از لایه‌هایی از ساخت و ساز مانند سازه، پوسته، خدمات و ... این اجازه را می‌دهد تا کنترل افزایش یابد.
- ۵- نمونه طرح: ترکیبی از گزارش‌های بالا به ایجاد فضای انعطاف‌پذیر می‌انجامد. (Schneider & Till, 2005:288).
- ۶- در ترکیبی از موارد بالا می‌توان ابراز نمود که راه‌های دستیابی به مدولار (انعطاف‌پذیری) در طراحی فضای آموزشی عبارتند از:
- ۷- محل ستونها، موقعیت فضاهای خدمات؛ سیستم دسترسی و فضاهای مرطوب، طراحی معماری، تجهیزات برای انعطاف‌پذیری فضا (استفاده از میلمان جداگانه برای ایجاد فضاهای مختلف کاربردی و یا استفاده از میلمان)، که این موارد در تلفیق میان طرح‌های سنتی و مدرن می‌باشند.



## ساختار سیستم سازه‌ای

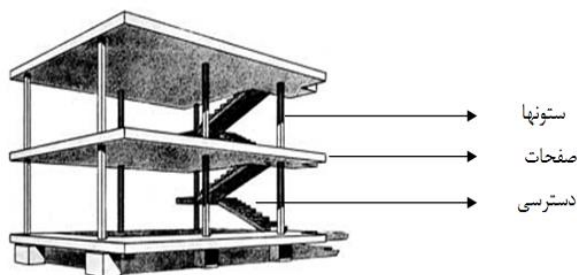
در طراحی فضاهای آموزشی مدولار (انعطاف‌پذیر) راه معین طراحی، اشاره به فضاهای متحرک و تغییر شکل دارد که یک راه غیرقطعی طراحی را برای تغییرات ارائه می‌دهد، در نظر گرفتن پیش زمینه برای انعطاف‌پذیری که طراحی نرم در این فرایند نام دارد. (Schneider&Till, 2007) و "برخی از نمونه‌های موفق از انعطاف‌پذیری تمایل دارند که در پس‌زمینه عمل کنند. (Schneider&Till, 2005: 159) که طراحی سخت نام دارد. سیستم سازه‌ای، به عنوان یکی از قطعات ثابت و دائمی از ساختمان مدرسه در تعیین اینکه آیا طرح معماری مدولار (انعطاف‌پذیر) است یا نه، مهم است. به عنوان مثال، تصمیم‌گیری درست در انتخاب سازه، استفاده از دیواره‌های غیر باربر، امکان تغییرات در آینده را ایجاد می‌کند. در این جا استفاده از دال تخت برای عملکردهای معماری که نیاز به فضای غیر معمول ستون گذاری دارند، توصیه می‌گردد (مور، ۸۶: ۱۱۰) به صورتی که پلانی باز را بوجود می‌آورند. البته این راه به طرح‌های سنتی می‌انجامد که با توجه به نیازهای کاربران با صنعت پیش ساختگی و مدولار در حال حذف شدن می‌باشد. پلان آزاد، پلان ساختمانی است که کمترین تقسیم بندی داخلی بین فضاهای طراحی شده برای کاربری‌های مختلف را داشته باشد. در طراحی مدولار (انعطاف‌پذیر) سازه برای پاسخ به نیازهای مختلف به راحتی تغییر می‌کند این گونه انعطاف‌پذیری بیش از آن است که تنها توسط فضای نیمه تثبیت شده حاصل شود (میرمقتدایی و همکاران، ۸۶: ۱۳۳).

## پلان آزاد

گرچه پلان آزاد مفهومی جدید است اما ریشه‌های آن به گذشته برمی‌گردد. توسعه سازماندهی فضایی از رنسانس تا باروک، حاکی از تولد پلان آزاد است. به طور کلی فضا به مثابه جریان به هم پیوسته‌ای که درون مناطق فرعی تعریف شده است، درک می‌شود. پلان آزاد در واقع عینی سازی تصور فضایی جدید است. پلان آزاد به صورت موجود برای غنی تر ساختن زندگی انسان و پرمعناتر کردن آن در جهان باز و پیچیده وارد عمل شد و هدفش نیز مشخص است. پلان آزاد، تعادل ایستای تقارن‌های مرکزی و محوری را کنار می‌گذارد. فضای پلان آزاد به مرکز غالب و مسلط مربوط نمی‌شود، بلکه به کنش متقابل مناطق هم ارز بستگی دارد. ساختمان باید به مثابه ارگانیک زنده‌ای به نظر رسد و نوعی وحدت پیچیده و در عین حال قیاس‌پذیر در خود داشته باشد. انسجام ترکیبی پیشتر با تداوم و در هم تنیدگی فضاها نمود می‌یابد و نه توالی و سلسله مراتب آنها. پلان آزاد مستلزم ایجاد رابطه دو سویه بین داخل و خارج، و حتی القای هر نوع تفاوت آشکار بین این دو است. پلان آزاد، مفهومی کلی است و اصولاً نمی‌توان آن را در حد پیامدهای احتمالش همچون "انعطاف‌پذیری" "تنزل داد. انعطاف‌پذیری خاصیت فرعی پلان آزاد است. پلان آزاد فضاهایی را خلق می‌کند که از لحاظ پویایی به هم پیوسته، از لحاظ بصری پیوستار و از لحاظ روانی متمایزند. پلان آزاد زمانی اتفاق می‌افتد که عناصر تعریف فضا کاملاً آزاد می‌شوند. فرانک لوید رایت منظور خود را با این تعبیر بیان می‌کند که می‌خواهد جعبه را بشکند. یعنی او در واقع می‌خواست واحدهای فضایی ایستا و بسته گذشته را جانشین نوع جدید تمامیت یکپارچه و پیوسته کند. او در کتاب خانه طبیعی می‌گوید: بگذارید دیوار، سقف و کف اکنون شریک یکدیگر نشوند، بلکه جزئی از یکدیگر باشند و هر یک بر دیگری و در دیگری تاثیر بگذارند؛ تداوم... و یک چیز به جای یک عالم چیز. چنین فضایی نباید هیچ گاه به مثابه یک فضای یکنواخت و تک‌بنیانی درک شود. پیشرفت تکنولوژی سازه و فراگیر شدن ساختارهای اسکلتی منظم، یکی از جمله دلایلی بود که شکل‌گیری پلان آزاد را ممکن ساخت. استفاده از ساختار اسکلت منظم (پیلوتی) آزادی مطلوب را امکان می‌دهد، به علاوه با فراگیر شدن این ساختارهای اسکلتی، امکان تبدیل دیوارهای باربر به عناصر غیر سازه‌ای و در نتیجه آزادسازی دیوار فراهم آمد. نقش دیوار به عنوان جهت‌دهنده فضا در اینجا کاملاً بارز و مشخص است. بنابراین همه اینها دست به دست هم دادند تا انقلاب پلان آزاد در معماری شکل بگیرد و بنیان‌های معماری مدرن را پی‌ریزی نماید (شولتز، ۱۳۸۱، ۱۶۲-۱۸۴).

پنج نکته برای معماری جدید که لوکوربوزیه مطرح ساخت از سال ۱۹۲۶ توسعه اولیه پلان آزاد و فرم باز را به طور موجز بیان می‌کند. نخستین تلاشهای رایت نیز پلان‌های آزادی را تحقق می‌بخشد که شکستن جعبه را به عنوان نقطه عطف در من به تدریج دیوار را به عنوان دیوار کار کردم و آن را به صورت پرده در آوردم که وسیله‌ای برای توسعه و: «نظر می‌گیرد در نتیجه رایت جعبه را به همجواری سطوح...».

گسترش فضاست... و در نهایت استفاده آزاد از کل فضا را امکانپذیر می‌سازد عمودی و افقی، که فضاهای بسته و یکنواختی را به وجود نمی‌آورد بلکه آنها را می‌پوشاند و بازتاب می‌داد، تبدیل کرد. جدا از هدف کلی گشایش فضا، شکستن جعبه مستلزم گذر بی‌وقفه بین داخل و خارج است، که رایت سطوح بیرون زده را برای کسب آن به کار می‌گرفت. در خانه‌های رایت، دیوارها، سقف‌ها و کف‌ها از پشت و رو ادامه می‌یابند و دیگر ممکن نیست که بتوان گفت فضای داخلی کجا متوقف می‌شود و فضای خارج کجا آغاز می‌گردد. برای ایجاد این عامل تداوم، فواصل بین سطوح با قسمت‌های شیشه‌ای، یا عبور از کف تا سقف، یا نوارهای افقی طولانی روی دیواره‌ها پر شده‌اند. زنده مقایسه کرد و فضاها نیز به تناسب زنده به نظر می‌رسند، از جمله این تناسب‌ها می‌توان به پخش شدن، جمع شدن، تقسیم به اجزاء باز و بسته شده اشاره کرد. در کارهای آلتو، همزمانی مساوی با شفافیت نیست و تداوم نیز آن حرکت فضایی نیست که با سطوح برجسته ایجاد گردد. از جمله ویژگیهای مهم در پلان‌های آزاد آلتو، استفاده از دیوارهای موجی شکل است. نیروی خلق فضا در دیوار موجی شکل بیشتر از سطح صاف است و دیوار موجی شکل سبب می‌گردد که فضا جمع شود، گسترش یابد و تعامل مشخص بین مناطقی که بدین ترتیب شکل می‌گیرد به وجود آید. گرچه پلان آزاد ممکن است تعبیر متفاوت زیادی را در بر داشته باشد اما ویژگیهای آن با کارهای پیشگامانی چون لوکوربوزیه، رایت، میس ون دروهه، و... به خوبی درک می‌شود. آنچه در تمام تعبیر پلان آزاد مشترک است، مبتنی بر خواست کلی برای همزمانی آنهاست، که هر کدام مستلزم رابطه تعامل بین مناطق فضایی گوناگون داخلی و همچنین بین داخل و خارج است. به طور خلاصه، می‌توان پلان آزاد را به عنوان سازماندهی فضایی کثرت مکانهایی که روی یکدیگر تاثیر می‌گذارند، تعریف کرد. (شولتز، ۱۳۸۱، ۱۶۲-۱۸۴)



تصویر ۱۰ - سیستم صفحات مسطح (مور، ۸۶: ۱۱۰)

### ویژگی‌های فضایی پلان آزاد

ویژگی‌های اصلی پلان آزاد، استمرار، تداوم، شفافیت، کنش متقابل و تمایز و به طور خلاصه، همزمانی مکانها می‌باشد. ارتباط سیال بین داخل و خارج با گشودگی‌های مداوم و عناصر برنامه ریزی شده، فضاهای داخلی همچون توالی شکوهمند فضاهای ظاهراً باز و در هم تنیده ای می‌نماید. در ادامه به اختصار ویژگیهای فضایی پلان آزاد بررسی می‌شود. (رحمانی، ۱۳۸۸)

### همزمانی

در یک تعریف مختصر، پلان آزاد را می‌توان تجلی پیچیده همزمانی مکانها دانست. "آرتور شوپنهاور" - فیلسوف آلمانی قرن نوزدهم زیبایی را در محیطی می‌بیند که اشیاء در آن کاملاً جدا، متمایز و متنوعند، ولی همزمان، اشیاء به صورت پیوسته و متوالی ظاهر می‌شوند. این تعریف به طور ابتدایی به دنیای طبیعی نسبت داده می‌شود ولی می‌توان آن را به بسیاری از جنبه‌های محیطهای فرهنگی یا طراحی شده نیز بسط داد. این مفهوم با سه هدف طراحی بصری مرتبط است: تنوع، وحدت (پیوستگی و توالی)، و بیان روح مکان. شوپنهاور معتقد است که ارتباط بین اجزای نوعی زیبایی به وجود می‌آورد که بسیار فراتر از آن گونه زیبایی است که از خود اجزا ناشی می‌شود. طراحان، اجزا را به صورت یک کل دارای وحدت، ترکیب می‌کنند و برای این کار از طیفی از روشها استفاده می‌کنند. زیبایی محیطی، تنها ادراک متوالی اشیای متفاوت نیست، بلکه درک این موضوع است که چگونه الگوی طرح را به عنوان یک کل

دارای وحدت یا همبسته ببینیم. ترجمه این جمله به زبان طراحی خصوصیتی از محیط مانند مجاورت، محصور بودن، به هم پیوستگی و شکل و زمینه (قوانین گشتالت) اجزای ساختاری مانند مقیاس، تناسب، تعادل و کشش و اجزای نظم دهنده شامل سلسله مراتب، تغییر و تقارن و عوامل دیگری مانند شکل و رنگ، بافت، مکان و جهت و نیروهای بصری نیز به همراه هم به یک طرح، سازگاری، تباین و همبستگی و در یک کلام همزمانی می بخشد. (بل، ۱۳۸۲، ۹۲)

در هنر و معماری سنتی ما نیز، اصل وحدت فضایی (اصل حرکت از کثرت به وحدت) بنیادی ترین اصل از سوی بسیاری از پژوهندگان شمرده شده است. این اصل که یادآور جنبه های مابعد الطبیعی و فلسفی معماری است در کالبدی ترین رده مفهومی مربوط به فضای معماری است. یعنی خود فضا، به غیر از شکل و فرم، در معماری اسلامی دارای وحدت است و این وحدت از طریق قطبی شدن و جهت یابی تامین می شود. در این نگاه فضا یک مقوله کیفی است و معطوف به یک محور، مرکز یا یک جهت خاص تعریف می شود که به این ترتیب شکل و فضا نیز با تنظیم و جهتگیری و ساختار مناسب، خود را با طبیعت، عالم هستی و باطن هستی یعنی خداوند هماهنگ می کند و اصل وحدت را در خود متجلی می سازد. این اصل در ایجاد الگوهای فضایی است که سبب می شود یک ساختار فضایی همگونی در گونه های مختلف معماری ایجاد شود. نادر اردلان نیز بر همراهی وحدت و کثرت تاکید می کند. به عقیده او: "ذهن تفکر گرا همیشه وحدت را در کثرت و کثرت را در وحدت جستجو می کند". در معماری ایرانی، هر عنصر هم به صورت منفرد قابل درک است و هم به صورت ترکیبی. فرمها و بافتهای پیچیده از ترسیمات ساده و محدود هندسی که هر کدام به صورت منفرد استقلال شکلی دارند و در ترکیب با هم مجموعه ای را به وجود می آورند که دارای تاثیر بصری واحد است. (رحمانی، ۱۳۸۸)

## تعامل بیرون و درون

در پلان آزاد، فضای داخلی و خارجی با هم در می آمیزند و مرزهای بصری بین این دو تا حد امکان محو می گردند. گویی زمانی که در فضای داخلی هستیم همزمان در بیرون سیر می کنیم و برعکس. این همزمانی درون و بیرون تضاد دل انگیزی را در ذهن مخاطب ایجاد می کند و حس فضایی او را مورد تحسین قرار می دهد. این تعامل دو سویه بین داخل و خارج علاوه بر ایجاد وحدت بین این دو سعی دارد که جلوه های تمایز این دو را هر چه بیشتر و بهتر به مخاطب القاء کند. هر چقدر که این تضاد و تفاوت و تمایز بیشتر توسط مخاطب حس گردد، تحسین فضایی او بیشتر برانگیخته خواهد شد. همدلی و احترام به طبیعت ریشه های عمیق فرهنگی دارد و همزیستی مسالمت آمیز انسان، طبیعت و معماری در معماری سنتی ایران نیز کاملاً مشهود است. اشارات فراوانی که در کتاب آسمانی درباره گیاه، نور و اجزای طبیعت در نهایت تمثیل بهشتی آن آمده، موجب شده است که در معماری ایران حضور طبیعت به طور همه جانبه باشد و فضاهای نیمه باز - نیمه بسته در یک روند سلسله مراتبی به نحوی در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند که گویی همیشه انگیزه احترام و حفظ نعمتهای الهی را پاس می دارد. (رحمانی، ۱۳۸۸)

استفاده از سطوح شیشه خور وسیع در جداره های عمودی، استفاده از پنجره های مرتفع و قدی بدون در نظر گرفتن اکابه، قرار دادن بازشوها در کنجهای فضا به منظور ایجاد یک چشم انداز وسیعتر و با زاویه دید بازتر، به حداقل رساندن قاب پنجره ها تا حد امکان به منظور ایجاد ارتباط بصری موثرتر بین داخل و خارج، استفاده از شیشه های شفاف و بدون بافت و رنگ، امتداد یافتن سقف از داخل به خارج به گونه ای که از درون توسط مخاطب کاملاً قابل رویت باشد، امتداد یافتن کف از داخل به خارج به گونه ای که تداوم فضایی بین درون و بیرون تشدید گردد، استفاده از مصالح طبیعی با کمترین تغییر در درون بنا، عدم قطع درختان داخل طرح و تطبیق دادن طرح با آن به گونه ای که نیاز به قطع آن نباشد، و ... همه راهکارهایی برای کشاندن فضای بیرونی به درون بنا و آزادسازی پلان هستند و در عین حال با اصول معماری ایرانی، معماری پایدار و معماری سبز نیز می توانند همسو باشند. (رحمانی، ۱۳۸۸)

## ترکیب انعطاف‌پذیری و سازه پلان باز

همانطور که قبلاً گفته شد، هر فضایی که انعطاف‌پذیری داشت لزوماً نمی‌تواند پلان آزاد نیز داشته باشد، اما به هر حال انعطاف‌پذیری از ویژگیهای فضاها با پلان آزاد است. منظور از واژه "انعطاف‌پذیری"، انعطاف‌پذیری فضایی و سامان دهی فضای انسان ساخت و تغییر در آن برای دستیابی به شرایط، نیازها و کاربست‌های جدید است. انعطاف‌پذیری شامل گونه بندی زیر می باشد:

۱- تنوع پذیری (فضای چند عملکردی)

۲- تطبیق پذیری (جابه جایی فصلی و روزانه)

۳- تغییر پذیری (تفکیک و تجمیع)

شاید اگر از گونه دوم یعنی تطبیق پذیری صرف‌نظر کنیم، بقیه گونه‌ها یعنی تنوع پذیری و تغییر پذیری را بتوان از پیامدهای پلان آزاد دانست. بدین ترتیب خانه‌های با پلان آزاد می‌تواند خیلی راحت در کوتاه مدت با عملکردهای متفاوت درون یک مسکن سازگار شود و در بلند مدت نیز توانایی پاسخ به رشد خانوار را در مراحل مختلف زندگی بین نسل‌های مختلف دارد. حتی امکان تطبیق با کاربریهای مختلف، نیز می‌تواند به راحتی درون این بناها امکان‌سنجی شود. (رحمانی، ۱۳۸۸)

### شفافیت

تمام شده قرار دارد. در چنین فضایی مسیر حرکت انسان و یا نگاه او در تداومی پیوسته صورت می‌گیرد، به طوریکه گشایشهای فضایی در خطوط افقی و عمودی موجب شفافیت در لایه لای دیوارها و ستونها می‌گردد که دورنما و منظر نهایی در افقی لایتناهی و مستهیل مجدداً جان و جلوه تازه به خود می‌گیرد. شفافیت یکی از اصول مهم هستی است و به معنی حرکت متعالی از کیفیت مادی به کیفیت روحی است. در حقیقت معماری به سمت شفافیت یعنی کم کردن ماده و افزایش محتوا (در حرکت است. به روشنی قابل درک است که اصل شفافیت، بسیاری اصول از قبیل سیالیت، وحدت، نور، سبکی، دید پی در پی و ... را در بر می‌گیرد و معنای آن گستردگی دید است. در سیر به سوی معنا. در حقیقت شفافیت، دید انسان را از ظاهر به باطن نفوذ می‌کند. معماری ایرانی نیز در عین ایجاد حریم و درونگرایی و حل مساله اشراف، شفافیت را رعایت کرده است. در حقیقت درونگرایی و حفظ حریم موجب شد، شفافیت در ابنیه مسکونی به داخل کشیده شود و گستردگی دید به داخل حیاط مرکزی و ایوانها به وجود آید. (نقره کار و همکاران، ۱۳۸۳، ۹۸)

### سیالیت

تحرک و سیالیت فضایی را به معنای ابهام و آشکار نبودن مرزها و حدود فضایی دانسته اند. در لایه لای بدنه بناهای با پلان آزاد، فضا هیچگاه با قاطعیت مشخص نمی‌شود و ابهام ترکیبات پیچیده آن به دلیل غنا بخشیدن به منظره ای است که نمی‌توان آنرا در یک قالب محدود و تمامیت یافته تفسیر کرد. این پیوستگی موجب می‌شود تا فضاها متوالی مطرح شوند و تداوم فضایی به وجود آید، به طوری که انقطاع فضایی وجود ندارد. در فضاها سیال با وجود تفکیک و تشخیص فضاها و تنوع بی نظیر آن، یک کلیت واحد فضایی را دریافت می‌کنیم و احساس می‌نماییم که در لایه های فضایی بنا لیزمی خوریم. به منظور حفظ ارزشهای فرهنگی و مذهبی در معماری ایرانی جهت رسیدن به سیالیت در پلانهای آزاد باید آن را با اصل سلسله مراتب فضایی تلفیق نمود. سلسله مراتب فضایی موجود بین قلمروهای مختلف (عمومی، نیمه عمومی، نیمه خصوصی و خصوصی (درجه مناسبی از امنیت - حتی در مقابل نگاه بیگانه را برای ساکنین فراهم می‌نماید. امنیت ایجاد شده از این نوع هم جنبه فیزیکی و هم جنبه متافیزیکی را مورد توجه قرار می‌دهد. پرده های فضایی، شروع و مقدمات آشکار ویژه ای را مشخص می‌نماید و اوج آن زمانی است که احوالات درونگرایی به دلیل پشت سر گذاشتن مسیر و زمان به دریافت کاملی از یک حس باطنی در این عبور فضایی رسیده باشد. (رحمانی، ۱۳۸۸)

## مدولار در طراحی فضاهای آموزشی

اساسی‌ترین تغییر در نوع تفکر و فلسفه آموزش و پرورش نوین انتقال از نظام معلم محوری به دانش آموز محوری است که در پی آن تغییرات زیر شکل گرفته است: (Lippman, 2002) بنابراین در نظام نوین ما به تمام طول روز و به تمام بخش‌های یک مرکز آموزشی برای یادگیری نیازمندیم. این در حالی است که با وجود پیشرفت‌های عظیم تکنولوژی اطلاعات و انقلاب در روش‌های دریافت و تولید اطلاعات، ما از روش‌های محدودی در سازمان دهی محیط‌های یادگیری بهره می‌گیریم که پاسخگو به این تغییرات عظیم نیست. برنامه ریزی طولانی مدت با توجه به آینده نسبتاً نامعلوم نیاز به اصلاح‌پذیری و تعدیل‌پذیری در نحوه تفکر دارد. نظر به اینکه یکی از اهداف بلند مدت تعلیم و تربیت، دادن امکان رشد و شکوفائی استعدادها و مسئولیت به کودکان با ضرایب هوشی متفاوت است فقط فضاهای باز و انعطاف پذیر و نظامی پویا میتواند، امکانات آموزشی لازم را در اختیار تک تک یادگیرندگان قرار دهد و با دادن مسئولیت و آزادی به کودکان، کوشش میشود که دانش آموزان اعتماد بنفس و جسارت لازم را برای نوآوری و خلاقیت که از مهمترین شرایط توسعه نامیده میشود، کسب نمایند (مرتضوی، ۱۳۷۶: ۱۳). در اینگونه محیط‌های یادگیری نظام آموزش پویا است و میتوان فضاها را بطور گذرا، متناسب با اهداف تقسیم بندی کرد و هیچ وسیله و این ابزاری مختص درس خاص نیست. (Ehrenkantz, Eckstut, 1999). نیازهای جدید نشان می‌دهد که تداوم نیاز به فضاهایی برای یادگیری، بحث، کار گروهی و... در آینده نیز امری ضروری است، اما مهم این است که دریابیم برای تعهد به پویا بودن فضای آموزش و اجتناب ناپذیری تغییرات، انعطاف‌پذیری، تغییرپذیری، شفافیت و باز بودن نیازهای اساسی ساختمان‌های مورد استفاده در آینده نیز هست. (مردمی و همکاران، ۱۳۸۹)

## الزامات وجودی و مزایای فضای آموزشی مدولار (با رویکرد انعطاف پذیر)

جدول ۱ - الزامات وجودی و مزایای مسکن انعطاف پذیر از دیدگاه کاربر مأخذ: نگارندگان

الزامات ایجاد فضای آموزشی مدولار		مزایای ایجاد فضای آموزشی مدولار
تغییر سطح اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی سطح دانش آموزان - نامشخص بودن دانش آموزان - روحیه تنوع طلبی دانش آموزان - نطباق با تکنولوژی‌های جدید - ضرورت‌های اقلیمی	پایداری زیست محیطی	
کاهش درخواست انرژی‌های فسیلی - کاهش آلودگی	پایداری اجتماعی	
پایداری و ثبات محلات از نظر اجتماعی و فرهنگی متناسب بودن با هر نوع از حالات جسمانی دانش آموزان - پایداری بوسیله تناسب با تکنولوژی	پایداری اقتصادی	
کاهش هزینه‌های ساخت و ساز		

## صنعت پیش ساختگی و مدولار

اصطلاح صنعتی سازی ساختمان برای توصیف و دربرگرفتن مفاهیم مدولسازی، پیش ساخته سازی و مونتاژ به کار می‌رود و به مفهوم هزینه کردن در تجهیزات، امکانات و تکنولوژی با هدف افزایش خروجی، کاهش کار دستی و ارتقای کیفیت می‌باشد (اولیا و همکاران، ۸۹: ۶). با توجه به این که طراحی و ساخت و ساز مسکن با کیفیت و کوتاه مدت در جهان مطرح است و تخمین زده می‌شود که در زمان حاضر در جهان ۲۰۰ میلیون واحد مسکونی باید ساخته شود و غلبه بر این کمبود در مدت زمان معقول، آسان نیست. برای پرداختن به این چالش نیاز به روش‌های غیر متعارف و ابتکاری از ساخت و ساز مسکن است. روش‌های مدرن ساخت مسکن و نصب، استفاده از اصول از قبیل تولید یکپارچه کامپیوتری (CIM)، سیستم‌های تولید انعطاف پذیر (FMS) و تولید همراه با ایده‌های نوآورانه می‌تواند امید به احداث خانه‌ها در سرعت و توان بالا را ایجاد کند (Yousefpour, Barnes, Amarjit: 1999: 182).

تمایلات اخیر در ساختمان سازی به سمت پیش ساختگی بیشتر پیش می‌رود و ایده پیش ساختگی نیز به قرن ۱۸ بر می‌گردد که استفاده از مدول‌های ساده اساس این کار قرار گرفت و ایده اصلی آن مدولار کردن عناصر با کار کمتر بود. قدیمی‌ترین نمونه از خانه‌های پیش ساخته در سال ۱۶۲۴ زمانی که در انگلیس یک ساختمان‌های پانل چوبی را به عنوان خانه‌های ماهیگیری استفاده کردند. این خانه متحرک

بوده و در دفعات متعددی قابل جمع شدن بود. این تجربه اولیه، یکی از استفاده‌های اولیه خانه‌های پیش ساخته بوده و باعث بوجود آمدن سکونتگاه‌های معاصر شده است. در صنعت پیش ساختگی استاندارد سازی حرف اول را می‌زند، روند "استاندارد سازی"، منجر به توسعه طراحی "مدولار" در مسکن می‌گردد. توسعه قابلیت تعویض و استاندارد سازی قطعات، در بیشتر روشها یک پیشروی برای طراحی مدولار بود. طراحی مدولار به میزان زیادی زمان و هزینه مونتاژ را کاهش می‌دهد و سفارشی سازی انبوه را میسر می‌سازد، منظور طراحی گروهی از محصولات است که دارای شباهت در فناوری، اجزا و ترکیبات باشند، به منظور بدست آوردن یک محصول نهایی منحصر به فرد با استفاده از قطعات کوچک است. در طراحی مدولار، مسیر تولید در خطوط تولید یکنواخت است، بطوری که کلیه محصولات از مسیر مشخص و یکنواختی عبور نموده و فرآیند تولید برای همه محصولات مشابه، یکسان می‌باشد، فقط در مونتاژ نهایی مطابق با سلیقه مشتریان قطعات اضافی جایگذاری می‌شود. (خریدار، ۹۰: ۴۷) از اهداف اصلی در استفاده از اصول سیستم هماهنگی مدولار و اندازه‌های هماهنگ ساز و هدایت ساختمان به سوی مجموعه‌ای از اندازه‌های استاندارد پایه است (نیکروان مفرد و ارفعی، ۸۱: ۳۲).

### مزایای صنعت پیش ساختگی و مدولار

صنعت ساخت و ساز پایدار نیست. زیرا در درصد مجموع از اوایل و شروع با مصرف انرژی بیش از ۵۰ درصد، انتشار CO2 بیش از ۵۰ درصد، تولید زباله ۳۵ درصد، حمل و نقل جاده‌ای ۲۵ درصد و هزینه‌های خرد بیش از ۱۵ درصد می‌باشد. (Hennes : 2011) یک جزء ساختمانی زمانی در شبکه سطوح مرجع با فواصل معمول شده قرار می‌گیرد که اندازه آن با مدول پایه یا ضرایب آن همخوانی داشته باشد. مدول پایه برابر ۱۰۰ میلی‌متر و مدول معماری در ایران ۳۰۰ میلی‌متر است. (نیکروان مفرد و ارفعی، ۸۱: ۸۵) ساخت و ساز مدولار به عنوان ترکیبی از مزیت‌های زیست محیطی و اقتصادی فرصت‌های صنایع مرتبط را افزایش داده است. در داخل صنعت ساخت و ساز مدولار، چرخه عمر محصول به دلیل استفاده از آن در کاهش انرژی‌های تولید، اجرا، نگهداری، بازیافت زباله و دفع مطرح است (Zahharov, Bashkite: 2011:213).

**الف: (برای استفاده کننده):** کاربرد گسترده تر محصول: سازگاری باعث می‌شود استفاده کننده از همان سیستم در شرایط متغیر بهره‌برد در نتیجه سیستم‌های متعدد با یک سیستم جایگزین می‌شوند. با این وجود، کارکردهای سازگاری باید به راحتی قابل اعمال توسط استفاده کننده باشد. سیستم سازگار در طول عمر خود با تعداد زیادی سیستم جایگزین شده و در نتیجه باعث صرفه جویی در سرمایه، فضای انبار، نگهداری و هزینه‌های نصب می‌شود.

**ب: (برای تولید کننده):** کاربرد گسترده تر طرح: سازگاری باعث می‌شود تولید کننده امکان استفاده مجدد از دانش طراحی موجود و زیرساخت‌های تولید صنعتی را داشته باشد.

**پ: (برای محیط):** سازگاری میزان کل تولید را کاهش می‌دهد و در عوض، سیستم‌هایی را ارائه می‌دهد که نسبت به موارد مشابه متداول، کارایی بیشتری دارد. واکنش‌های جبرانی موجود در طبیعت برای مقابله با معضل کنار گذاشته شدن سیستم عبارت است از تکنیک‌های بازیافت که بر پایه هدایت مجدد جریان سیستم‌های مستعمل از توده‌های زباله به زنجیره تأمین سیستم قرار دارد. سازگاری سیستم نیز تأثیر مشابهی دارد زیرا سازگاری نیز، سیستم کنار گذاشته شده را به سوی کاربرد جدید هدایت مجدد می‌کند (اولیا و همکاران، ۸۹: ۱۰).

فضای آموزشی مدولار (رویکرد انعطاف پذیر)

جدول ۲ - طراحی فضای آموزشی انعطاف پذیر (مأخذ: نگارندگان)

<p>پلان آزاد، پلان ساختمانی است که کمترین تقسیم بندی داخلی بین فضاهای طراحی شده برای کاربری های مختلف را داشته باشد. در طراحی مدولار (انعطاف پذیر) سازه برای پاسخ به نیازهای مختلف به راحتی تغییر می کند این گونه انعطاف پذیری بیش از آن است که تنها توسط فضای نیمه تثبیت شده حاصل شود (میرمقتدایی و همکاران، ۸۶: ۱۳۳).</p>	<p>ساختار سیستم سازه</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ در دستیابی به انعطاف پذیری اجزای دائمی از سیستم ساختاری و فضاهای خدمات باید حذف گردد.</li> <li>▪ در انعطاف پذیری موقعیت فضاهای خدمات در طراحی مهم می باشد در این صورت با تجمع فضاهای خدماتی در یک محدوده، فضاهای اصلی (قابل انعطاف) به صورت خالص باقی می ماندند (Rabeneck: ۱۹۷۴: ۷۶).</li> </ul>	<p>فضاهای خدماتی</p>	
<p>در فضاها می توان برای چند منظوره نمودن مبلمان بدون نیاز به طراحی خاصی با گوشه ای از ترفند های معمارانه به این امر نائل آمد.</p>  <p>تصویر ۱۱ - بیکر بندی معماری (Schneider &amp; Till, 2005: 157)</p>	<p>طرح معماری</p>	<p>طراحی</p>
 <p>تصویر ۱۲ - استفاده از مبلمان تاشو و کشویی و ... (Schneider &amp; Till, 2007: 191)</p> <p>جدایی فعالیتهای ممکن است به کمک اثاث و مبلمان و نحوه چیدمان آنها به دست آید همچنین با ایجاد اختلاف سطح و یا دیوارهای فضایی، پانل ها و جداکننده های تزئینی و مانند آنها می توان فعالیت های قابل اجرا در فضاهای چند منظوره را مشخص کرد (نیکروان مفرد و ارفعی، ۸۱: ۱۰).</p>	<p>تجهیز برای استفاده انعطاف پذیر از فضا</p>	

در میان علل و مبادی شکل گیری تولید انعطاف پذیر یکی از مهمترین عوامل، قطعاً پیشرفت های تکنولوژیک و امکان عملی آن است (بابایی و امرایی، ۸۸: ۷۱). با بررسی طرح مسکن انعطاف پذیر و دوران گذار آن در قرن بیستم در می یابیم که طرح ها در این عصر بر پایه پیش ساختگی و مدولار حرکت می کنند و این صنعت به خاطر مزایای بالا در حال گسترش سریع می باشد. در ادامه قبل از بررسی تکامل مسکن انعطاف پذیر و بهره گیری از صنعت پیش ساختگی در آن، این صنعت معرفی می گردد.

نمونه‌های موردی موضوع محور

جدول ۳- نمونه های موردی موضوع محور (مأخذ: نگارندگان)

<p>این ساختمان از یک سری قطعات پیش ساخته (به عنوان مدولهای پیش ساخته مخالف) تشکیل شده که به معماران اجازه میدهد از یک سری عوامل استاندارد و ثابت به یک طراحی ساده و کارآمد و انعطاف پذیر سوق داده شوند. با توجه به ماهیت پیش ساخته ی آن، ساختمان میتواند به صورتهای مختلف مونتاژ شود و با ویژگیهای هر سایت منطبق باشد. فضای داخلی آن نیز تا حد امکان ستون ندارد که همین امر به چیدمان بهتر فضاها برای داشتن فضای انعطاف پذیر تر کمک بهترین روش، به حداقل رساندن میزان ضایعات در ساخت و ساز است. ساختاری که به انرژی صفر میرسد (<a href="http://www.livegreen.com">www.livegreen.com</a>) میکند که مجموعه ای از پانلهای فتو ولتائیک تا حد زیادی انرژی مورد نیاز ساختمان را تامین میکنند. نور طبیعی نیز به طور گسترده استفاده میشود و از طریق نورگیرهایی برای فضای داخلی طبقه دوم قابل دسترسی است و همچنین از طریق یک کانال خورشیدی به طبقه همکف نورسانی می کند. (<a href="http://www.livegreenblog.com">www.livegreenblog.com</a>)</p>	<p>توضیحات</p>	<p>نسخه آزمایشی مدرسه پیش ساخته خلاقانه و انعطاف پذیر برای لوس آنجلس</p>
 <p>تصویر ۱۳ - مدرسه پیش ساخته خلاقانه و انعطاف پذیر برای لوس آنجلس، ماخذ (<a href="http://www.livegreenblog.com">www.livegreenblog.com</a>):</p>	<p>عکس مجموعه</p>	
 <p>تصویر ۱۴ - اجزای پیش ساخته نما، پلان ساختمان، ماخذ : <a href="http://www.livegreenblog.com">www.livegreenblog.com</a></p>	<p>د تایل مجموعه</p>	
<p>این پروژه در سال ۲۰۰۶ جایزه اول یورو سولار ۱۰ را برنده شد. این مدرسه انعطاف پذیر برای آموزش کودکان در میلان ایتالیا طراحی شده است و به چگونگی رشد ذهنی کودکان و راههای مختلف تجربه فضاها در سنین مختلف میپردازد. ساختمان مدرسه شامل مهد کودک، مرکز نگهداری روزانه از کودکان، مرکز بازی و سطوح فضای باز به منظور توسعه و رشد حواس آنها میباشد. (Giorgio ponti, 2008)</p>	<p>توضیحات</p>	<p>مدرسه انعطاف پذیر برای کودکان در ایتالیا</p>



 <p>تصویر ۱۵ - مدرسه کودکان ایتالیا، جزئیات داخلی ساختمان (Giorgio ponti,2008:5)</p>	<p>عکس مجموعه</p>	
 <p>تصویر ۱۶ - مدرسه کودکان ایتالیا، جزئیات داخلی ساختمان (Giorgio ponti,2008:5)</p>	<p>دتایل مجموعه</p>	
<p>این آکادمی اولین مدرسه بریتانیا است که از یک سیستم غلاف توسعه یافته ساخته شده و توسط اینترسرو، معماران میبر، اروپ و تولیدکنندگان تخصصی پارتیشن نورود ۱۴ طراحی شده است. ایده طراحی این ساختمان "راه حل غلافی" ۱۵ بوده است که این ایده خیلی آسان است: به جای مدرسه از قاب ساختاری ثابت معمولی ساخته شده است. راه حل غلافی شامل مجموعه ای از اتاقهای فریم دار فولادی و یا کلاسهای درس است که می تواند پراحتی حمل و نقل، مونتاژ و جدا شوند که بتوانیم یک محیط آموزشی واقعا انعطاف پذیر داشته باشیم. مهمتر از همه این است که غلافها به طور آزادانه ایستاده هستند و به طور کامل از پوشش ساختمانی که در آن قرار می گیرند جدا هستند. (<a href="http://www.building.co.uk">www.building.co.uk</a>)</p>	<p>توضیحات</p>	<p>آکادمی شرق لیدز</p>
 <p>تصویر ۱۷ - آکادمی شرق لیدز، انگلستان، فضای داخلی ماخذ: (<a href="http://www.building.co.uk">www.building.co.uk</a>)</p>	<p>عکس مجموعه</p>	

 <p>تصویر ۱۸ - آکادمی شرق لیدز، انگلستان، کلاس‌های غلافی، پلان‌های داخلی (www.building.co.uk)</p>	<p>دتایل مجموعه</p>	
---	-------------------------	--

### معایب و محاسن مدولار و پیش ساختگی

جدول ۴- معایب و محاسن مدولار و پیش ساختگی (مأخذ: نگارندگان)

انرژی‌های تولیدی	مثبت	بهبود در کیفیت ساختمان با اطمینان از استانداردهای ساخت و نحوه اجرای آن
ضایعات	مثبت	کاهش ضایعات و افزایش بازیافت به خاطر ساخته شدن قطعات در خارج از سایت
انرژی حمل و نقل	منفی	به خاطر جابجایی قطعات نیاز به حمل و نقل داریم پس به آلودگی می‌افزاید.
زباله	مثبت	به خاطر ساخته شدن قطعات در محیط کارخانه، تولید زباله در محل کاهش می‌یابد.
آب	مثبت	ساخت قطعاتی که به آب نیاز دارند در محیط کارخانه قابل کنترل تر است و پتانسیل بالاتری در بازیافت آن در کارخانه وجود دارد.
گونه‌ها در هر هکتار	مثبت	به خاطر تولید در کارخانه آلودگی کاهش می‌یابد و به تبع تأثیر کمتری بر گونه‌های گیاهی سایت خواهد داشت.
هزینه ساخت	مثبت	مدولار باعث کاهش هزینه‌های ساخت می‌گردد
زمان ساخت	مثبت	به دلیل استاندارد سازی و طراحی مدولار زمان ساخت کاهش می‌یابد
نقایص کار بعد از اتمام	مثبت	کاهش معایب و سوانح به دلیل ساخت در کارخانه
قابلیت پیش بینی عملکرد پروژه	مثبت	متره و برآورد صحیح و با کمترین خطا و در نتیجه حصول اطمینان از انجام تعداد کار در یک مدت مشخص
خلاصی از خانه‌های ضعیف و یا محروم اجتماعی	ممتنع	میزان موفقیت به گروه طراحان و سازندگان بستگی دارد.
پذیرش از طرف مردم	ریسک	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ در صورت ابراز در صحت مزایا ممکن می‌باشد و کاهش اشتباهات گذشته و امتناع از طرح‌های تکراری</li> <li>▪ تکنولوژی به لحاظ نرم افزاری هم امکان تولید خوشه‌ای را فراهم آورده و پیش می‌راند. در تولید خشک، منضبط صنعتی رابطه تولید کننده و مصرف کننده رابطه‌ای بسیار جبری و شکننده است زیرا تولید کننده بطور یک جانبه و با ریسک بالا محصول را تولید و عرضه می‌نماید (بابایی و امرایی، ۸۸: ۷۱).</li> </ul>

## نتیجه گیری

بی‌اعتنایی به سامان بخشی فضایی مجموعه‌های آموزشی و عوامل کیفی آن‌ها، چه در مقیاس واحد آموزشی و چه در مقیاس بزرگ، عملاً به بهای بیش از حد اهمیت دادن به کمیت انجامیده است. حال آنکه رضایت نهایی متقاضیان فضای آموزشی نه در کمیت است بلکه در کیفیت نهفته است. با توجه به کثرت جمعیت و نیاز دانش‌آموزان به فضای آموزشی، به دلیل نا معلوم بودن مخاطبان یا خواسته‌های آنها نیازمند طراحی‌هایی خواهیم بود که بتواند در تمام سطوح، اعم از زیست محیطی- اقتصادی- اجتماعی، جامعه را مورد پشتیبانی قرار دهد، به صورتی که با ایجاد تناسب، بتوان با استفاده از آن الگویی باز یافتی از زندگی امروزی را جایگزین الگوهای قبلی کرد، الگویی همراه با طبیعت و دوست‌دار خواسته‌های متنوع بشریت، این راهکار با توجه به این که در دوران جدید ایجاد شده اما به نیازهای نسل گذشته نیز به خوبی پاسخ می‌دهد و به سرعت خود را در جایگاه ذهن و باورهای آن نسل جای می‌دهد و در نتیجه بیگانه‌خودنمایی نمی‌کند، از مناسب‌ترین گزینه‌هاست. در نتیجه حال که طراحی‌ها را به سمت پیشرفت سوق می‌دهیم باید تکنولوژی ساخت آنها نیز مطابق با نسل امروز باشد و همگام با سرعت امروزی حرکت کند. فضاهای آموزشی که در طراحی آنها امکان بازسازی دائمی و ارتقاء کیفیت پیش‌بینی شده باشد، مطلوبیت بیشتری داشته و عمر مفید مدارس نیز افزایش می‌یابد. مواردی مانند بازسازی‌های دائم و سریع تنها از گستره مدرنیته و تکنولوژی امروزی محسوب می‌گردد و سنت در ارائه آن‌ها کمتر می‌تواند دخیل باشد مگر در موارد نظری که از تجربیات ساخت‌های بومی بتوان در آن‌ها استفاده کرد. آنچه در بالا به عنوان مزایای انعطاف‌پذیری و صنعت نوآوری گفته شد می‌تواند به صورت الگوهای یکدیگر را همپوشانی کنند و به افزایش کیفیت و استاندارد در زندگی منجر گردد. مفهوم ساخت محیط مصنوع با توجه به افزایش کیفیت فضاهای آموزشی حال و مرتفع ساختن نیازهای آیندگان فضایی انعطاف‌پذیر است. فضای آموزشی انعطاف‌پذیر با دخالت تکنولوژی‌های نو جزء ساختمان‌هایی است که بر اساس معماری پایدار طراحی شده‌اند که فواید آن در راستای پایداری بنا به شرح زیر می‌باشد:

- ۱) افزایش دوام و عمر مفید ساختمان (پایداری اقتصادی)
- ۲) صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مصالح و بهینه‌سازی آن (پایداری زیست محیطی و اقتصادی)
- ۳) افزایش آسایش و رضایت مصرف‌کننده از بنا (پایداری اجتماعی)

## منابع فارسی

- اکبری، عل یاصغر. (۱۳۷۲) طرح پردیس مرکزی ملی تحقیقات مهندسی ژنتیک و تکنولوژی زیستی. دانشگاه تهران.
- اولیا، جلیل و تقدیری، علیرضا و قنبرزاده قمی، سارا، (۱۳۸۹)، سازگاری ساختاری سیستم های صنعتی ساختمان سازی، نشریه انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، شماره ۱، تهران، ۱۴-۵
- بل، سایمون (۱۳۸۲)، منظر، الگو، ادراک، فرآیند، ترجمه دکتر بهناز امین زاده، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- بوركهارت، تیتوس، (۱۳۶۵) "هنر اسلامی زبان و بیان"، ترجمه: مسعود رجب نیا، تهران: انتشارات صدا و سیما.
- پیر بابایی، محمد تقی و امرایی، بابک (۱۳۸۸)، بررسی مبانی طراحی محصولات مدولار، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۷، تهران، ۶۹-۷۶
- خریدار، فاطمه (۱۳۹۰) طراحی مدولار و کیفیت محصولات، ماهنامه کنترل کیفیت، شماره ۴۷، مشهد، ۵۴-۴۶
- خضرپور، سیاوش (۱۳۹۲) خلاقیت در طراحی معماری فضای آموزشی با رویکرد پایدار، معماری و شهرسازی و توسعه پایدار با محوریت از معماری بومی تا شهر پایدار، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ۵ دی ماه ۱۳۹۲
- رجبی الاصل، موسی (۱۳۸۱) "نقش و رنگ در بقعه شیخ صفی الدین اردبیلی"، تهران: میراث فرهنگی، ۱۱۳
- رحمانی، الهه، (۱۳۸۸) پلان آزاد: نیاز فضایی جدید در معماری داخلی معاصر ایران، دومین کنفرانس طراحی داخلی، تبریز، اردیبهشت
- رید، هربرت، ۱۳۵۴، "معنی هنر"، ترجمه: نجف دریا بندری، تهران: شرکت سهامی کتاب های جیبی، ۱۴۳، ۹-۱۱.
- شولتز، کریستیان نوربرگ، ۱۳۸۱، ریشه های معماری مدرن مجله معماری ایران، ۱۶۲- شماره صفحات ۱۸۴، شماره دوره یا جلد، شماره ۲
- عصام، سعید، و پرمان، آیشه، ۱۳۷۷، "نقش های هندسی در هنر تهران: سروش، ۳۸.
- غفاری، علی (۱۳۷۷)، اصول و مبانی طراحی فضاهای آموزشی، جلد چهارم، انتشارات سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس.
- گاردنر، هلن، ۱۳۸۹، "هنر در گذر زمان"، ترجمه: محمد تقی فرامرزی، تهران: انتشارات آگاه ۱۷
- گروتز، یورگ، ۱۳۹۰، "زیباشناختی در معماری"، ترجمه: جهانشاه پاکزاد، تهران: نشر معمار، ۳۶۰، ۳۶۱.
- مایس، پی یر فون، ۱۳۸۷، "نگاهی به مبانی معماری از فرم تا مکان"، ترجمه: سیمون آیوازیان، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۲۴.
- محمودی. محمد مهدی، طراحی فضاهای آموزشی با استفاده از فرم های انعطاف پذیر، سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، ۱۳۸۴
- مردمی. ک، دلشاد. م، محیط یادگیری انعطاف پذیر - جهان کودک تجربه پذیر، سیستم آموزشی تغییر پذیر، نشریه علمی- پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، شماره ۱، پاییز ۱۳۸۹
- مور، فولر، (۱۳۸۶)، درک رفتار سازه ها، ترجمه محمود گلابچی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران
- میرمقتدایی، مهتا و طالبی، ژاله و ارشاد، لیلی و معمار ضیاء، کاظم (۱۳۸۶)، معرفی اصول ساخت آزاد مجموعه های مسکونی به منظور کاربرد در پروژه های انبوه سازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول، تهران
- نقره کار، عبدالحمید و همکاران، ۱۳۸۳، جزوه حکمت هنر اسلامی، مرکز تحقیقات دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- نیکروان مفرد، مژگان. (۱۳۷۴) هماهنگی مدولار در نظام طراحی و اجرای ساختمان اصول و مبانی نظری، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۲۱۵

#### منابع انگلیسی

- Bashkite ، Viktoria, Zahharov، Roman ,(2011)، Modularization impact to product end of life cycle ، 10th International Symposium „Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering“،Pärnu, Estonia, January 10-15
- Galfetti, G. G.(2003)(Dwelling: architecture And Modernity , 87-102.
- Giorgio Ponti , 2008 , “Intelligent” Primary School Project in Italy , “Intelligent” Primary School Project in Italy , ISSN
- Papert, S.(1980). Mindstorms: Children, Computers, and powerful ideas, New Yourk: Basic Books.
- Rabeneck ، Andrew., Sheppard, ,David., & Town., , Peter.(1973). Housing
- Rabeneck ، Andrew., Sheppard, ,David., & Town., , Peter(1974). Housing: Flexibility/ daptability? Architectural Design , 76-90.
- Schneider, Tatjana., & Till, Jeremy.(2005). Flexible Housing: The Means To The End, <http://journals.cambridge.org/action/displayJournal?jid=arq>، 287-296.
- Schneider, Tatjana., & Till, Jeremy.(2005). Flexible Housing: Opportunities And Limits. <http://journals.cambridge.org/action/displayJournal?jid=arq>، 9(2). pp. 157-166
- Schneider, Tatjana., & Till, Jeremy,(2007). Flexible Housing. Oxford, United Kingdom: Architectural Press.
- Singh, Amarjit، Barnes ،Rick and Yousefpour.Ali.High –turnaround and flexibility in design and construction of mass ,(1999)، University of California, Berkeley, CA, USA، 194- 181.
- Tessmer, M. & Harris, D.(۱۹۹۲. Analyzing the instructional setting, London: Knogan Page.

#### سایت‌های اینترنتی

- [www.geocities.com](http://www.geocities.com)
- [www.architecture.arizona.edu](http://www.architecture.arizona.edu)
- [www.livegreen.com](http://www.livegreen.com)
- [www.livegreenblog.com](http://www.livegreenblog.com)
- [www.building.co.uk](http://www.building.co.uk)