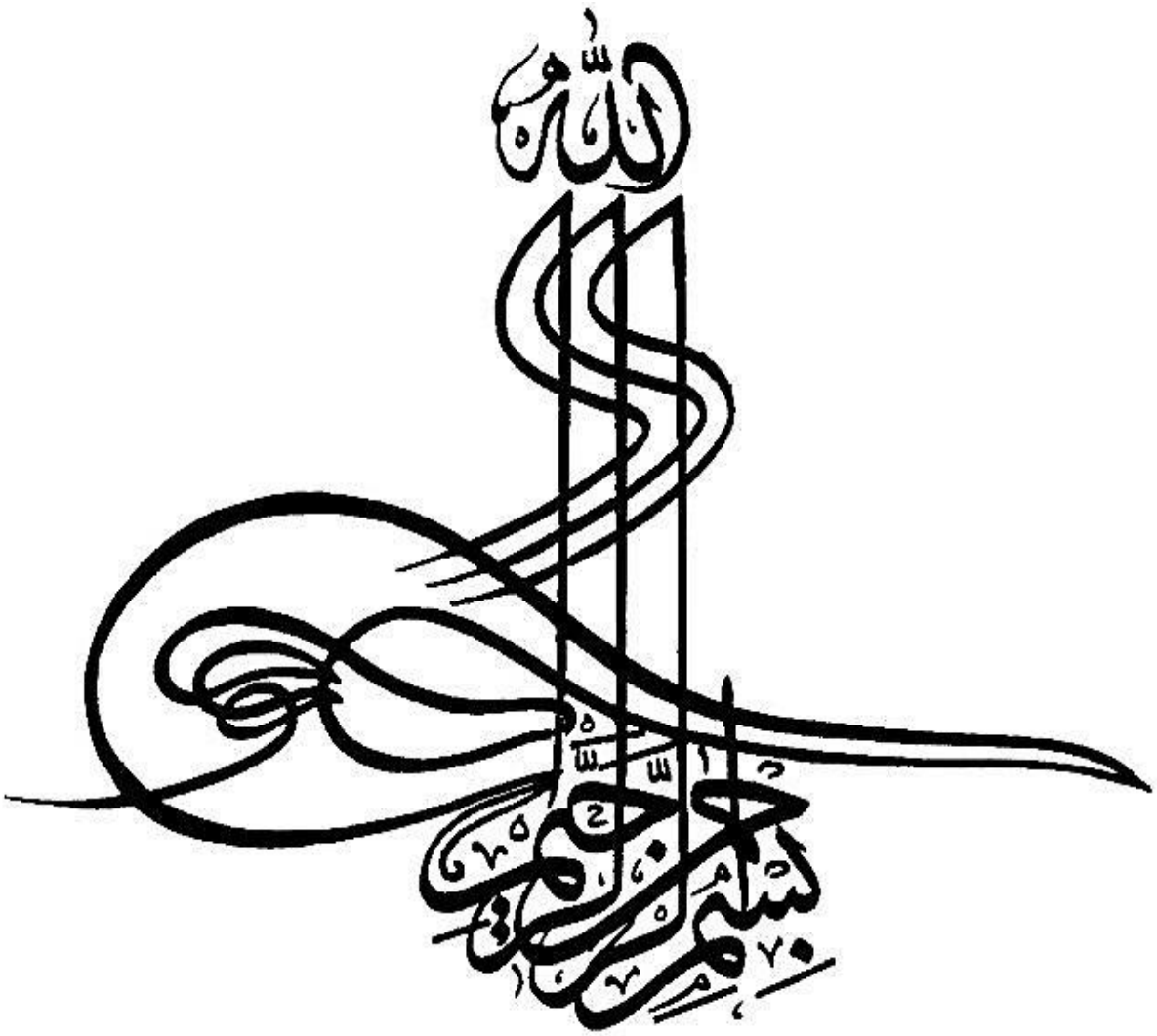
روش های ساخت و فناوری های نوین در اجرای

ساختمان و جزئیات اجرایی

مدرس: دکتر شاهین بیدمشکی


بسم الله الرحمن الرحيم

منابع و مراجع:

۱- فناوری‌های نوین ساختمانی، تألیف دکتر محمود گلابچی، دکتر حامد مظاهریان، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.

۲- سازه در معماری، تألیف ماریو سالوادوری، ترجمه دکتر محمود گلابچی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سیزدهم.

۳- نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان، تألیف دکتر محمود گلابچی، دکتر کتایون تقی‌زاده، احسان سروش نیا، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.

۴- زلزله برای معماران، تألیف دکتر محمدرضا تابش‌پور، انتشارات فدک ایساتیس، ویرایش اول.

۵- بارگذاری و سیستم‌های باربر سازه‌ای، تألیف مهندس شاپور طاحونی و مجید احتیاط، انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۶- مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر ساختمان، ویرایش ۱۳۹۲.

۷- آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم.

۸- مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای صنعتی ساختمان‌ها، ویرایش ۱۳۹۲.

۹- فنانوری‌های نوین ساختمانی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش پنجم.

۱۰- کتاب پوسته ها و سازه های ورق تا شده برای معماران و مهندسان عمران – دکتر محمود گلابچی

۱۱- کتاب درک رفتار سازه ها – فولر مور – ترجمه دکتر محمود گلابچی

۱۲- ساختمان‌های پوسته‌ای، دکتر مهدی فرشاد

ایمیل شخصی:

Shaahin.bidmeshki@gmail.com

آدرس وبلاگ:

Shaahin-bidmeshki.blogfa.com

آدرس کانال تلگرامی:

https://t.me/novelconstructionmethods

فصل اول: مقدمه

۱-۱- تاریخچه‌ی سازه و معماری

سازه همواره یکی از اجزاء ضروری معماری بوده و هست. چه هنگام ساخت سرپناه ساده برای یک خانواده و چه هنگام ایجاد فضای بزرگی که صدها نفر بتوانند در آنجا اعمال عبادی، تجاری و مذاکرات سیاسی خود را انجام دهند و یا اوقات فراغت خود را بگذرانند. به عنوان یک اصل، همواره انسان ناگزیر از به کار بردن مقادیر معینی از مواد خاص و شکل دادن به آنها بوده است تا بتواند ساختار معماریش را در برابر نیروی جاذبه زمین و سایر بارهای خطرناک، ایستایی بخشد. باید در حد امکان، با استفاده از نیروی کار و موادی که از نظر قابلیت دسترسی غیرمعقول به نظر نمی-رسیدند، با عوامل مخربی مانند باد، رعد و برق، زلزله، آتش‌سوزی مقابله می شد اما از آنجایی که حس زیبایی خواهی از حواس فطری انسان بوده است، همواره بر سازه شرایط سخت‌تری نسبت به شرایط استحکام و اقتصاد تحمیل گردیده است. بنابراین می‌توان تصور کرد که همواره به سازه اهمیت داده شده است، و به عبارتی سازه و معماری مکمل و عضو لاینفک یکدیگر محسوب می-شوند.

عده‌ای از محققین تاریخ معماری، همچنین بعضی از مهندسین سازه چنین استدلال کرده‌اند که توجه عمیق به سازه‌ی ساختمان به صورت غیرقابل اجتنابی منجر به زیبایی خواهد شد. بی‌شک یک سازه‌ی صحیح حتی عامی‌ترین افراد ناآشنا به معلومات معماری را متقاعد خواهد ساخت. ولی

یک سازه‌ی نادرست غالباً به طور ناراحت کننده‌ای زشت و ناموزون جلوه می‌نماید. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که دانشِ درکِ سازه به عنوان بخشی از معماری، حداقل بسیار مطلوب می-باشد و اینکه سازه نمی‌تواند صحیح و کامل باشد مگر در صورت تلفیق با زیبایی معماری.

۱-۲- معماری در عصر حاضر

در عصر حاضر همانند گذشته‌های دور، سیمای معمار و مهندس سازه منحصر بفرد و بی‌همتاست. معمار یک هنرمند، یک صنعتگر، یک طراح و یا سازنده‌ی بنا به حساب می‌آمد. میکل‌آنژ می‌توانست یک نقاش، یک مجسمه‌ساز، یک معمار و یک استاد سازنده‌ی بنا باشد. کلیسای پیتر در روم نمایانگر هر چهار شاخه‌ی مذکور می‌باشد. در طی نیم قرن گذشته به علت تخصصی شدن علم و دانش در رشته‌ی معماری و سایر رشته‌ها، عملکردهایی که قبلاً توسط یک فرد انجام می‌شد، اکنون توسط افراد مختلف انجام می‌پذیرد. در ساختن هر ساختمانی وجود دو شخص ضروری می‌باشد، معمار و مهندس محاسب. امروزه هیچ معماری بدون مشورت با مهندس ساختمان مبادرت به طرح یک ساختمان حتی با ابعاد متوسط و معمولی نمی‌کند. ریشه‌ی این وابستگی را باید در افزایش اهمیت عوامل اقتصادی، جهت‌گیری تکنولوژیکی فرهنگ‌ها و بالاتر از همه در نیاز گسترده‌ی تمدن ما به ساختمان‌های بزرگ جستجو کرد.

شمار بزرگی از مردم همه روزه برای انواع فعالیت‌های گروهی متداول عصر حاضر در زیر یک سقف جمع می‌شوند. ایستگاه‌های بزرگ، ورزشگاه‌های وسیع، تئاترهای بزرگ، مساجد، معابر و کلیساهای عظیم، میادین و صحنه‌های گسترده به تعداد زیاد به طور روز افزون دیده می‌شوند. تراکم فضاهای شهری ایجاد ساختمان‌های بلند را ضروری می‌سازد. سازه‌های بزرگ سمبل‌هایی از فرهنگ و تمدن ما و بناهای یادبودی از دولتها، ادیان و یا مؤسسات اجتماعی شده‌اند. از طرف دیگر اسکان میلیون‌ها نفر و تأمین مدارس و بیمارستانها برای آنها از اهداف اساسی اجتماعات متمدن است.

۱-۳- معمار و مهندس محاسب

امروزه هر معمار و هر دانشجوی معماری در مورد اهمیت معلومات سازه‌ای متقاعد شده است، اما اکتساب چنین علمی را از آنچه که تصور می‌شود، مشکل‌تر می‌یابد. پیشرفت سریع تکنیک‌های ساختمان‌سازی که در اثر استفاده از مواد جدید (مانند بتن مسلح، بتن پیش‌تنیده یا پلاستیک‌ها)، بوجود آمده است و یا مشکلات محاسبات پیچیده‌ی ریاضی که جزء لاینفک محاسبه و طراحی

فرم‌های ساختمانی جدید (مانند سقف‌های بزرگ با شکل‌های گوناگون) می‌باشد، باعث می‌شود که برای فردی بدون زمینه‌ی تکنیکی، حتی فهم امکانات و خصوصیات روش‌های جدید طراحی و نیز ساختمان‌سازی غیرممکن باشد. معمار معاصر که شاید آخرین انسان گرای عصر ماست، باید نسبت به زیبایی‌شناسی، مهندسی، جامعه شناسی، اقتصاد، اکولوژی و به طور عام، برنامه‌ریزی آگاه و بصیر باشد. او در عوض، تحت تأثیر آداب و سنن، مانند یک هنرمند، مورد تعلیم قرار می‌گیرد. آشنایی وی با ابزار اساسی و اولیه برای فهم تکنولوژی مدرن، اکثراً محدود است، زیرا که ریاضیات، فیزیک و شیمی در دوره‌ی تحصیلاتش موادی الزامی محسوب نمی‌شوند.

از طرف دیگر معلومات مهندس محاسب در رشته‌های جامعه‌شناسی، زیبایی‌شناسی و برنامه‌ریزی به همان محدودیت معلومات معمار در موضوعات فنی است. بنابراین مباحثه و گفتگو بین معمار و مهندس در واقع غیرممکن به نظر می‌رسد چرا که آنها فاقد زبانی مشترک هستند. از آنجا که این گفتگو ضروری است در ابتدا فرد ممکن است مردد باشد که مهندس محاسب باید بیشتر به معمار نزدیک شود یا بالعکس. پاسخ چنین است که با معرفی دروسی، هر دو عضو اساسی طراحی ساختمان باید با زبان یکدیگر آشنا گردند.

۱-۴- سازه‌ها و درک بنیادین مفاهیم

بدیهی است که تنها جدی‌ترین آموزش‌ها در زمینه‌ی علوم ریاضی و فیزیک، امکان تجزیه و تحلیل کامل معضلات سازه را تا حد وضوح مورد نیاز تکنولوژی مدرن، به طراح خواهد داد. مهندس سازه‌ی امروزی متخصصی در میان متخصصین و عضو شاخه‌ای خاص در میان مهندسین راه و ساختمان می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی جدید، مهندسین محاسب نیز به تخصص‌های گوناگون تقسیم می‌شوند. در حال حاضر برخی از مهندسین محاسب در زمینه بتن‌آرمه، برخی دیگر تنها در سقف‌های بتن‌آرمه و عده‌ای در زمینه سقف‌های با فرم و شکل خاص تخصص می‌گیرند. همانطور که هر شخص به پزشک متخصص برای مشورت در مورد یک بیماری خاص مراجعه می‌کند، یک فرد ممکن است به یکی از این متخصصین مراجعه نماید تا در مورد شکل خاصی از سازه با او مشورت نماید. اما بدیهی است، هنگامی که اصول اساسی تجزیه و تحلیل سازه بدست آمد، الزاماً احتیاج به یک فرد متخصص که بتواند آنها را بر مبنای اصول صرف فیزیک درک نماید، نیست.

فرد عامی ممکن است نتیجه‌ی این تحقیق را جالب و جذاب بیابد، ولی معمار باید فراگیری آنرا الزامی بداند زیرا بدون آن به زودی از میدان معماری معاصر بیرون رانده خواهد شد. برای مردم

علاقه‌مند ممکن است این یک سرگرمی باشد اما برای دانشجویان معماری و معمارِ با تجربه این یکی از اصول ضروری حرفه معماری محسوب می‌شود.

هنگامی که معمار به مبانی این علم دست یافت باید با نکات دقیق‌تر تئوری سازه‌ها آشنا شود. این موضوع به او اجازه خواهد داد اندوخته‌ی جدیدی از افکار و روشها را که تا چند سال پیش از آن حتی برای متبحرترین و بزرگترین معمارها غیرقابل دسترسی بود با هوشمندی و دقت کامل بکار گیرد.

یک خطر آشکار در فراهم بودن چنین امکانات و نیز آزادی‌های جدید وجود دارد. هنر با محدودیت بارور می‌شود و آزادی ممکن است آنرا به سادگی به هرج و مرج بکشاند. از آنجایی که امروزه تقریباً هر سازه‌ای می‌تواند ساخته شود، به جای اینکه پرسیده شود آیا امکان ساخت این بنا وجود دارد؟ باید پرسید که آیا اصلاً باید این بنا ساخته شود؟ و از آنجا که معمار از لحاظ مشکلات تکنولوژیکی با کمتر مانعی روبروست، ممکن است دچار سرگردانی در دنیای سازه‌های غیرقابل قبول و غیرموجه گردد. این حقیقتی است که معمار متوسط معاصر می‌تواند به موفقیت‌های بسیار بزرگتری از آنچه برای استثنایی‌ترین طراحان و سازندگان ساختمان‌ها در صد سال پیش از این ممکن بوده است دست یابد، و چنین موفقیتی نه تنها ثمره‌ی تکنولوژی است بلکه حاصل خون، عرق و اشک چشم می‌باشد.

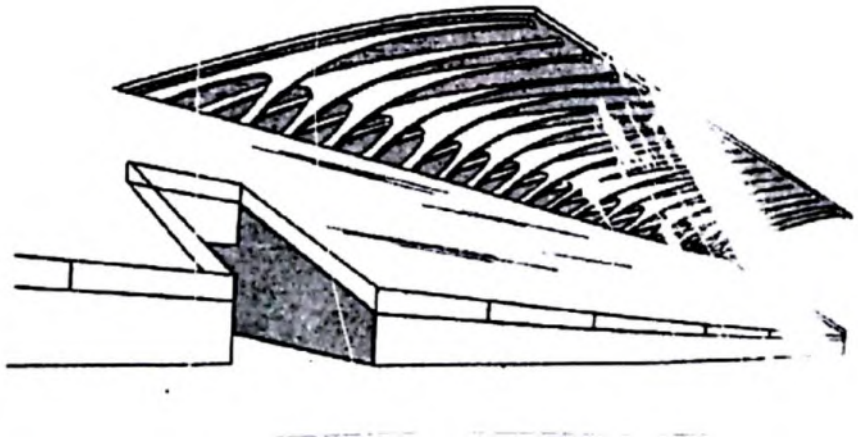
آنچه بدنبال می‌آید، کوششی جهت معرفی رشته سازه برای خواننده می‌باشد بدون آنکه در اینجا نیاز به معلومات گسترده در زمینه ریاضی و فیزیک باشد. اما این بدان معنا نیست که به سازه‌ها به صورت مقدماتی، ناقص و یا به صورت ساده و اختصاری پرداخته شود. امید است که این معلومات برتر از عملکردهای سازه‌ای موجب آمادگی بیشتر دانشجویان علاقه‌مند برای فهم دقیق‌تر مبانی و اصول طراحی سازه باشد.

۱-۵- تعریف سازه

سازه مجموعه‌ای از المان‌ها و اجزاست که برای تأمین یک عملکرد مشخص ساخته می‌شود. سازه‌ها همیشه برای اهداف معینی ساخته می‌شوند. اساساً اصل توجه به سودمندی یکی از تفاوت‌های اساسی بین ساختمان و مجسمه است. در نتیجه هیچ سازه‌ای بخاطر خودِ سازه ایجاد نمی‌شود. به عبارت دیگر هیچگاه نمی‌توان مفهوم سازه برای سازه را صحیح و قابل قبول دانست. هدف اصلی

یک سازه محصور کردن و مشخص نمودن یک فضا است. هر چند که گاهی یک سازه برای اتصال دو نقطه ساخته می‌شود، مثل پل‌ها و آسانسورها و گاهی برای تحمل نیروهای طبیعی مانند سدها و دیوارهای حائل. سازه‌های دیگر دربرگیرنده‌ی یک معماری معین، بطور خاص با محصور کردن و تعریف نمودن یک فضا، آن را برای عملکرد معینی قابل استفاده می‌نماید. به طور کلی مفید بودن این سازه ناشی از جداکردن کل یا جزء یک فضای معین از آب و هوای طبیعی است. امکان دارد محصور بودن کامل فضا ضروری نباشد. سقف‌های طره‌ای در یک استادیوم، تماشاچیان را بدون قرار گرفتن در فضایی محصور، از نزولات جوی و شرایط آب و هوایی محفوظ می‌دارند، شکل (۱-۱).

محصور کردن فضا ممکن است به خاطر اهداف کاملاً متفاوت از جمله محافظت از خانواده، تولید محصولات صنعتی، اعمال عبادی، نمایش، سرگرم ساختن مردم، مجلس قانون‌گذاری و مانند آن باشد. فضاهای گوناگون که اهداف متفاوتی را تأمین می‌کنند نیاز به سازه‌های گوناگون دارند. اما همه سازه‌ها حتی ساده‌ترین انواع آن تحت تأثیر بارهایی قرار می‌گیرند و باید در مقابل این بارهای گوناگون مقاومت کنند. فقط در موارد نادر، مقاومت در برابر بارها، هدف ابتدایی و اولیه یک سازه است. وجود بارها در هر سازه، معمولاً امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.



شکل (۱-۱): حفاظت جزئی در مقابل عوامل جوی

۱-۶- اهداف طراحی سازه‌ها

الف- برخورداری از مقاومت مناسب

به عبارت دیگر انتظار می‌رود که سازه تحت اثر بارهای اعمالی فرو نریخته و یا صدمه نبیند و ایمنی کاربران را تأمین نماید.

ب- تغییرمکان کنترل شده

سیستم‌های سازه‌ای و کلیه اعضای آن، باید به نحوی طراحی شوند که سختی کافی برای محدود شدن تغییرشکل‌ها، تغییرمکان جانبی نسبی، ارتعاشات یا هر نوع تغییرشکلی که تأثیر نامناسبی بر کاربری و عملکرد مورد نظر می‌گذارد را دارا باشند. در این حالت ممکن است سازه صدمه نبیند و یا خراب نشود، اما از لحاظ خدمت‌پذیری (قابلیت بهره‌برداری) نامطلوب فرض شود.

پ- در نظر داشتن مسائل اقتصادی

شرط دیگر در طراحی سازه، اعمال ملاحظات اقتصادی است. وظیفه مهندس محاسب برقرار کردن ارتباط عملی بین ایمنی، اقتصاد و خدمت‌پذیری است.

ت- زیبایی

برآورده نمودن الزامات مربوط به ایمنی، خدمت‌پذیری و اقتصاد به تنهایی پاسخ‌گوی نیازهای بشر نبوده، بلکه مسائل روحی و روانی ساکنین نیز تأثیر بسزایی در روند بهره‌برداری از سازه دارد. طراحی سازه‌ای زیبا و با معماری مناسب اکیداً بر کیفیت زندگی ساکنین و یا کاربران سازه تأثیرگذار خواهد بود. لذا وظیفه تیم ساخت و ساز برقراری کلیه موارد فوق‌الذکر می‌باشد. بنابراین برآورده نکردن هر یک از الزامات مزبور بدون علتی خاص، از لحاظ منطقی و مهندسی پذیرفته نخواهد بود. اثبات اینکه زیبایی ضرورتاً به سازه‌ی ساختمان بستگی دارد، مشکل خواهد بود. به آسانی می‌توان نشان داد که بعضی ساختمان‌ها با سازه نادرست، دوست داشتنی به نظر می‌رسند، حال آنکه بعضی سازه‌های کاملاً صحیح، از نقطه نظر زیبایی راضی کننده نیستند. شاید این ادعا معقول‌تر باشد که بگوییم درستی سازه بیشتر اوقات، جزء لازمی از زیبایی ساختمان می‌باشد، ولی به تنهایی برای تضمین زیبایی کافی نیست. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که دانشِ درکِ سازه به عنوان بخشی از معماری، حداقل بسیار مطلوب می‌باشد و اینکه سازه نمی‌تواند صحیح و کامل باشد مگر در صورت تلفیق با زیبایی معماری.

۱-۷- عوامل مؤثر در مقاومت اجزای سازه‌ای

الف- ابعاد هندسی اجزای سازه‌ای (طول، عرض و ارتفاع)

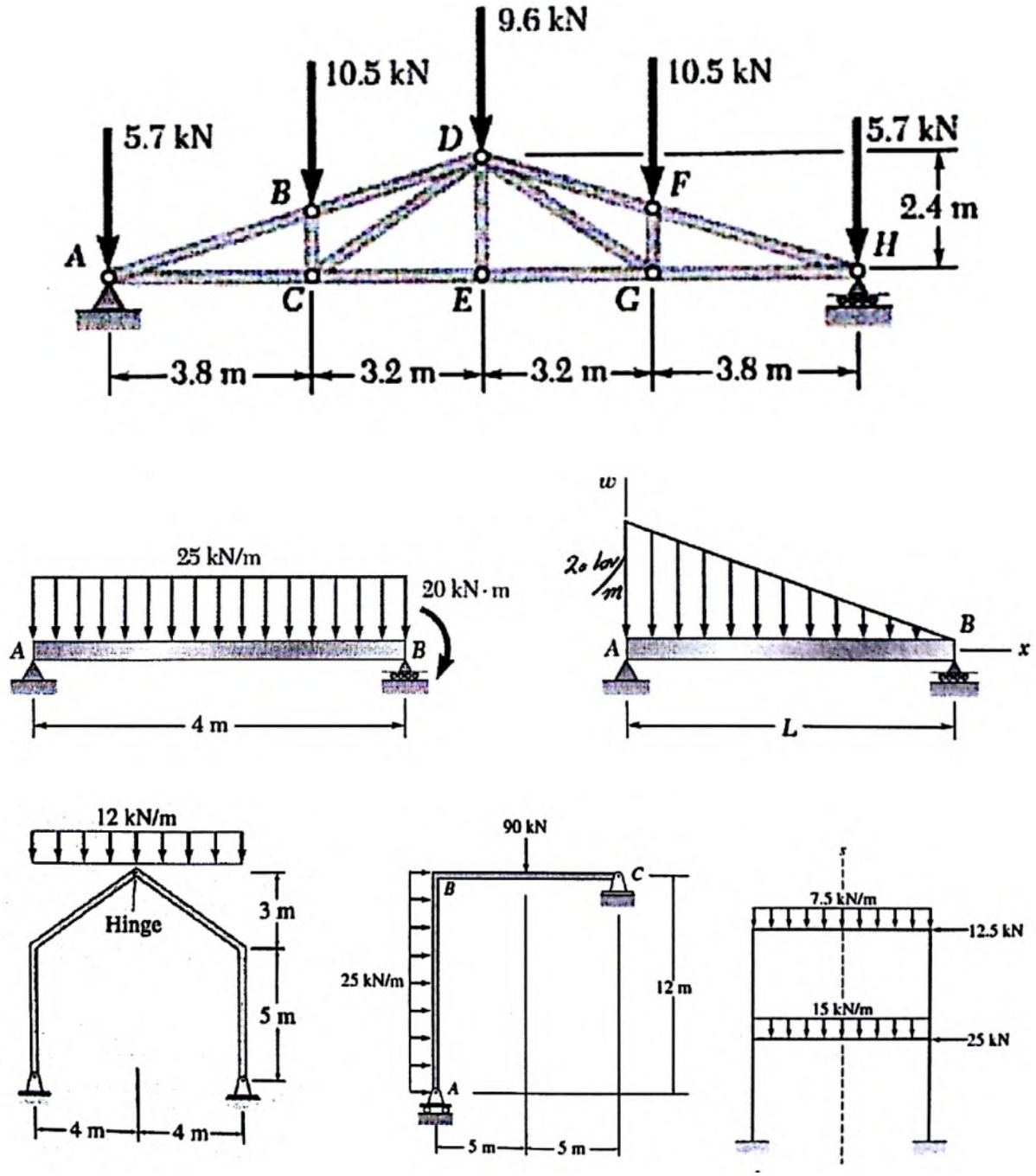
قطعاً ابعاد هندسی مقطع، شکل سطح مقطع و سایر موارد هندسی، تأثیر بسزایی در رفتار سازه‌ای عضو و در نهایت بر رفتار کلی سازه خواهند داشت.

ب- بارگذاری

در دروسی مانند ایستایی، نحوه‌ی تعیین نیروهای داخلی، تنش‌ها و تغییرمکان‌ها مشخص گردید، اما هرگز به منشأ پیدایش بارهای وارد بر سازه اعم از تیرها، کابل‌ها، خرپاها و قاب‌ها پرداخته نشد. تعیین نحوه تأثیر بارها بر روی یک سازه، مسئله پیچیده‌ای است. طبیعتِ بارها اساساً با توجه به طراحی معماری، جنس مصالح و موقعیت قرارگیری سازه تغییر می‌کند. شرایط بارگذاری بر روی یک سازه ممکن است از زمانی به زمان دیگر تغییر کند و یا بسرعت با گذشت زمان عوض شود. اغلب بارهای اصلی که باید توسط یک سازه‌ی دربرگیرنده‌ی یک معماری معین تحمل شوند، در اثر گذشت زمان تغییر نمی‌کنند. این بارها که اصطلاحاً استاتیکی نامیده می‌شوند، مبنای طراحی سازه-ها قرار می‌گیرد.

۱-۷-۱- بارها از لحاظ نحوه اثر عبارتند از:

- **بارهای متمرکز**
- **بارهای گسترده خطی**
- **بارهای گسترده سطحی**
- **بارهای گسترده حجمی(شکل ۱-۲)**



شکل (۱-۲): انواع بار از لحاظ نحوه اثر (متمرکز، گسترده و .....)

۱-۷-۲- بارهای وارد بر ساختمان از لحاظ نحوه پیدایش:

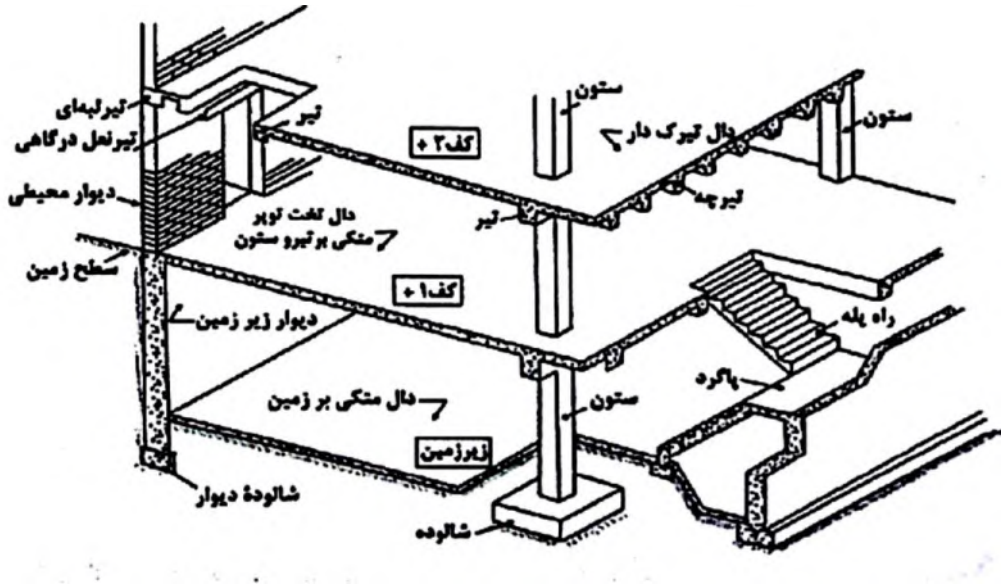
۱-۷-۲- الف- باره مرده *(Dead Load)*

بارهای مرده عبارتند از وزن اجزای دائمی ساختمان مانند: تیرها و ستون‌ها، دیوارها، کف‌ها، بام، سقف، راه‌پله، نازک‌کاری، پوشش‌ها و دیگر بخش‌های سهیم در اجزاء سازه‌ای و معماری. همچنین

وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت شامل وزن جراثقال ثابت نیز در ردیف این بارها محسوب می‌شود، شکل (۱-۳). بار مرده اجزای ساختمان از حاصلضرب حجم قطعه در وزن مخصوص آن بدست می-آید.

نکته: حجم قطعه با توجه به ابعاد سازه‌ای و جزئیات معماری آن بدست می‌آید. لذا در ابتدای طراحی نیاز به حدس اولیه ابعاد بوده که خود ممکن است آزمون و خطا در پی داشته باشد.

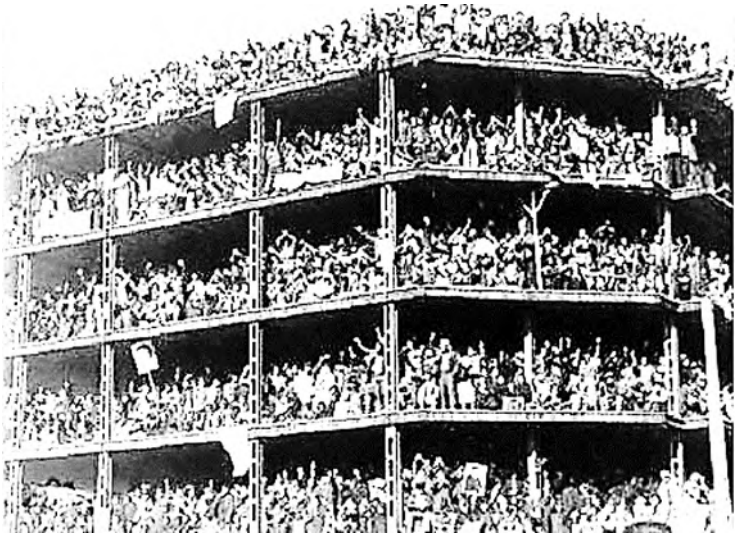
بند ۶-۳-۲-۱- در محاسبه بارهای مرده باید وزن واقعی مصالح مصرفی و اجزای ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. برای انجام محاسبه در صورت عدم وجود اطلاعات معتبر، جرم واحد حجم و یا جرم واحد سطح اجزای ساختمانی، باید به شرح مندرج در جداول ارائه شده در پیوست شماره (۶-۱) در نظر گرفته شود.



شکل (۱-۳): اجزایی از ساختمان که در بار مرده مشارکت دارند

۱-۷-۲- ب- بار زنده *(Live Load)*

بند ۶-۵-۱-۱- بار زنده: بار غیر دائمی است که در حین استفاده و یا بهره‌برداری از ساختمان و یا سایر سازه‌ها به آنها وارد شود و شامل بارهای حین ساخت و یا بارهای محیطی مانند بار باد، بار برف، بار باران، بار زلزله، بار سیل و یا بارهای مرده نمی‌شود.



شکل (۱-۴): بار زنده مازاد بر پیش‌بینی اولیه

۱-۷-۲- پ- بارهای ناشی از پیرامون ساختمان مانند: برف، باد و زلزله و ... *(Environmental Load)*

۱-۷-۲-پ-۱- بار برف

بند ۶-۷-۱- بار برف زمین: بار برف زمین P_g، وزن لایه برف روی سطح افقی زمین است که بر اساس آمار موجود در منطقه، احتمال تجاوز آن در سال دو درصد باشد (دوره بازگشت ۵۰ سال).

بار برف وارد به سازه به عوامل زیر بستگی دارد:

- **موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی**
- **بافت شهری (تأثیر کنار هم قرار گرفتن ساختمان‌ها)**
- **شکل و کاربری ساختمان**

بار برف زمین در مناطق مختلف کشور را باید با توجه به تقسیم‌بندی مشخص شده در جدول (۶-۷-۱) و یا شکل (۶-۷-۱)، حداقل برابر با مقادیر زیر در نظر گرفت:

منطقه ۱- برف بسیار کم (نادر)	۰٫۲۵ کیلونیوتن بر متر مربع
منطقه ۲- برف کم	۰٫۵ کیلونیوتن بر متر مربع
منطقه ۳- برف متوسط	۱ کیلونیوتن بر متر مربع
منطقه ۴ – برف زیاد	۱٫۵ کیلونیوتن بر متر مربع
منطقه ۵ – برف سنگین	۲ کیلونیوتن بر متر مربع
منطقه ۶- برف فوق سنگین	۳ کیلونیوتن بر متر مربع

بند ۶-۷-۲- بار برف بام: بار برف بر روی بام P_r، با توجه به شیب و دمای بام، برف‌گیری و اهمیت سازه، برای هر متر مربع تصویر افقی سطح آن به کمک رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$P_r = ۰٫۷ C_s C_t C_e I_s P_g \qquad (۶-۷-۱)$$

که در آن:

I_s = ضریب اهمیت طبق بخش ۶-۷-۳

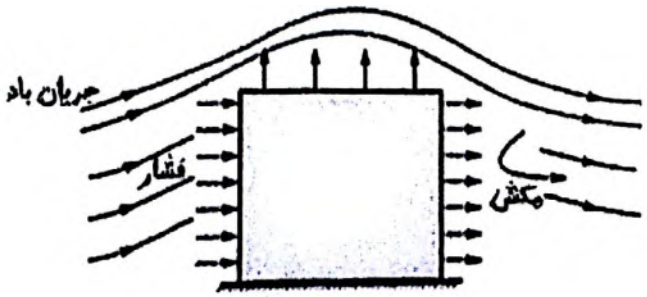
C_e = ضریب برف‌گیری طبق بخش ۶-۷-۴

C_t= ضریب شرایط دمایی طبق بخش ۶-۷-۵

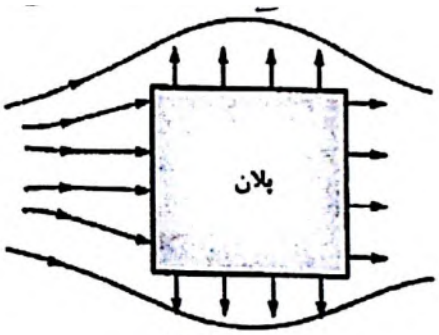
C_s = ضریب شیب طبق بخش ۶-۷-۶

۱-۷-۲-پ-۲- بار باد

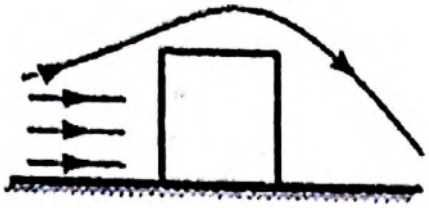
ذرات هوا هنگامی که به مانعی برخورد می‌کنند، قسمتی از انرژی جنبشی خود را تبدیل به فشار وارد بر آن سطح می‌کنند و این موضوع باعث می‌شود که به سطح فشار و نیرو وارد شود. بار باد باریست که در اثر این فشار به ساختمان وارد می‌شود. در جریان وزش باد، فشار باد از یک سو باعث ایجاد فشار و مکش در سطح خارجی سازه می‌شود و از سوی دیگر در صورت وجود بازشو در سازه، جریان هوا می‌تواند داخل ساختمان شود و فشار و مکش داخلی ایجاد کند، شکل (۱-۵).



نمای سازه از مقابل

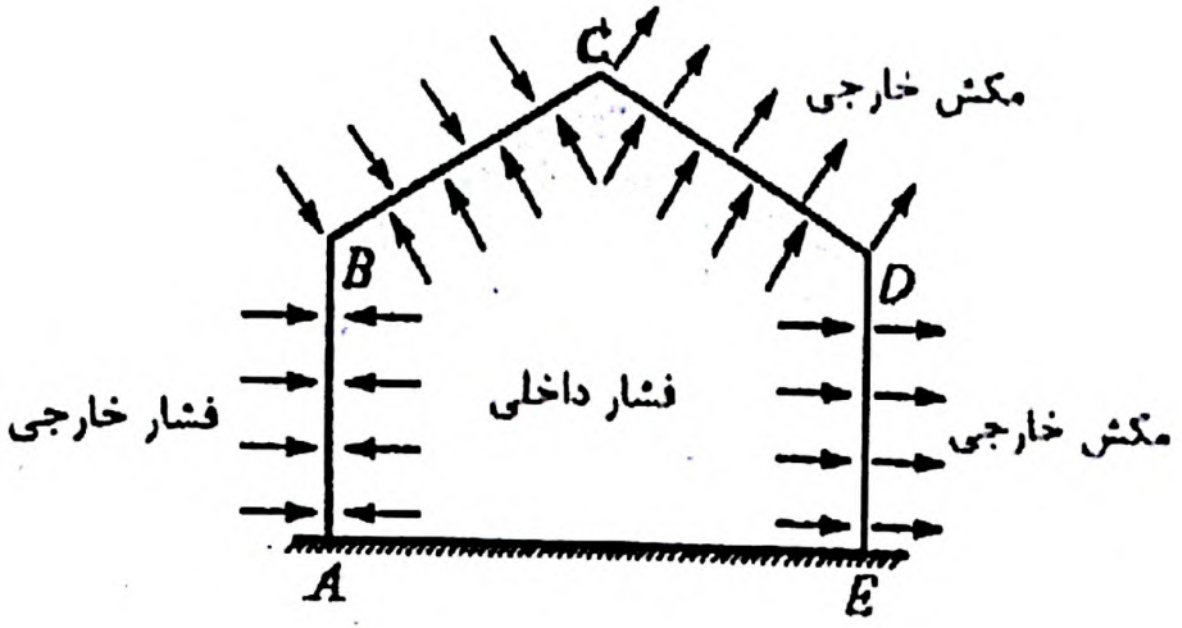


(نمای سازه از بالا)



(۱)

(۲)



شکل (۱-۵): نحوه تأثیر بار باد

بند ۶-۱۰-۱- کلیات بار باد: ساختمان‌ها و سازه‌ها و کلیه‌ی اجزا آن‌ها باید برای اثر ناشی از باد، بر اساس ضوابط مربوط به فصل باد مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، طراحی و ساخته شوند. این اثر باید با توجه به میانگین سرعت باد در منطقه، ارتفاع، شکل هندسی ساختمان‌ها، میزان پوشش و گرفتگی که موانع مجاور برای آنها در مقابل باد ایجاد می‌کنند، محاسبه شوند.

همانطور که بیان شد عوامل زیر بر نیروی باد تأثیرگذارند:

- **میانگین سرعت باد در منطقه**

فشار وارد بر سازه نیز با توان دوم سرعت نسبت مستقیم دارد $\Rightarrow$ انرژی جنبشی $k = \frac{1}{2}mV^2$

- **ارتفاع ساختمان**

هر چه ارتفاع ساختمان بلندتر باشد، سرعت باد بیشتر بوده و در نهایت نیروی باد اعمال شده به سازه بیشتر خواهد شد.

- **شکل هندسی ساختمان‌ها**
- **میزان پوشش و گرفتگی محیط اطراف ساختمان**

به طور کلی، وجود ساختمان‌ها، درختان و عوارض طبیعی در سطح زمین، باعث ایجاد مانع در برابر جریان باد می‌شود و واضح است هر چه ارتفاع و تراکم این موانع بیشتر شود، سرعت باد در اطراف ساختمان بیشتر کاهش یافته و نیروی کمتری به سازه اعمال می‌شود.

نکته: جهت و مقدار نیروی باد در طول زمان تغییر می‌کند و در نتیجه، این نیرو در دسته‌ی نیروهای دینامیکی قرار می‌گیرد، لذا هر چه ارتفاع ساختمان بیشتر باشد، سازه انعطاف‌پذیرتر شده و پدیده‌های دینامیکی از جمله باد، تأثیر بیشتری بر روی سازه خواهد داشت.

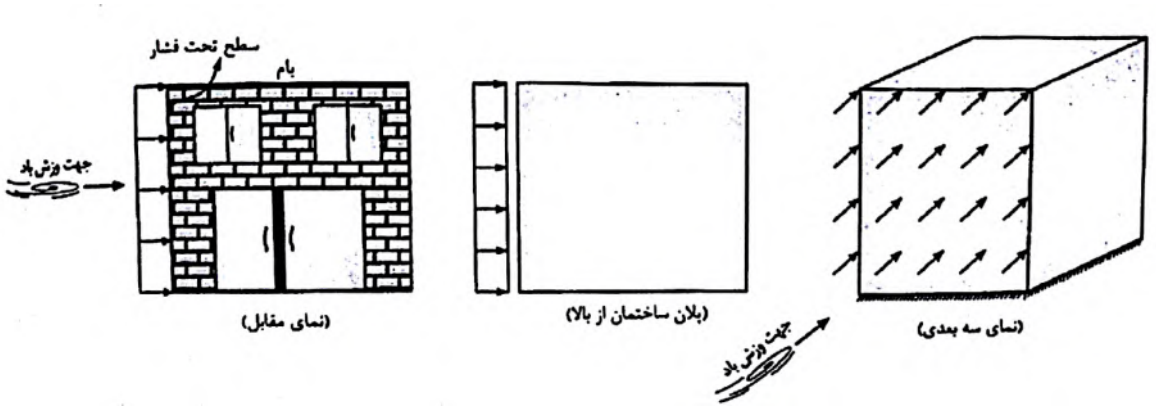
* تأثیر فشار باد بر روی سطوح خارجی ساختمان، معمولاً به یکی از دو صورت زیر است:

الف- فشار مستقیم در سمت بادگیر

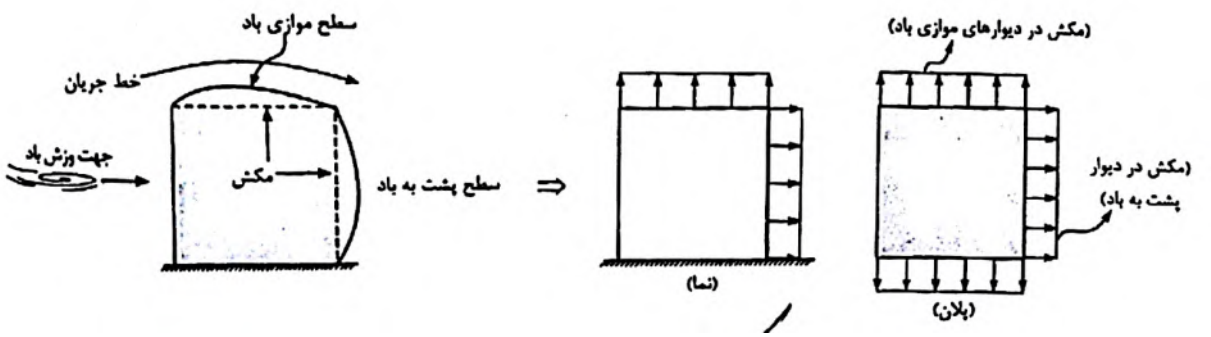
سطوحی از ساختمان که مستقیماً در مقابل باد قرار دارند، تحت تأثیر فشار خارجی باد قرار می‌گیرند، شکل (۱-۶).

ب- مکش در سمت پشت به باد و سطوح موازی باد

به طور کلی سطوحی که پشت به باد و یا موازی با آن می‌باشند، معمولاً تحت جریان باد تمایل به بیرون‌زدگی دارند و تحت مکش قرار می‌گیرند. مکش عملاً به عنوان یک فشار منفی در نظر گرفته می‌شود، شکل (۱-۷).

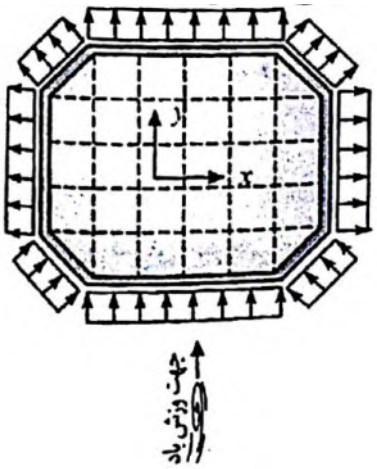


شکل (۱-۶): ایجاد فشار در سمت رو به باد



شکل (۱-۷): ایجاد مکش در سمت موازی باد و پشت به باد

در پلان شکل (۱-۸) که مربوط به یک ساختمان هشت گوشه است، مکش و فشار بر روی دیوارها نشان داده شده است.



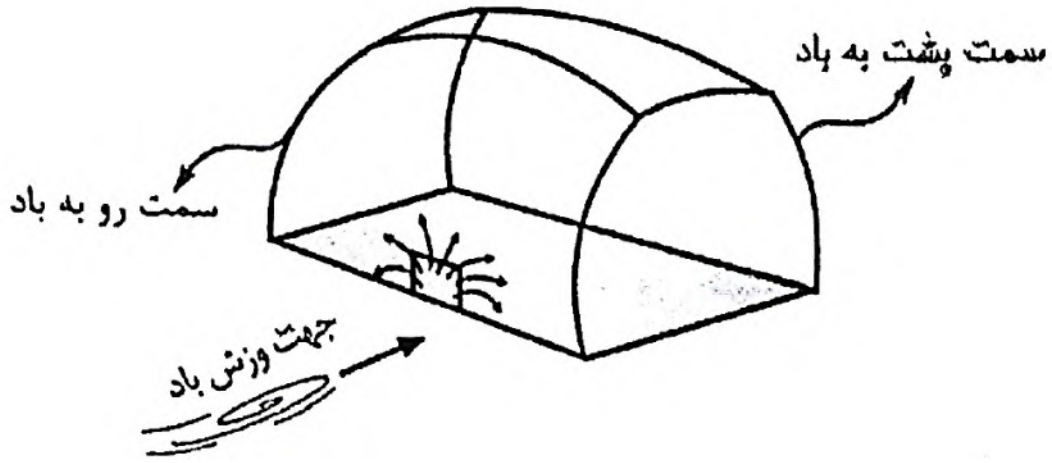
شکل (۱-۸): فشار و مکش تولید شده در یک ساختمان شش ضلعی

* تأثیر فشار باد بر روی سطوح داخلی ساختمان، معمولاً به یکی از دو صورت زیر است:

ورود جریان هوا به داخل ساختمان و یا خروج آن از ساختمان در اثر وجود بازشو، می‌تواند باعث ایجاد فشار منفی (مکش) و یا فشار مثبت داخلی در سازه شود. مقدار این فشار یا مکش، به بزرگی مساحت بازشو نسبت به مساحت جانبی ساختمان دارد.

الف- فشار مثبت داخلی

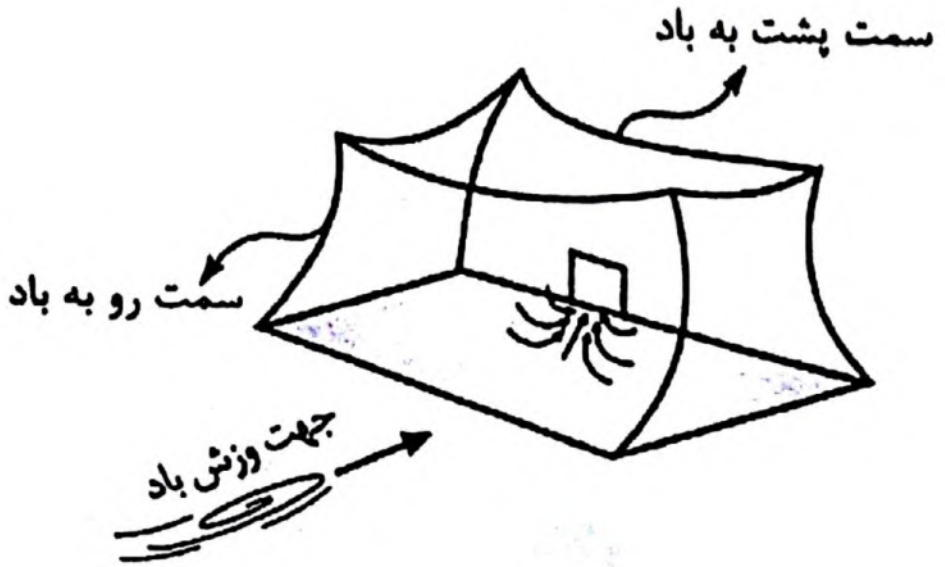
فشار مثبت داخلی هنگامی به وجود می‌آید که مساحت بازشدگی در سمت رو به باد، نسبت به سمت پشت به باد بیشتر باشد. در این حالت جریان هوای وارد شده به ساختمان از هوای خارج شده از ساختمان بیشتر است و اصطلاحاً هوای وارد شده به ساختمان، نمی‌تواند خارج شود. این موضوع باعث ایجاد فشار در داخل سازه خواهد شد، شکل (۱-۹).



شکل (۱-۹): ایجاد فشار داخلی

ب- فشار داخلی منفی یا مکش

فشار منفی داخلی زمانی بوجود می‌آید که مساحت بازشدگی‌ها در سمت پشت به باد نسبت به سمت رو به باد بیشتر باشد، در این حالت جریان هوا از داخل ساختمان به سمت خارج حرکت کرده و در داخل ساختمان مکش ایجاد می‌شود، شکل (۱-۱۰).



شکل (۲-۱۰): ایجاد مکش داخلی

بند ۶-۱۰-۲- فشار ناشی از باد بر ساختمان‌ها و سازه‌ها: فشار خارجی یا مکش تحت باد بر روی جز یا کل سطح یک ساختمان باید با استفاده از رابطه زیر بدست آید:

$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

در این رابطه:

p = فشار خارجی که به‌صورت استاتیکی در جهت عمود بر سطح چه در حالت فشار وارد بر سطح یا مکش به سمت خارج از سطح، عمل می‌کند.

I_w = ضریب اهمیت برای بار باد طبق جدول ۶-۱-۲

q = فشار مبنای باد بخش ۶-۱۰-۳ و جدول ۶-۱۰-۲

C_e = ضریب بادگیری طبق بند ۶-۱۰-۶-۱

C_g = ضریب اثر جهشی باد طبق بند ۶-۱۰-۶-۴

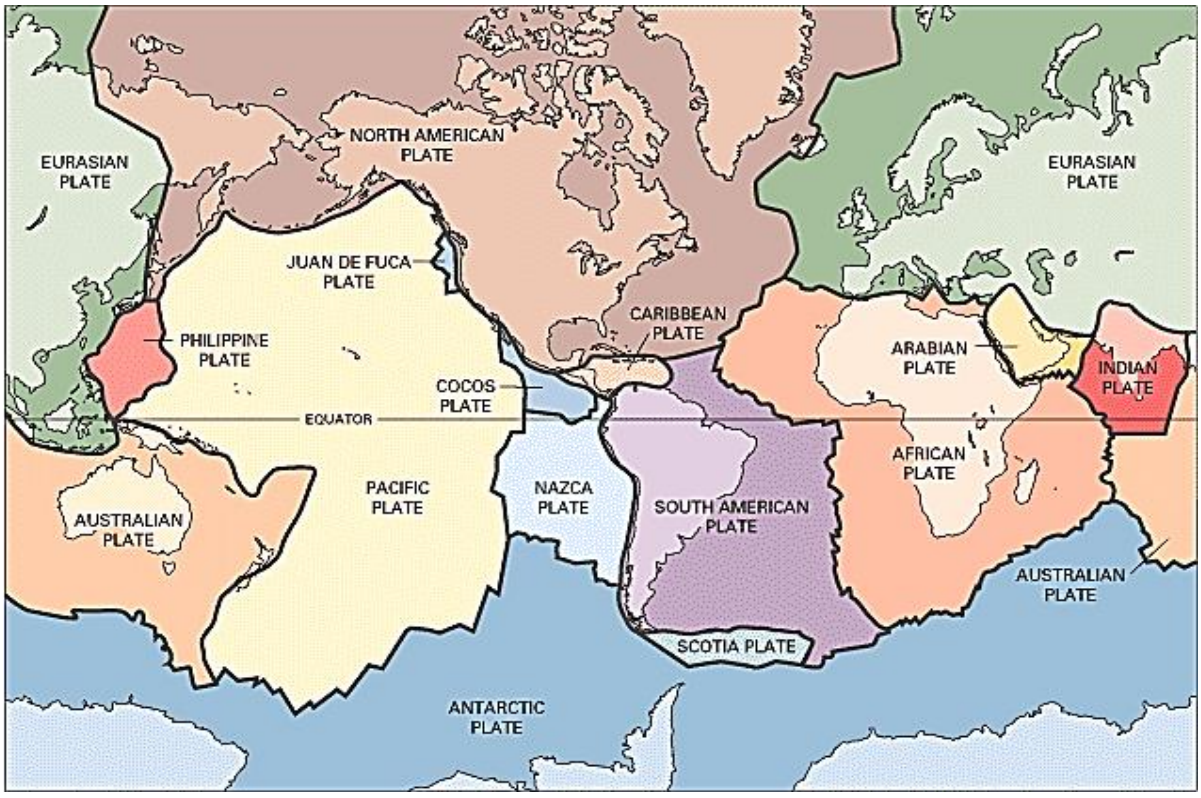
C_p = ضریب فشار خارجی که بر مساحت وجه مورد نظر میانگین‌گیری شده باشد.

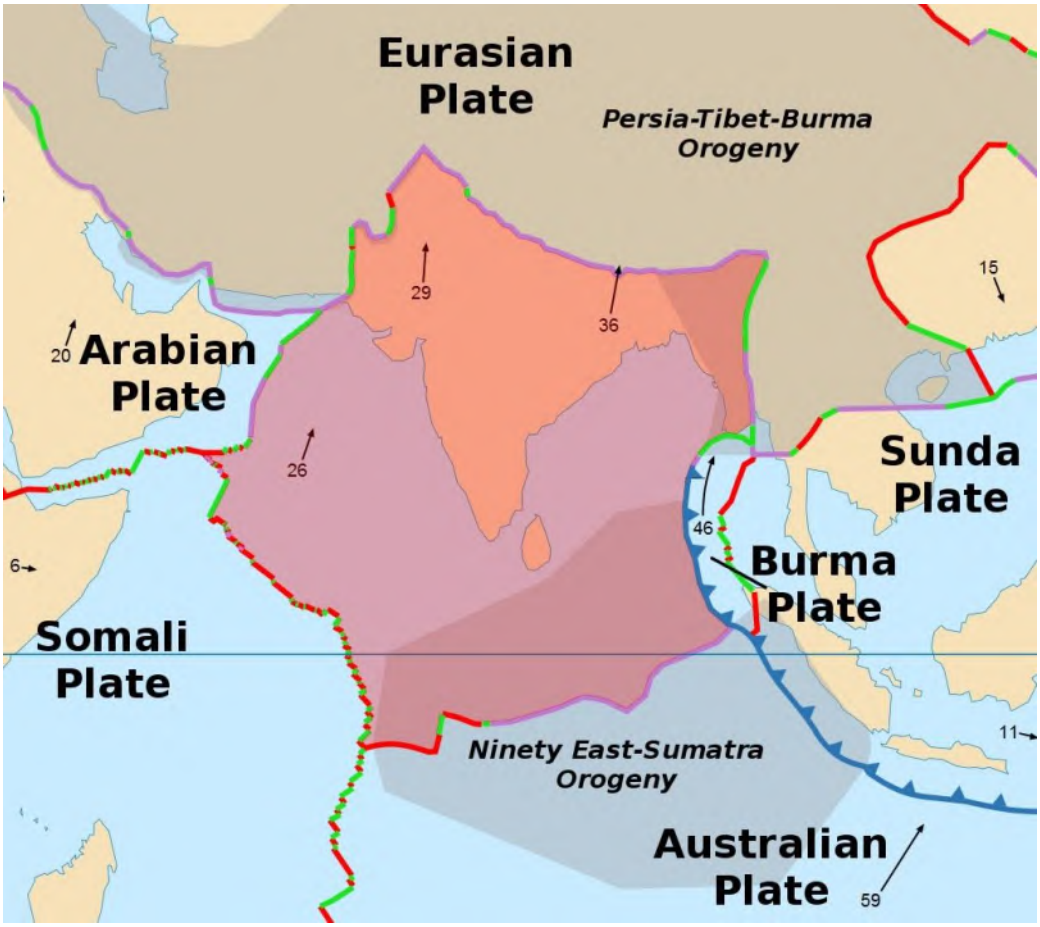
۱-۷-۲- پ-۳- بار زلزله

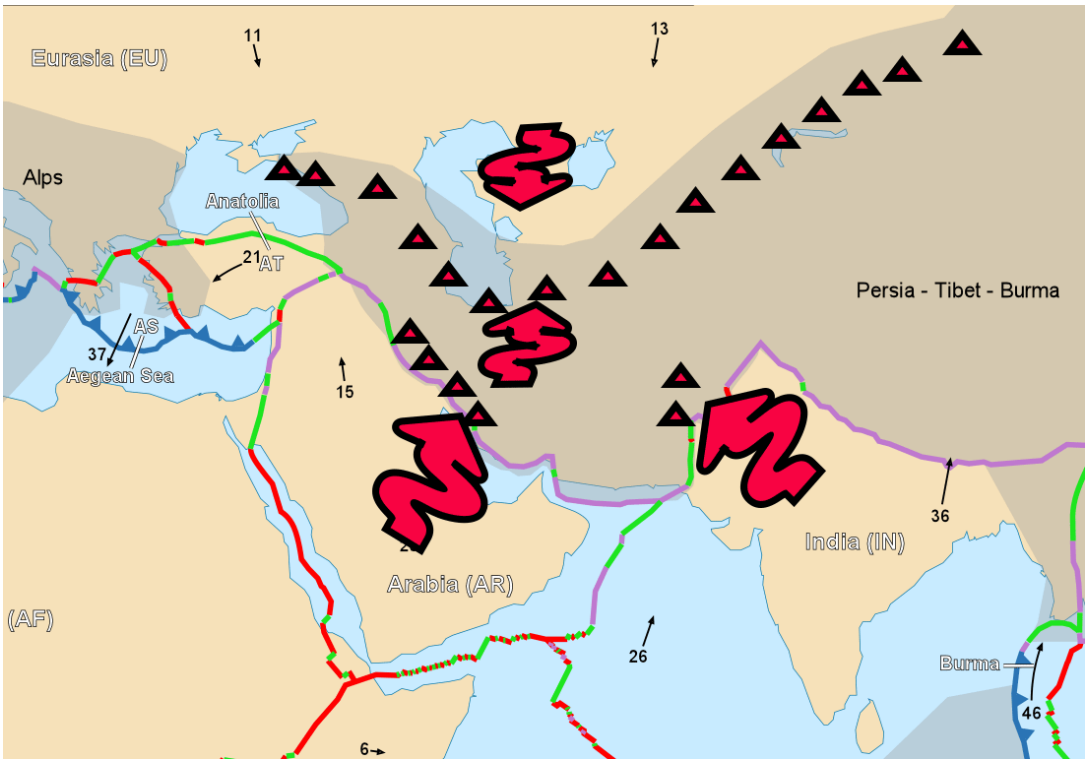
زمین‌لرزه رها شدن ناگهانی انرژی ذخیره شده در پوسته زمین می‌باشد که منجر به شکل‌گیری امواج لرزه‌ای می‌گردد. زمین‌لرزه‌ها بنا به دلایل مختلفی به وقوع می‌پیوندند که در ادامه به چندین نوع از این عوامل اشاره شده است:

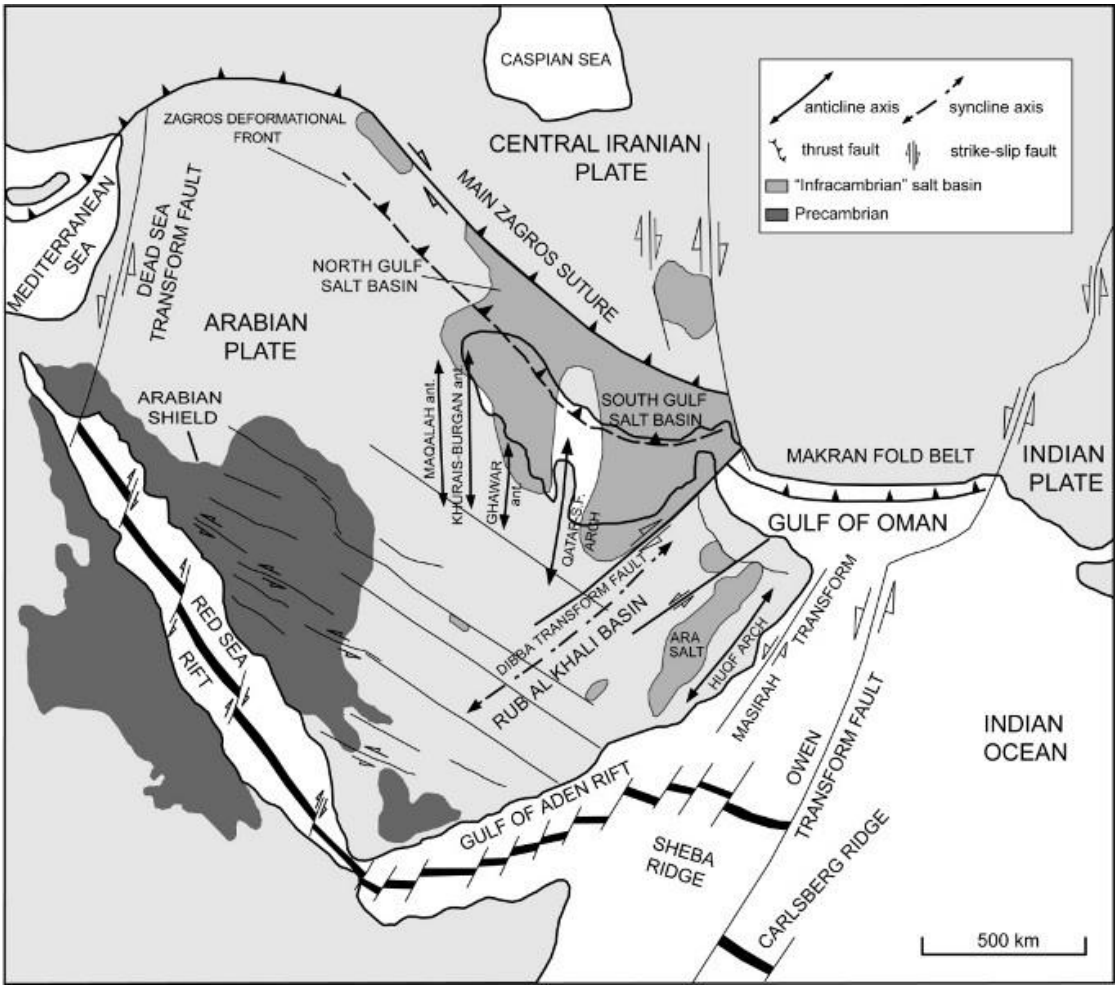
الف- زمین‌لرزه‌های تکتونیکی

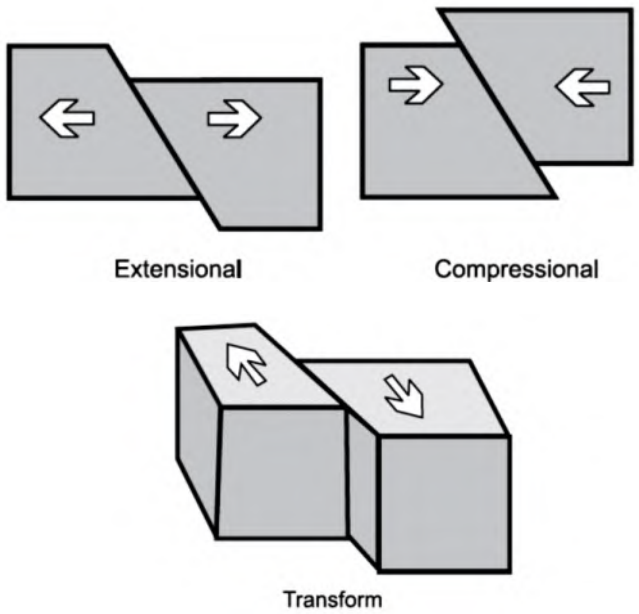
انواع تکتونیک‌های صفحه‌ای را می‌توان در شکل (۱-۱۱) مشاهده نمود.

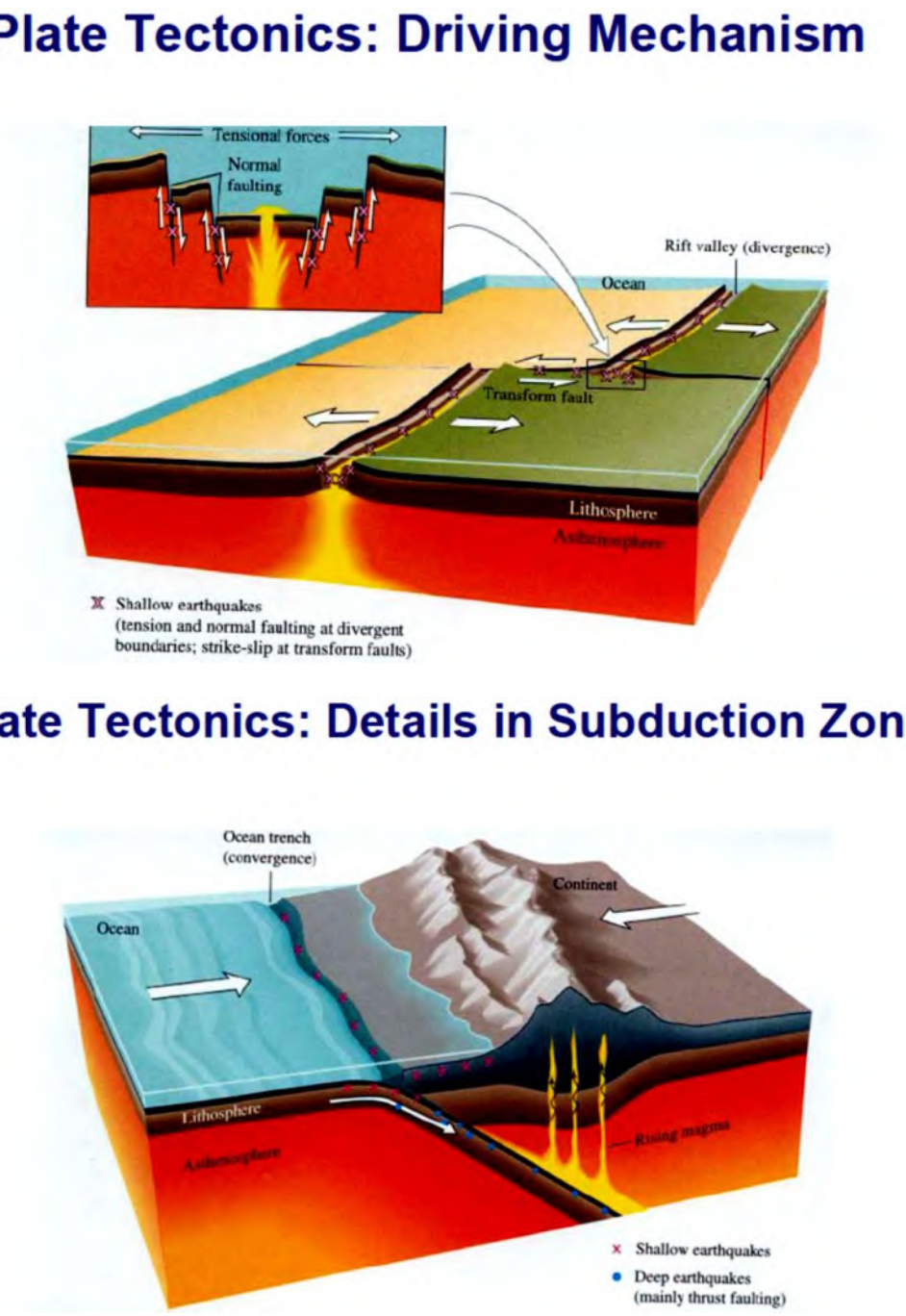



Eurasian Plate
Persia-Tibet-Burma Orogeny
29
36
15
20
Arabian Plate
26
Sunda Plate
46
6
Burma Plate
Somali Plate
11
Ninety East-Sumatra Orogeny
Australian Plate
59


Eurasia (EU)
11
13
Alps
Anatolia
21
AT
Persia - Tibet - Burma
AS
37
Aegean Sea
15
36
India (IN)
Arabia (AR)
(AF)
26
Burma
46
6


CASPIAN SEA
anticline axis
syncline axis
thrust fault
strike-slip fault
"Infracambrian" salt basin
Precambrian
ZAGROS DEFORMATIONAL FRONT
CENTRAL IRANIAN PLATE
MAIN ZAGROS SUTURE
MEDITERRANEAN SEA
DEAD SEA TRANSFORM FAULT
NORTH GULF SALT BASIN
ARABIAN PLATE
ARABIAN SHIELD
MAQALAH ant.
KHURAIS-BURGAN ant.
GHAWAR ant.
SOUTH GULF SALT BASIN
QATAR ARCH
MAKRAN FOLD BELT
INDIAN PLATE
GULF OF OMAN
DIBBA TRANSFORM FAULT
RUB AL KHALI BASIN
ARA SALT
HUQF ARCH
TRANSFORM
MASIRAH
OWEN
TRANSFORM FAULT
INDIAN OCEAN
RED SEA
RIFT
GULF OF ADEN RIFT
SHEBA RIDGE
CARLSBERG RIDGE
500 km


Extensional
Compressional
Transform



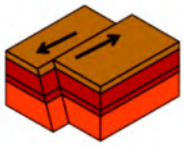
شکل (۱-۱۱): حالات تکتونیک‌های صفحه‌ای

ب- زمین‌لرزه‌های آتشفشانی[1]

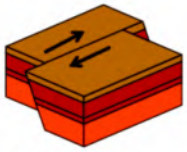
پ- زمین‌لرزه‌های القایی

[1] *Volcanic Earthquakes*

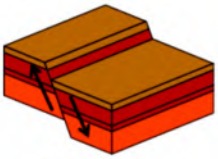
Types of Faults



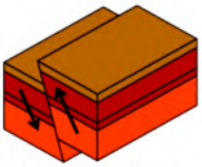
Strike slip
(left lateral)



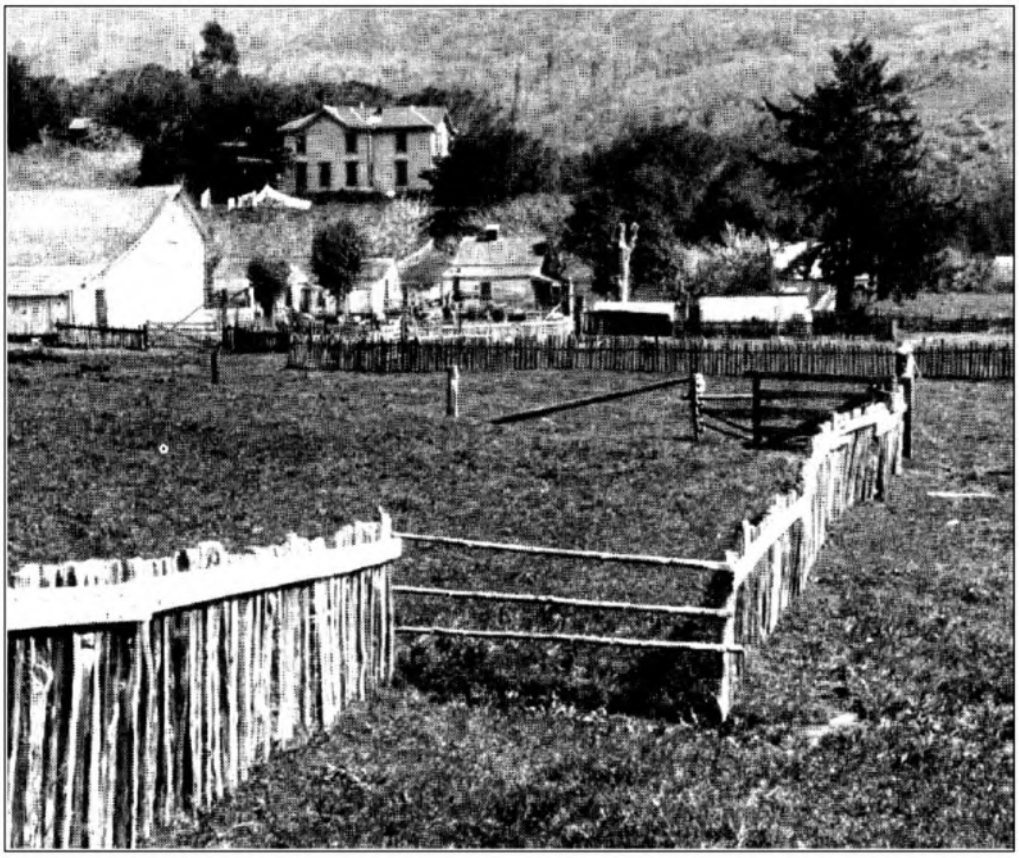
Strike slip
(right lateral)



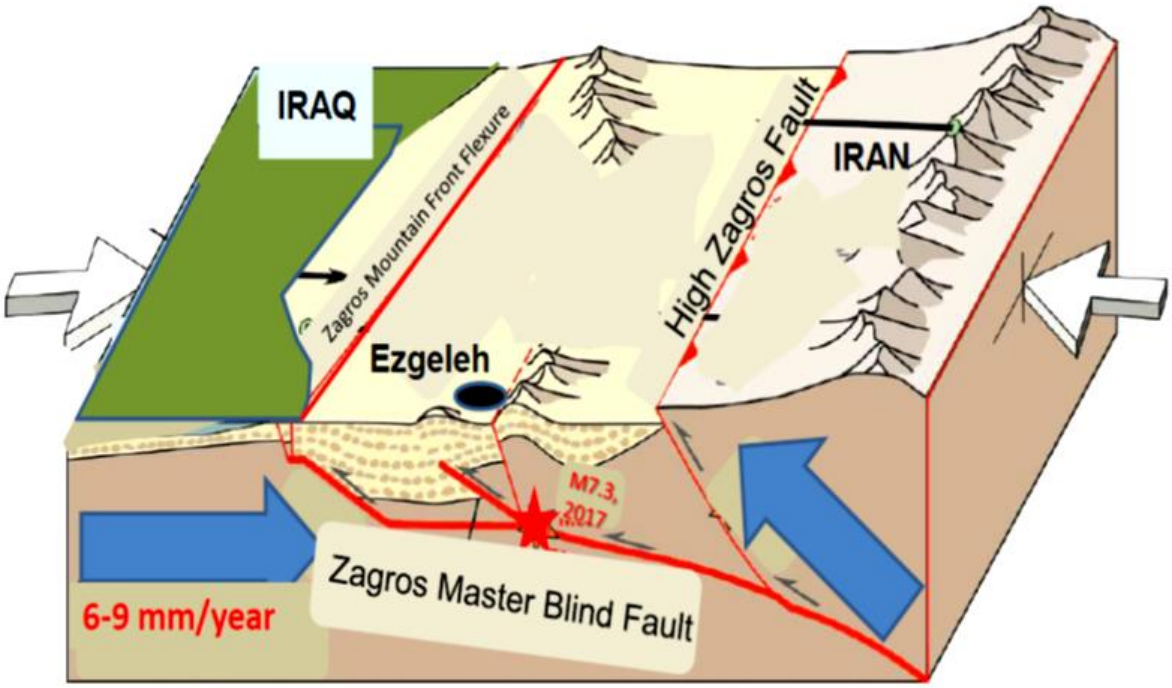
Normal



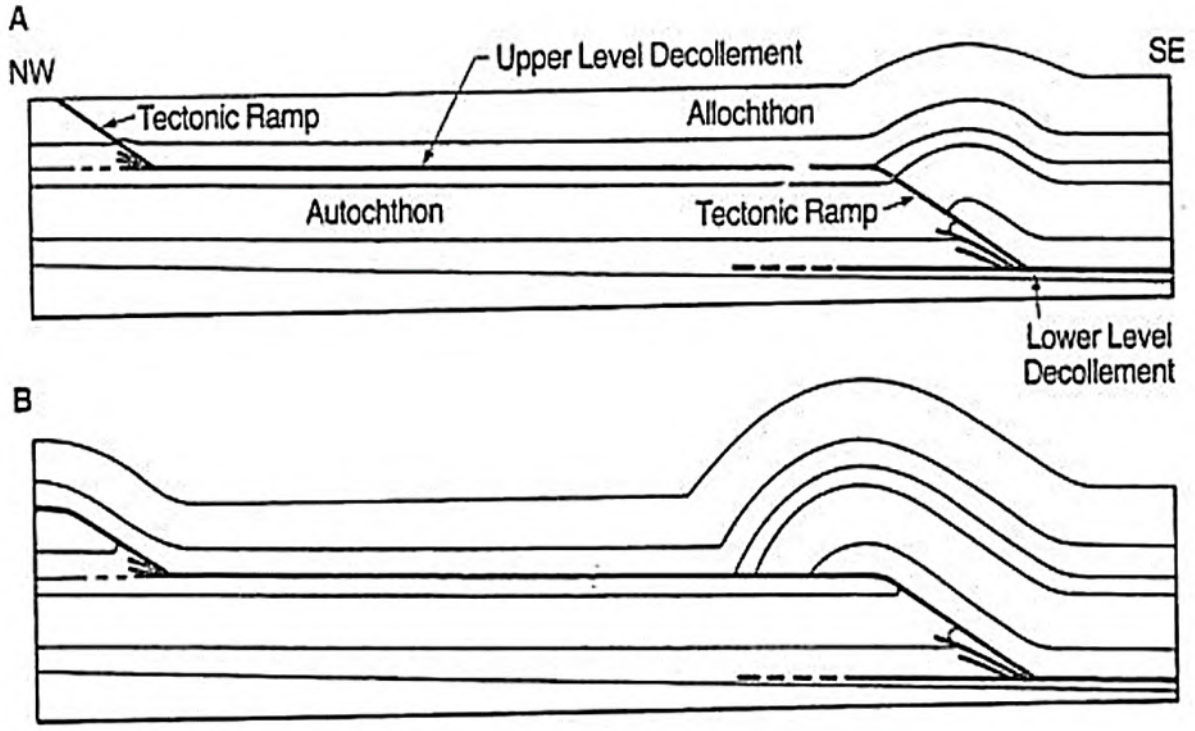
Reverse (thrust)

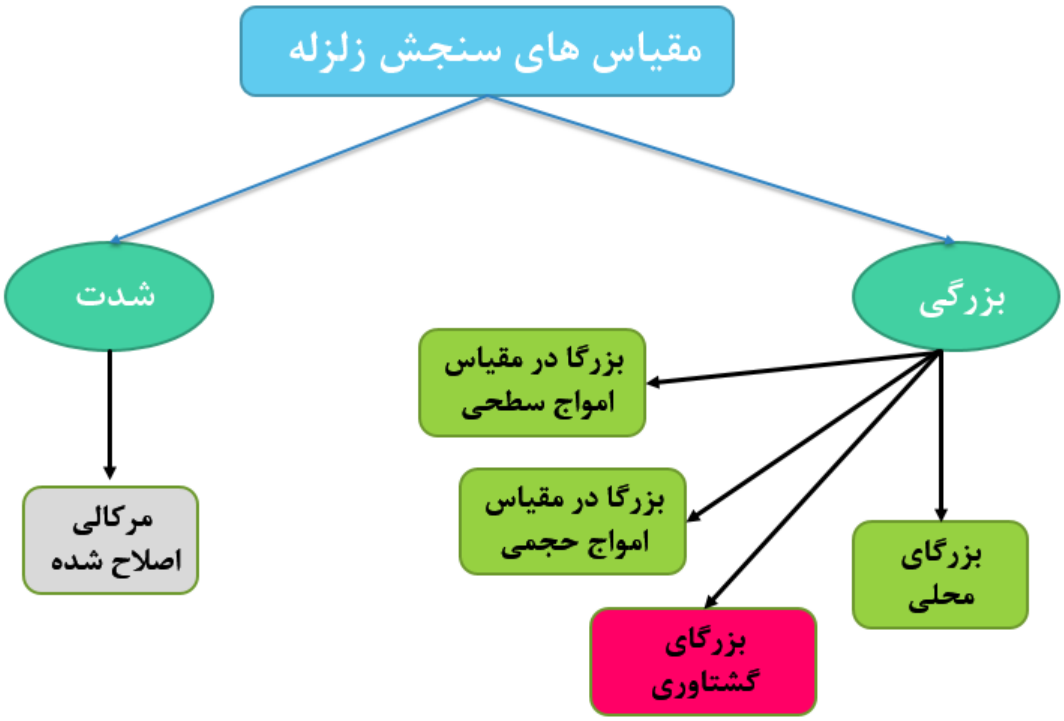


شکل (۱-۱۲): گسل‌های استان کرمانشاه

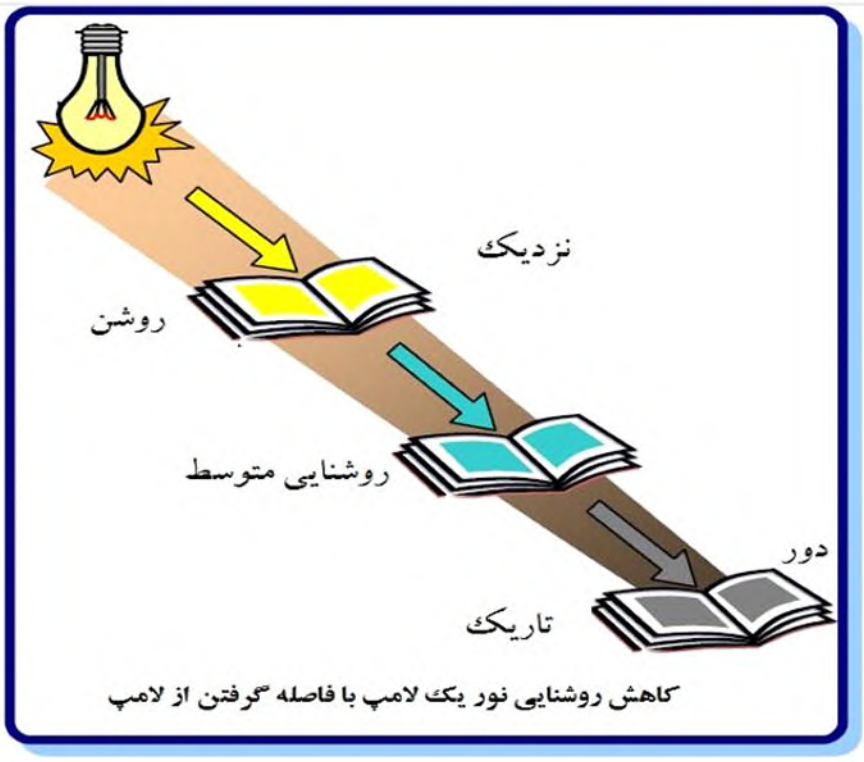


A Simplified cartoon for Thrust faulting during **12 November 2017 Ezgeleh, Sar-e Pole Zahab, Kermanshah, Zagros, Iran Mw7.3 Earthquake**
Interpreted by: **M. ZARE**, 20 Nov 2017


A
NW
SE
Upper Level Decollement
Tectonic Ramp
Allochthon
Autochthon
Tectonic Ramp
Lower Level
Decollement
B

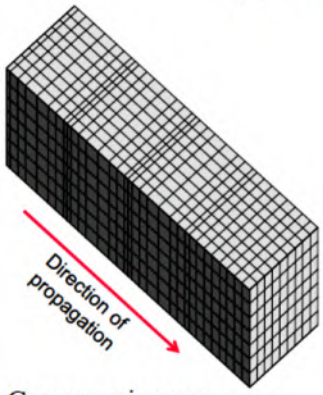

مقیاس های سنجش زلزله
شدت
بزرگی
مرکالی
اصلاح شده
بزرگا در مقیاس
امواج سطحی
بزرگا در مقیاس
امواج حجمی
بزرگای
محلی
بزرگای
گشتاوری

تعبیر شدت و بزرگا

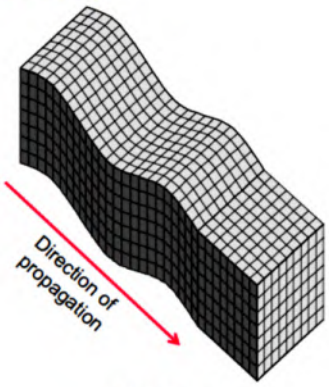


کاهش روشنایی نور یک لامپ با فاصله گرفتن از لامپ

Seismic Wave Forms (Body Waves)

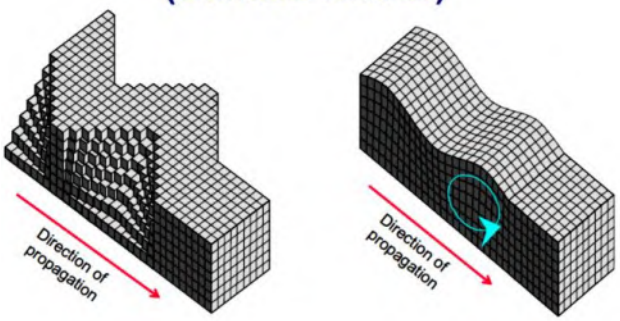


Compression wave
(P wave)



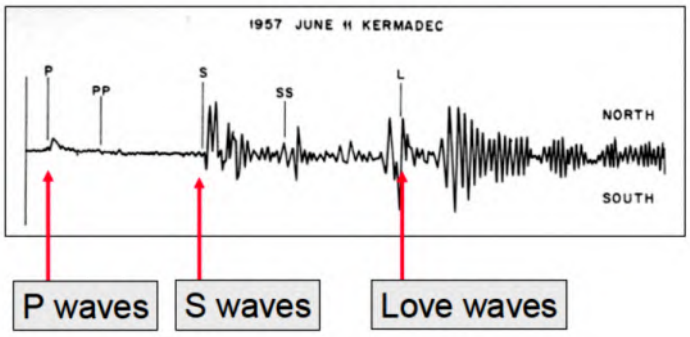
Shear wave
(S wave)

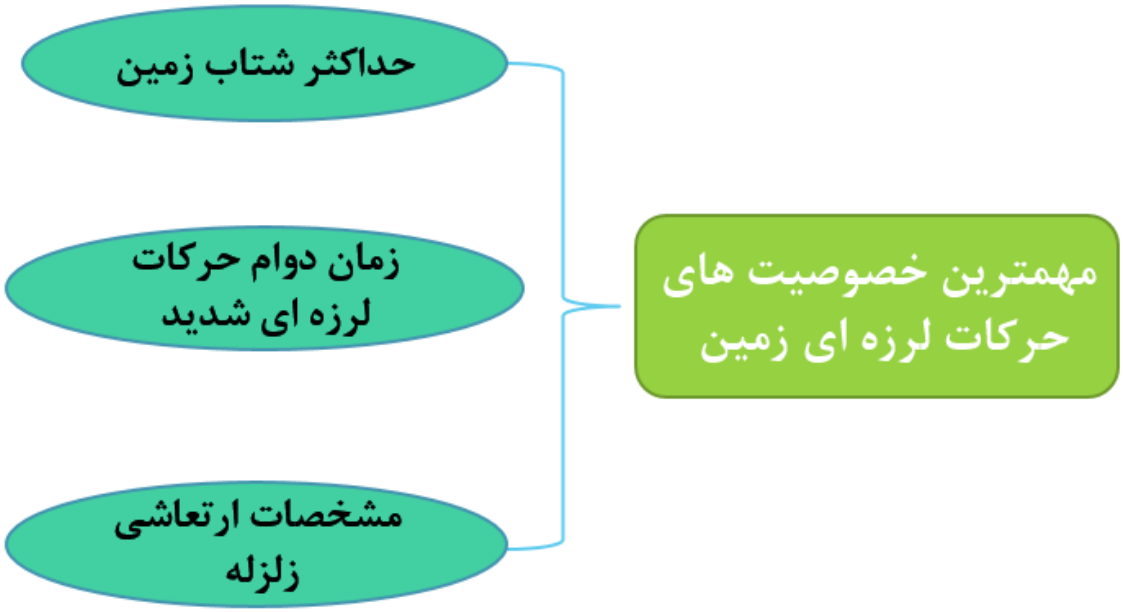
Seismic Wave Forms (Surface Waves)



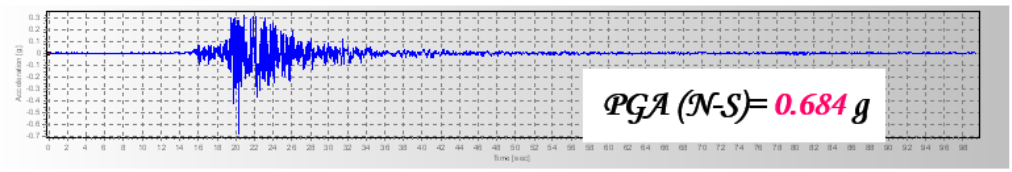
Love wave Rayleigh wave

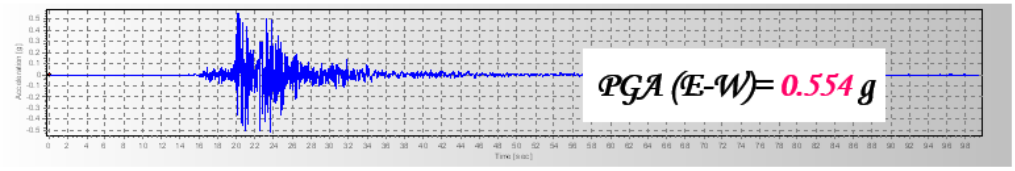
Arrival of Seismic Waves

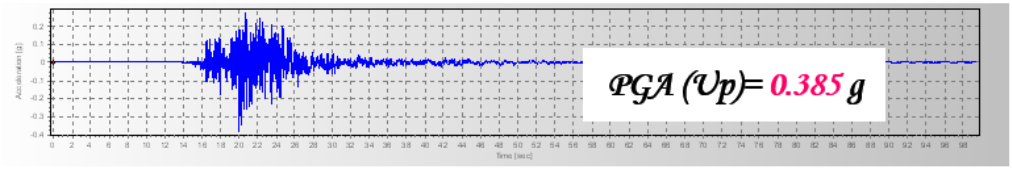




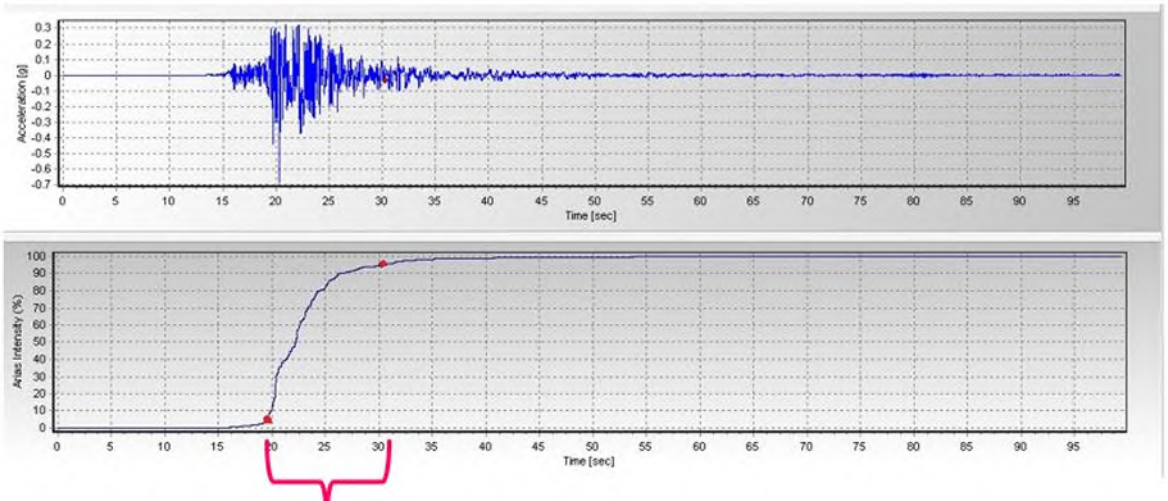
حداکثر شتاب زمین لرزه ۷/۳ ریشتری







زمان دوام حرکت شدید زلزله ۷/۳ ریشتری



11 sec

پیامدهای ناشی از زمین لرزه

۱- تکان های شدید زمین

۲- زمین لغزش، ریزش سنگ و نشست

۳- سونامی

۴- روانگرایی

Result of Ground Shaking, 1994 Earthquake in Northridge, California

شکل (۱-۱۳): خرابی ساختمان‌ها در اثر تکان‌های شدید زمین

Landslide on Coastal Bluff,
1989 Earthquake in Loma Prieta, California

شکل (۱-۱۴): زمین لغزش (رانش زمین)

زمین لغزش مله کبود در زلزله ۱۳۹۶ ازگله

در اثر این زمینلرزه زمینلغزش های متعددی در منطقه رخ داده اند. مهمترین و بزرگترین لغزش احتمالا در مله (Meleh) کبود در ۵ کیلومتری شمال سرپل ذهاب رخ داده که حدود ۵ کیلومتر پهنا و حدود ۲ کیلومتر طول (در مسیر لغزش در دامنه کوه به سوی غرب) حجم عظیمی سنک و خاک و واریزه و مواد دامنه ای جابه جا شده اند. روستای مله کبود درست در پای پنجه این لغزش قرار گرفته ولی ظاهرا آسیب جدی ناشی از ایجاد ترک و گسیختگی مربوط به لغزش ندید.

رومرکز زلزله کرمانشاه - سرپل ذهاب
Bezmir Abad
Sarab Zahab
Ghalee Bahadori
Ramakıramazan
نوار گسیختگی در شرق روستای ملا کبود
Mela Kabod
Sarablah
Nava Fera
Piran
Zhalagah

پیامدهای ناشی از زمین لرزه

۴- روانگرایی

۶-۲-۱ روانگرایی

کاهش مقاومت و یا سختی برشی خاک به‌دلیل افزایش فشار آب منفذی ناشی از زلزله در خاک‌های ماسه‌ای اشباع که باعث ایجاد تغییر شکل‌های دائمی مهم یا ایجاد شرایطی نزدیک به تنش مؤثر صفر در خاک می‌شود، به عنوان روانگرایی شناخته می‌شود.

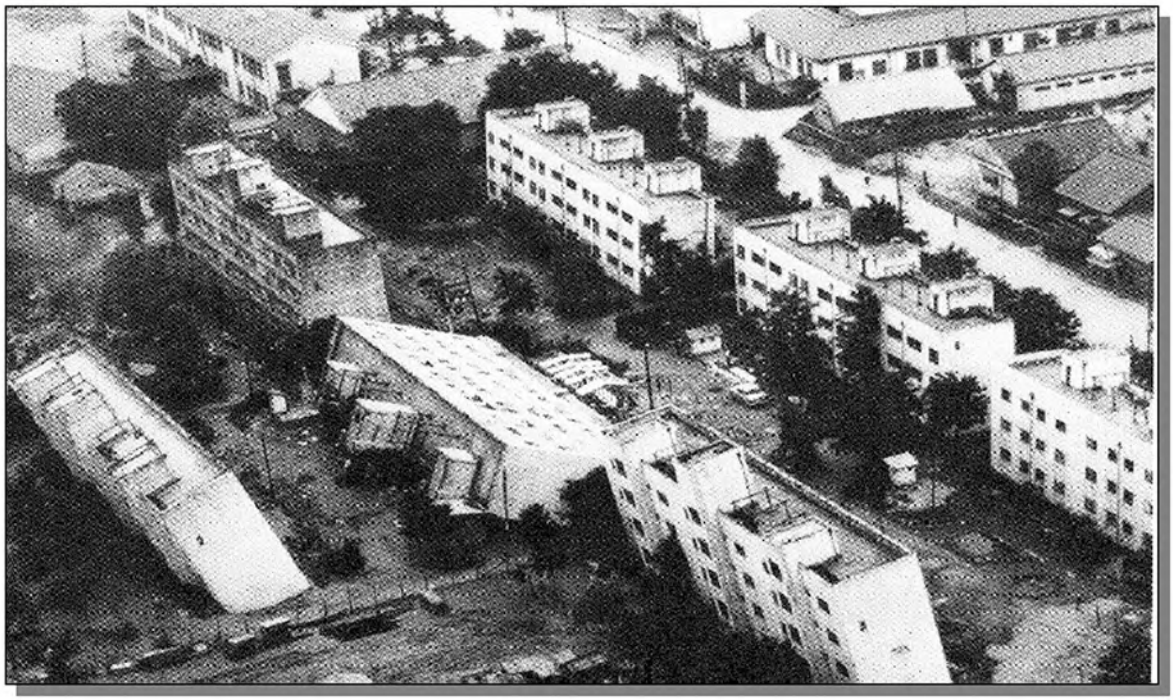
زمین‌هایی که حداقل دارای یکی از شرایط زیر باشند، مستعد روانگرایی تشخیص داده می‌شوند و لازم است مطالعه خاص آن زمین انجام شود:

الف- سابقه روانگرایی در آنها وجود داشته باشد.

ب- زمین‌هایی که از نوع خاک ماسه‌ای با تراکم کم، اعم از تمیز، یا رس‌دار با مقدار رس کمتر از ۲۰ درصد، یا دارای لای و یا شن بوده و تراز سطح آب زیرزمینی در آنها نسبت به سطح زمین کمتر از حدود ۱۰ متر باشد.

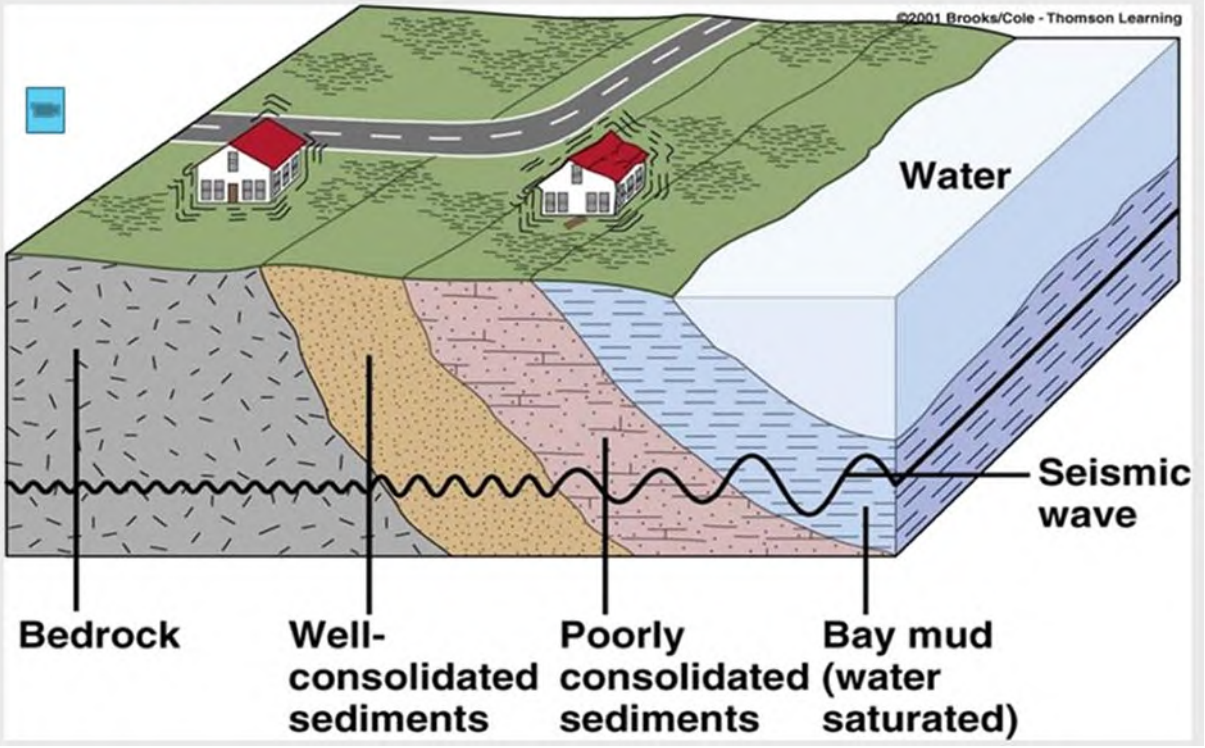
ج- منحنی دانه‌بندی خاک داخل محدوده مستعد روانگرایی باشد.

Liquefaction Damage, Niigata, Japan, 1964



Liquefaction and Lateral Spreading, 1993 Earthquake in Kobe, Japan

تأثیر نوع خاک بر تقویت امواج زمین لرزه



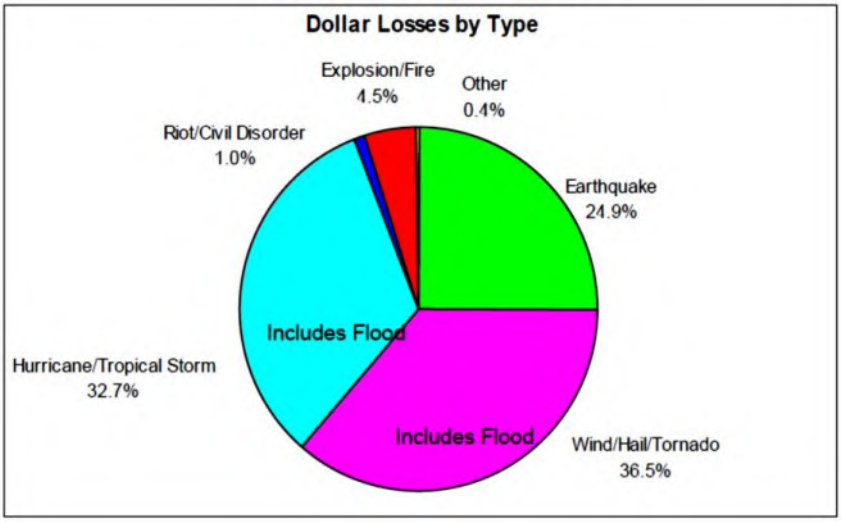
Mitigation Strategies

Earthquake effect	Strategy
Fault rupture	Avoid
Tsunami/seiche	Avoid
Landslide	Avoid
Liquefaction	Avoid/resist
Ground shaking	**Resist**

هدف از مطالعه‌ی لرزه‌ای

- به حداقل رساندن صدمات و مرگ و میر انسانی
- به حداقل رساندن صدمات اقتصادی
- حفظ شریان‌های حیاتی

A Significant Portion of Dollar Loss Due to Earthquake



1971 San Fernando Valley Earthquake

"Soft story" failure of the Olive View Hospital. The column failure caused a collapse that pinned the ambulances under the rubble, rendering them useless.

1989 Earthquake in Loma Prieta, California

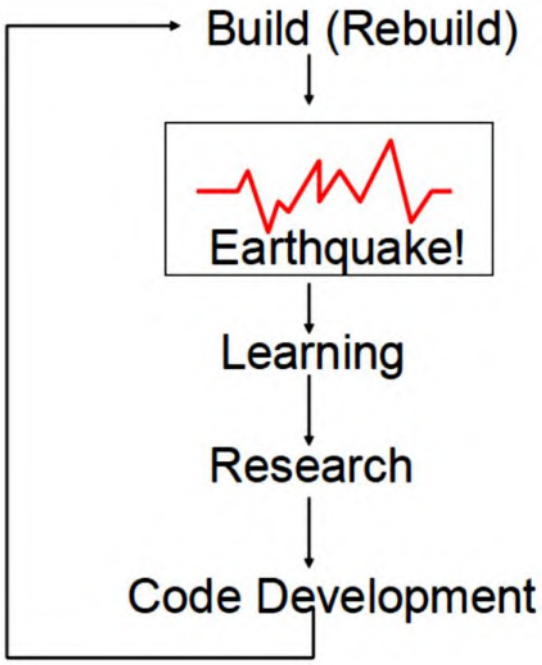
Oakland Bay Bridge failure.

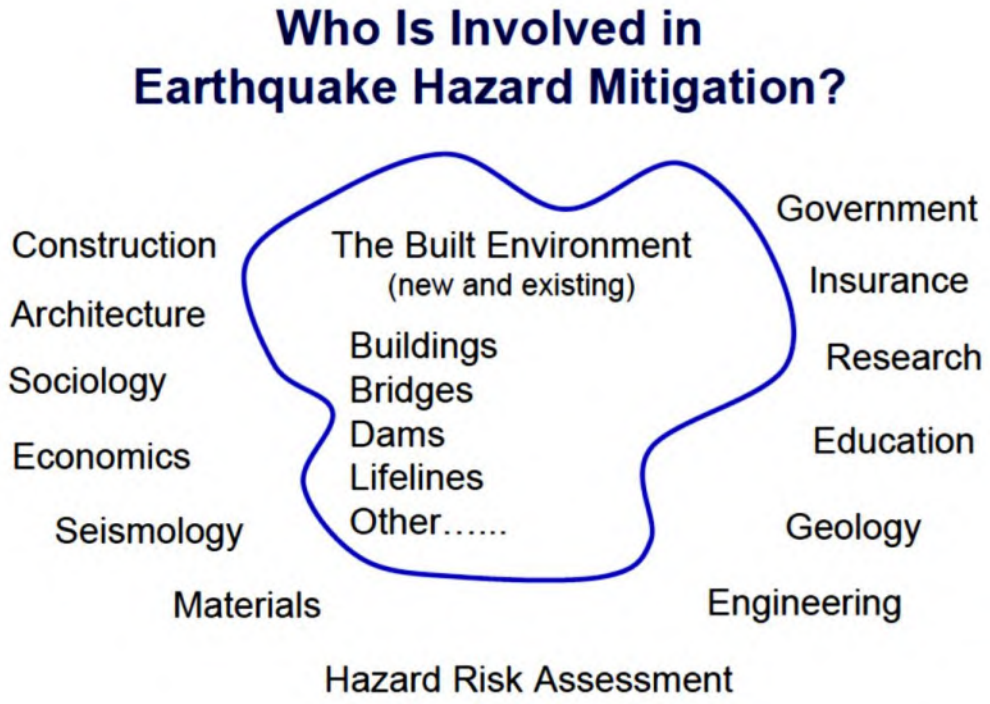
1994 Earthquake in Northridge, California

Bull Creek Canyon Channel Bridge on the Simi Valley freeway near the epicenter to the north. Shear failure of a flared column.

1994 Northridge Earthquake
Gavin Canyon Undercrossing on I-5

Typical Cycle





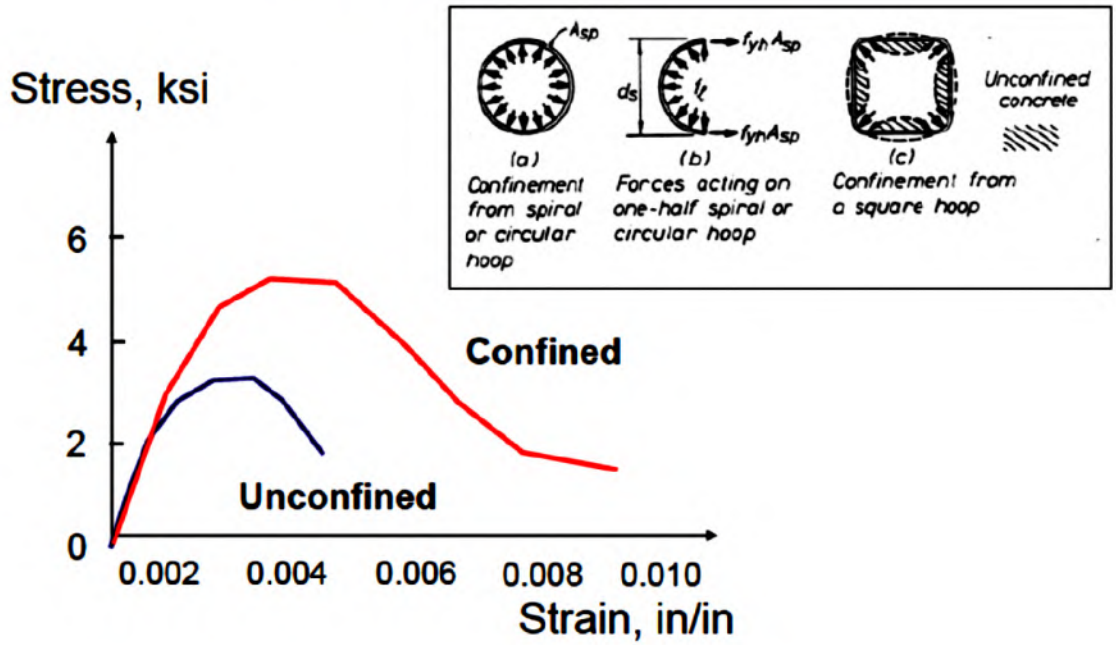
پ- جنس مصالح (مشخصات مکانیکی)

میزان مقاومت و همچنین رفتار سازه تحت اثر بارهای اعمالی ارتباط مستقیم با جنس مصالح خواهد داشت. به عنوان مثال چوب ماده‌ای است که قابلیت مقاومت در برابر نیروهای کششی و فشاری را دارد و عناصر افقی که لازم است، در برابر هر دو نیروی فشاری و کششی مقاومت داشته باشند، می‌توانند از چوب ساخته شوند. اما سنگ، تنها در برابر نیروهای فشاری استقامت دارد. عناصر افقی سنگی فقط در صورت محدودیت طول دهانه و تقویت می‌توانند روی عناصر عمودی سنگین مانند ستونها یا پایه‌ها قرار گیرند، از اینرو استفاده از عناصر افقی سنگی در چنان شرایطی صحیح نیست. از طرف دیگر کلیساهای سبک گوتیک با دهانه‌های وسیع و وسعت صدها متر مربع برای جمعیت عبادت‌کننده با استفاده از طاق و سازه منحنی شکل، که نیروی کششی در آن ایجاد نمی-شود، ساخته شده‌اند. بنابراین سنگ ماده مناسبی برای سازه ساختمان‌های گنبدی و طاقدار می-باشد. کلیساهای گوتیک هم حسِ زیبایی خواهی انسان و هم احساسِ مقاومت سازه‌ای او را ارضاء می‌کنند، شکل (۱-۱۵).

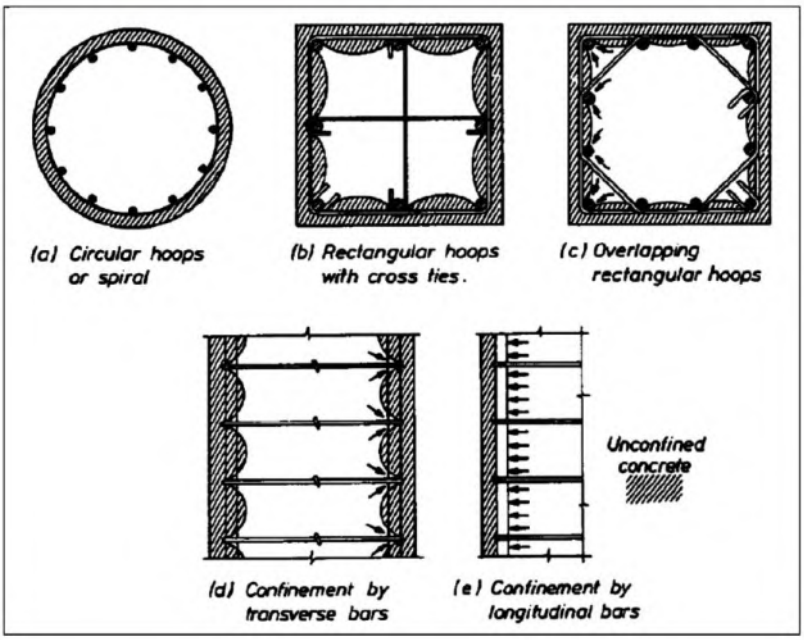
شکل (۱-۱۵): سبک گوتیک

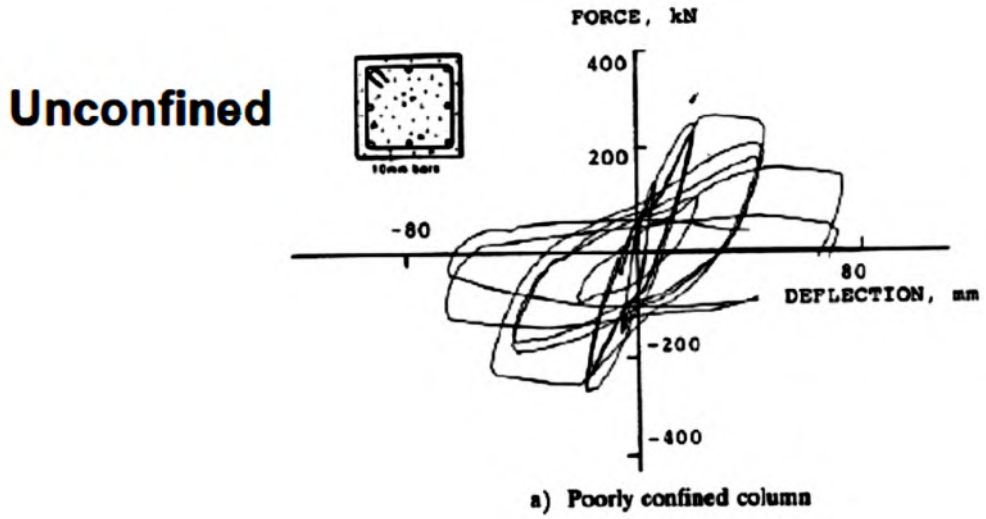
مصالح پرکاربردی مانند فولاد، هم از لحاظ کششی مناسب بوده و هم از لحاظ فشاری (در صورت عدم لاغر بودن و بروز پدیده کمانش)، بعلاوه فولاد جز مصالح شکل‌پذیر بوده و قابلیت جذب انرژی بالایی دارد. در حالیکه بتن تنها در مقابل فشار مقاوم بوده و برای تقویت آن در مقابل کشش، از تعبیه آرماتورهای فولادی استفاده می‌گردد، اما ماهیت بتن ترد بوده و به تنهایی شکل‌پذیری بالایی ندارد. اما با تعبیه آرماتورهای طولی و عرضی، محصور سازی مقطع و ... می توان شکل‌پذیری اعضای بتنی را نیز بالا برد.

Stress-Strain Relationships for Concrete
(Unconfined and Confined)

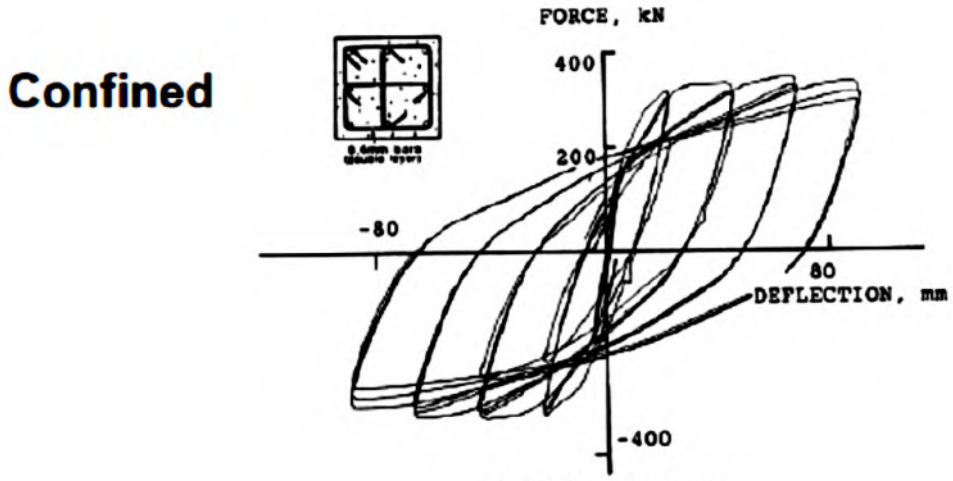


Concrete Confinement





a) Poorly confined column



b) Well confined column

۱-۸- مفهوم تعادل

مفهوم تعادل بدین معناست که برآیند نیروهای وارد بر سازه می‌باید برابر صفر باشد.

سازه : سرعت = صفر ⇐ تعادل ساکن

سرعت = ثابت ⇐ تعادل متحرک با سرعت ثابت

∑F=0→ حرکت انتقالی نداشته باشد

- ∑Fx = 0
- ∑Fy = 0
- ∑Fz = 0

∑Fm = 0 → دوران نداشته باشد

- ∑mx =0
- ∑my = 0
- ∑mz = 0

۱-۹- تحلیل سازه چیست؟

تحلیل سازه علمی است که عمل نیروها را روی مجموعه‌های ساختمانی بررسی می‌نماید. به عبارت دیگر، تأثیر و نحوه‌ی انتقال نیروهای مؤثر به سازه‌ها که توسط اجزای سازه از نقاط تأثیر به تکیه-گاه‌ها هدایت می‌گردند، توسط علمی که تحلیل سازه[1] نامیده می‌شود مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. مسأله مهم در طراحی سازه‌ها تشخیص فرم، انتخاب نوع و سیستم سازه‌ها با توجه به محدودیت‌های مختلف و شرایط محیط می‌باشد تا سازه‌ای امن، اقتصادی و همچنین زیبا به وجود آید.

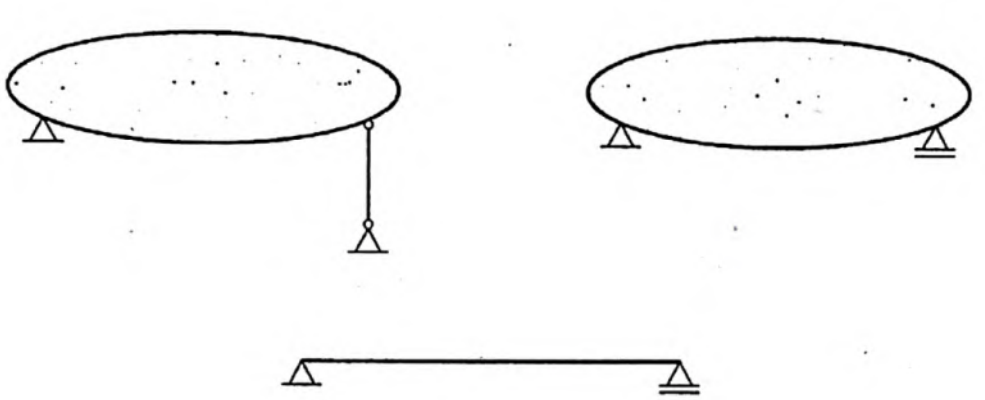
۱-۱۰- هدف از تحلیل سازه‌ها

- **بررسی پایداری سازه**
- **تعیین واکنش‌های تکیه‌گاهی**
- **تعیین نیروهای داخلی**

1 . Structural analysis

۱-۱۱- پایداری سازه‌ها

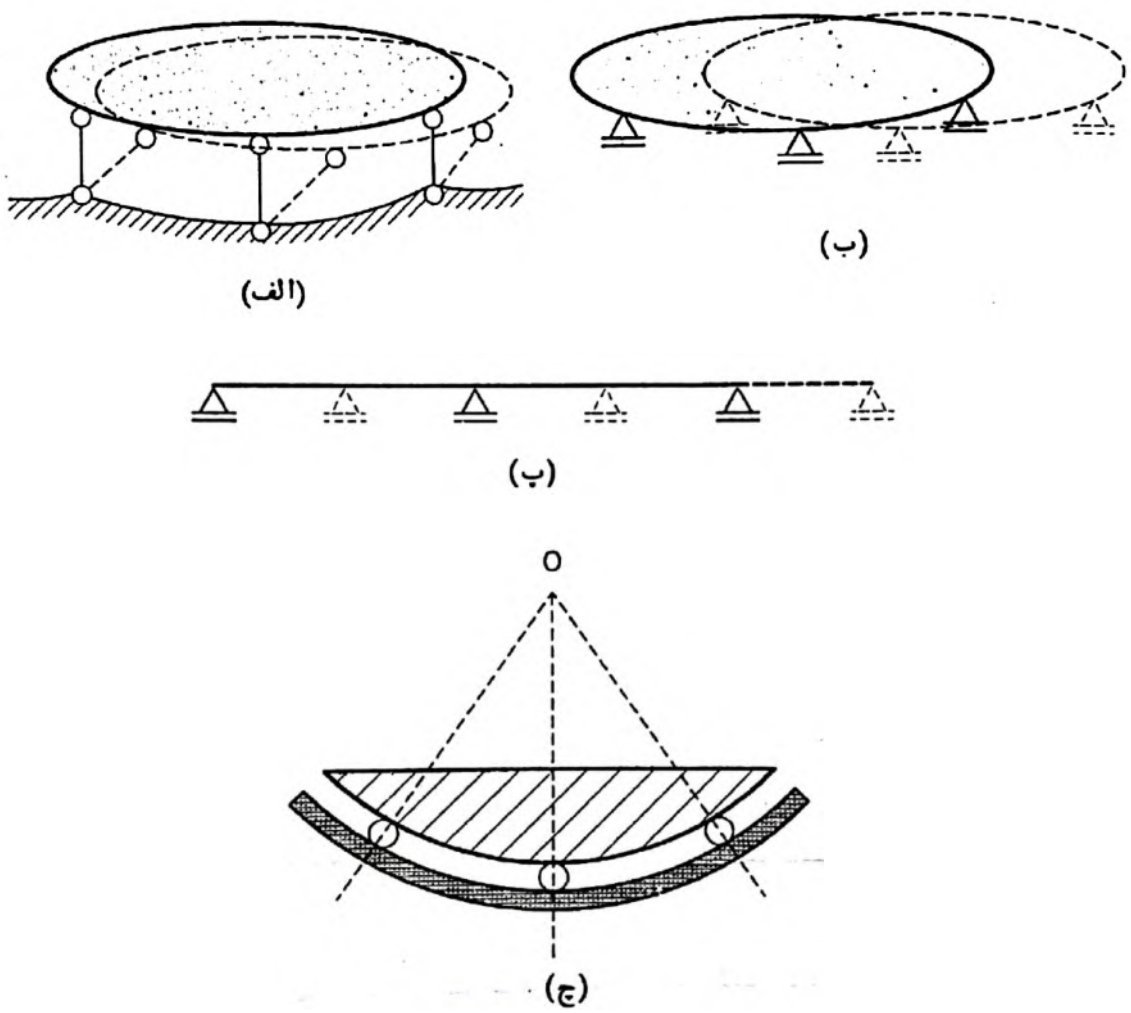
ساده‌ترین نحوه‌ی تثبیت (پایدار نمودن) یک سازه‌ی صفحه‌ای صلب، توسط یک تکیه‌گاه لولایی و یک تکیه‌گاه ساده صورت می‌گیرد، زیرا هر گاه جسم صلبی به تکیه‌گاه لولایی متصل باشد فقط حول محور تکیه‌گاه می‌تواند دارای حرکت دورانی باشد. حال چنانچه یک تکیه‌گاه ساده نیز تعبیه نماییم جسم دارای هیچ گونه حرکتی نخواهد بود و در نتیجه سازه کلاً پایدار خواهد بود.



شکل (۱-۱۶): حداقل شرایط مورد نیاز برای پایداری

از بحث فوق نتیجه می‌شود که حداقل سه مؤلفه‌ی واکنش تکیه‌گاهی برای پایداری خارجی سازه‌ی صفحه‌ای که از نظر داخلی پایدار می‌باشد، لازم است. در اینجا باید متذکر گردد که شرط فوق یک شرط لازم است لیکن کافی نیست، زیرا ممکن است سازه‌ای که از نظر داخلی پایدار می‌باشد دارای سه مؤلفه‌ی واکنش تکیه‌گاهی و یا حتی بیش از سه مؤلفه‌ی واکنش تکیه‌گاهی باشد و با وجود این هنوز ناپایدار باشد. این وضع هنگامی پیش می‌آید که مؤلفه‌های واکنش تکیه‌گاهی با هم موازی و یا در یک نقطه متقاطع باشند.

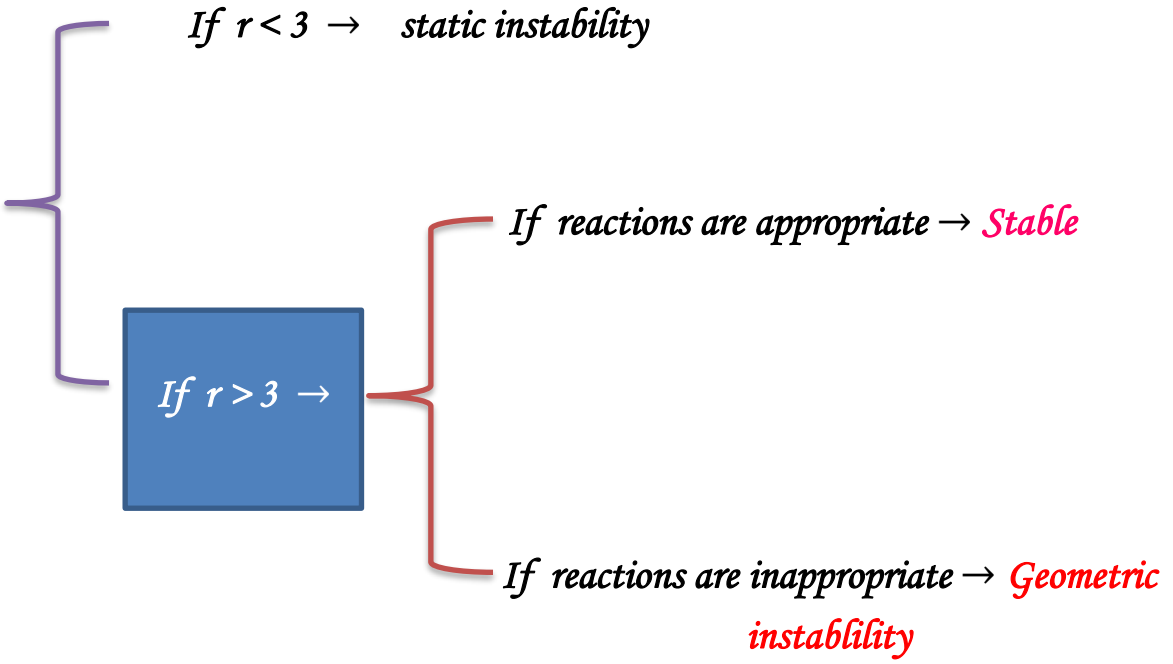
سازه‌های نشان داده شده در شکل (۱-۱۷) به دلیل موازی بودن نیروهای واکنش تکیه‌گاهی و یا متقارب بودن آنها، ناپایدار می‌باشند، زیرا همانطور که ملاحظه می‌شود هیچ عاملی از حرکت جسم صلب در امتداد قائم بر مؤلفه‌های واکنش تکیه‌گاهی موازی و یا دوران (جزئی) جسم حول نقطه‌ی تلاقی مؤلفه‌های تکیه‌گاهی جلوگیری به عمل نمی‌آورد.



شکل (۱-۱۷): انواع ناپایداری هندسی

بنابراین چنین نتیجه می‌شود که ترتیب اتصال هر مجموعه‌ی پایدار داخلی به محیط تکیه‌گاهی حداقل توسط سه میله‌ی مستقیم (سه مؤلفه‌ی واکنش تکیه‌گاهی) فقط در صورتی قابل قبول و پایدار خواهد بود که امتداد سه مؤلفه‌ی واکنش تکیه‌گاهی به موازات یکدیگر نبوده و متقارب هم نباشند.

r = the number of reactions



نکته: اگر تعداد معادلات سازه‌ای بیش از تعداد مجهولات آن باشد، جسم ناپایدار استاتیکی است. اگر در سازه‌ای تعداد معادلات برابر یا کمتر از تعداد مجهولات باشد، سازه یا پایدار است یا ناپایدار، ولی اگر ناپایدار بود، ناپایداری آن از نوع هندسی است.

In 2D Trusses:

n = The number of joints

m = " " " members

r = " " " reactions

If $2n > m+r$ → instable

If $2n = m+r$ → معین و پایدار

If $2n < m+r$ → نامعین و پایدار

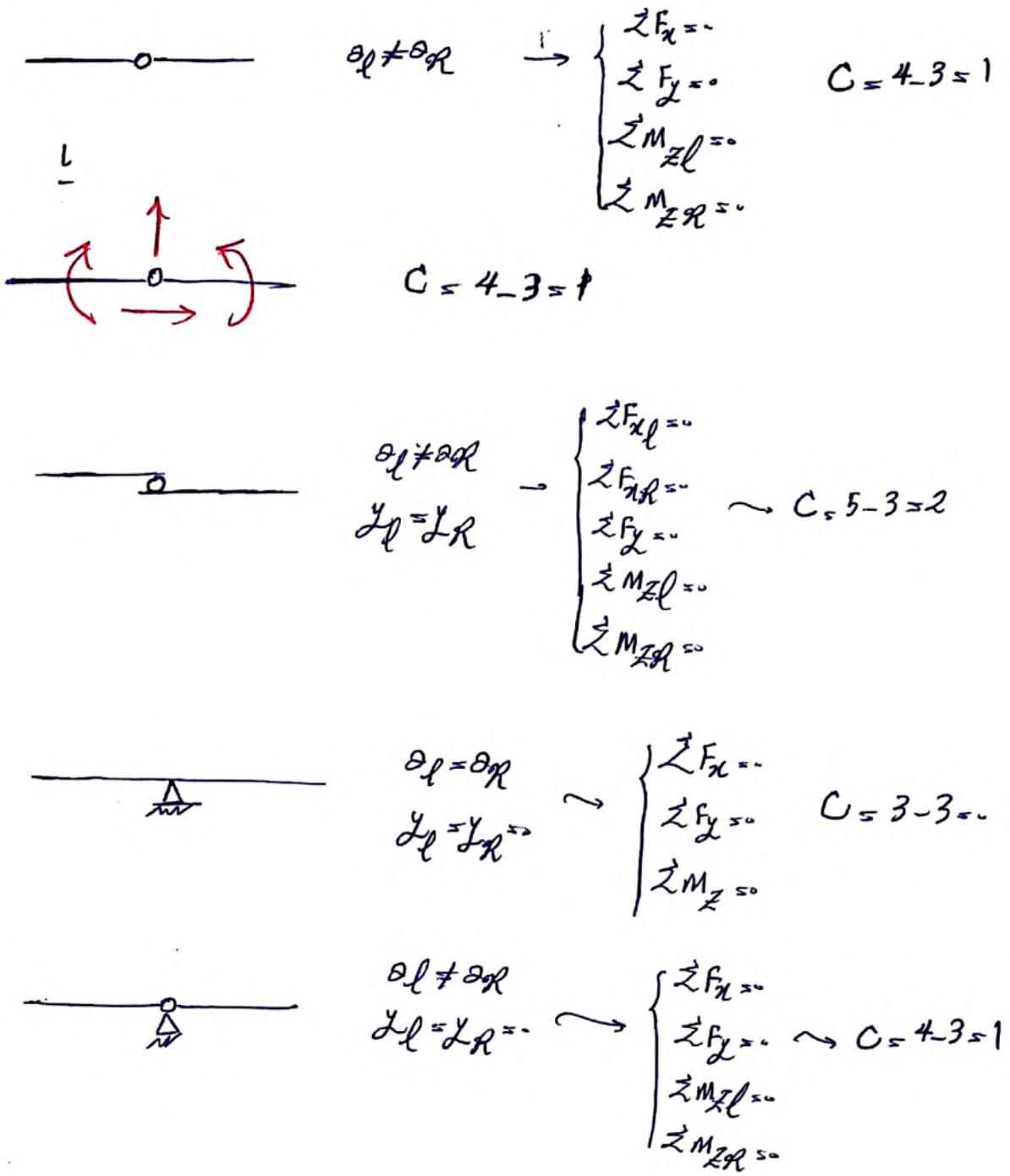
In 2D frames and beams:

C = (قطع اضافی) شرایط اضافی

If $3n+C > 3m+r$ → instable

If $3n+C = 3m+r$ → معین و پایدار

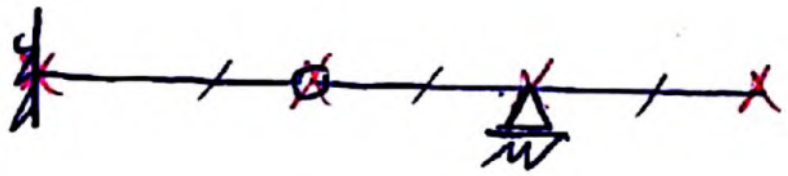
If $3n+C < 3m+r$ → نامعین و پایدار



نکته: به هنگام شمارش اعضا، قسمت طره‌ای نیز عضو محسوب می‌شود.

نکته: ابتدا و انتهای تیر نیز به عنوان گره لحاظ می‌گردد.

به عنوان مثال در شکل زیر ۳ عضو و ۴ گره وجود دارد.



۱-۱۲- معینی و نامعینی

هر گاه برای سازه‌ای بتوان واکنش‌های تکیه‌گاهی را صرفاً توسط روابط تعادل تعیین نمود، به آن سازه معین ایستایی گفته می‌شود. در غیر این صورت سازه نامعین ایستایی خواهد بود. اگر نامعینی یک سازه مربوط به تعیین واکنش‌ها باشد، می‌گوییم که آن سازه نامعین خارجی است. اگر نامعینی مربوط به نیروهای داخلی اعضا باشد، می گوییم که آن سازه نامعین داخلی است. در مواردی نامعینی هم داخلی و هم خارجی است.

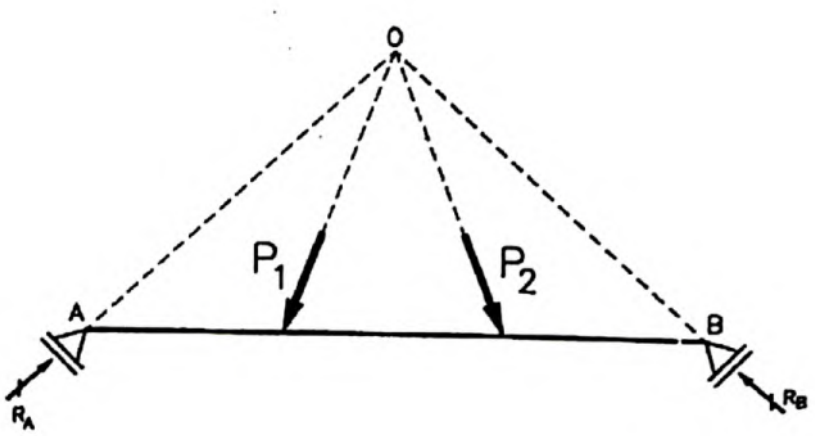
۱-۱۲- الف- نامعینی خارجی

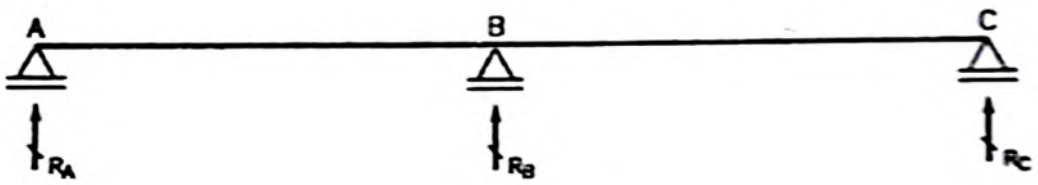
هرگاه تعداد مؤلفه‌های واکنش‌های تکیه‌گاهی یک سازه، بیش از حداقل واکنش‌های تکیه‌گاهی لازم برای ایجاد سازه‌ای پایدار باشد، آن سازه از لحاظ خارجی نامعین است. از آنجا که حداقل مؤلفه‌های واکنش‌های تکیه‌گاهی برای پایداری یک جسم صلب در صفحه مساوی ۳ می‌باشد، می‌توان گفت که در یک سازه‌ی پایدار صفحه‌ای وقتی که تعداد مؤلفه‌های واکنش‌های تکیه‌گاهی بیش از ۳ باشد، آن سازه از نظر خارجی نامعین است. اختلاف بین مؤلفه‌های تکیه‌گاهی موجود و حداقل مؤلفه‌های تکیه‌گاهی برای ایجاد سازه‌ای پایدار، درجه نامعینی نامیده می‌شود.

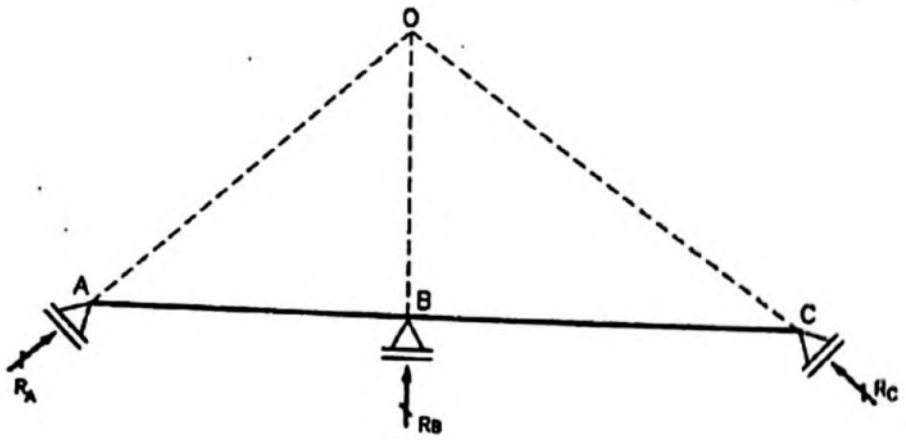
۱-۱۲- ب- نامعینی داخلی

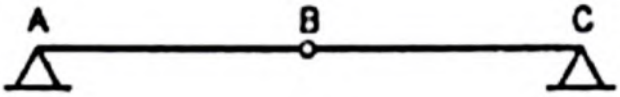
معمولاً برای بررسی نامعینی داخلی، سازه‌ها به دو دسته، سازه‌های باز و سازه‌های حلقوی یا مسدود طبقه‌بندی می‌شوند. به طور کلی بحث معینی و نامعینی داخلی برای سازه‌های باز بی معنی است. اما در سازه‌های حلقوی یا بسته شامل خرپاها و قاب‌ها، به ازای هر کادر بسته، سازه از لحاظ داخلی سه درجه نامعین خواهد بود.

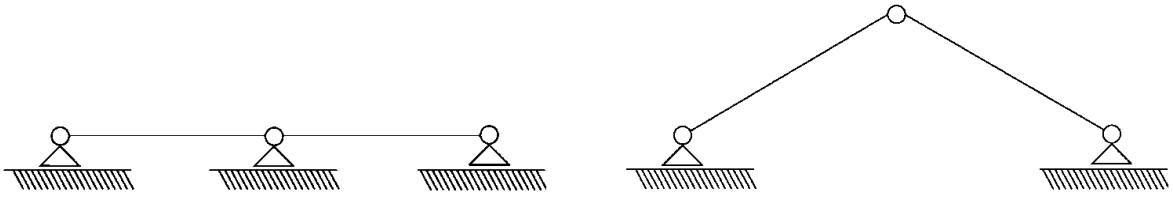
مثال ۱-۱- مطلوبست بررسی پایداری و ناپایداری، معینی و نامعینی در سازه‌های زیر؟

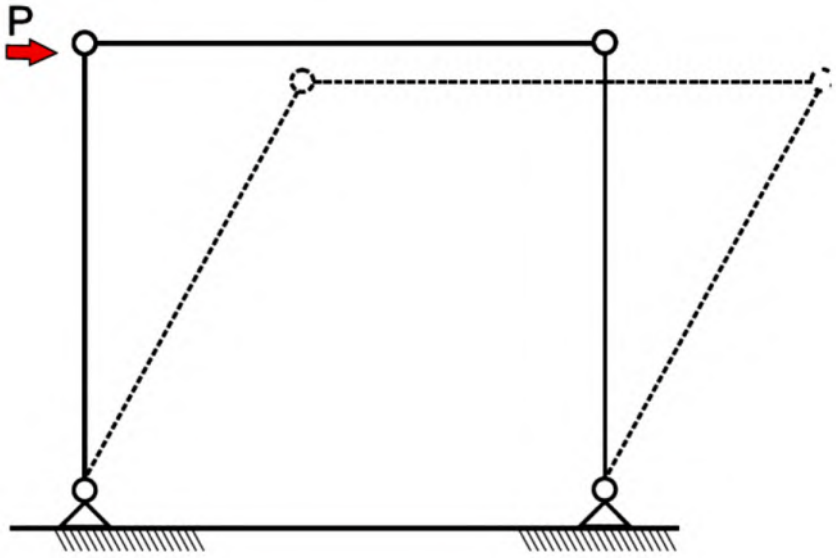


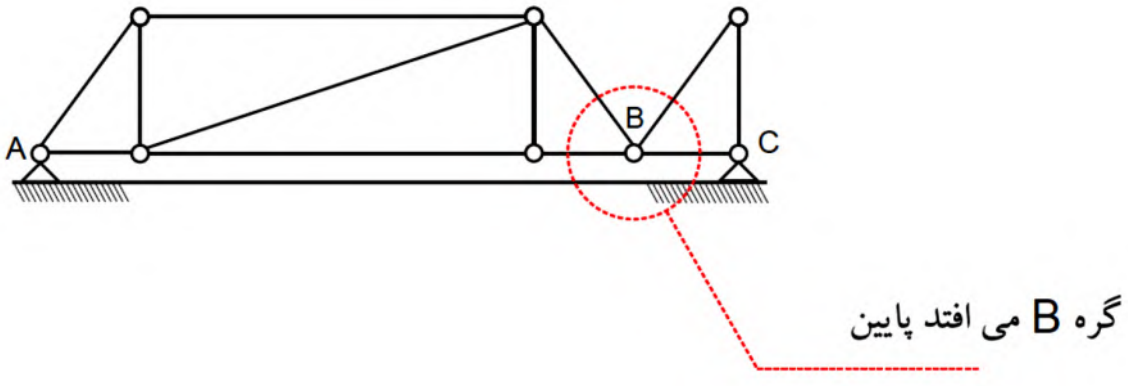





A
B
C




P


A
B
C
گره B می افتد پایین

فصل دوم:

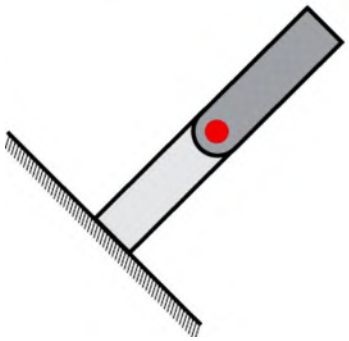
سیستم‌های رایج سازه‌ای

۲-۱- انواع اتصالات

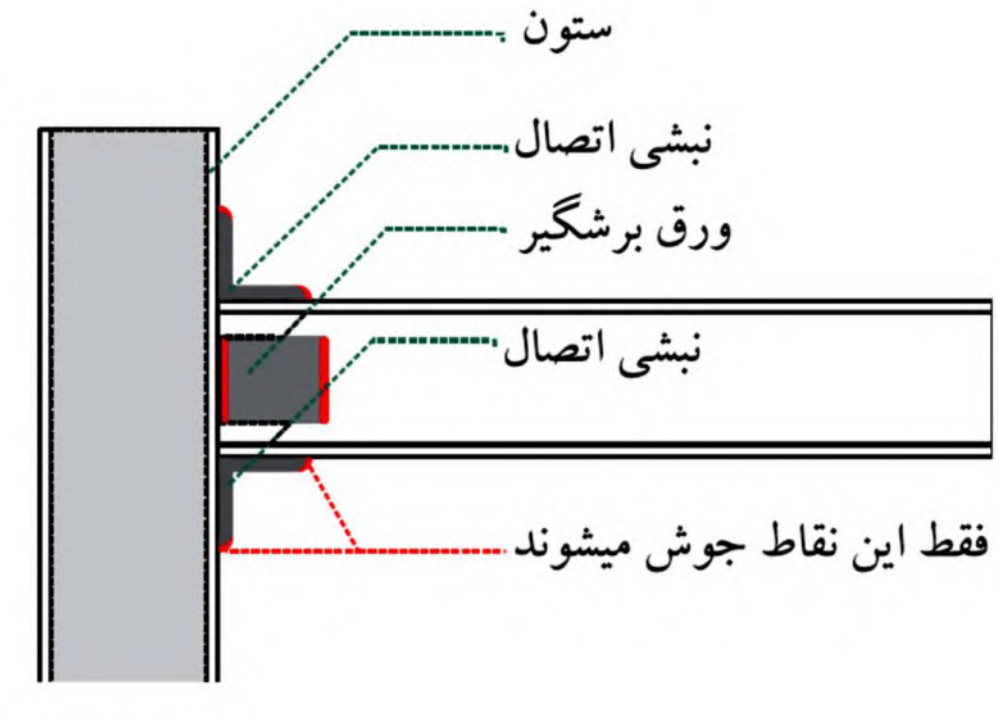
اتصال
- ساده یا مفصلی
- گیر دار یا صلب

اتصال ساده : تیر و ستون نسبت به هم آزادانه دوران کنند مثل قیچی .(در سازه های ساختمانی).

در سازه های غیر ساختمانی : لولای کامل اجرا می کنیم .

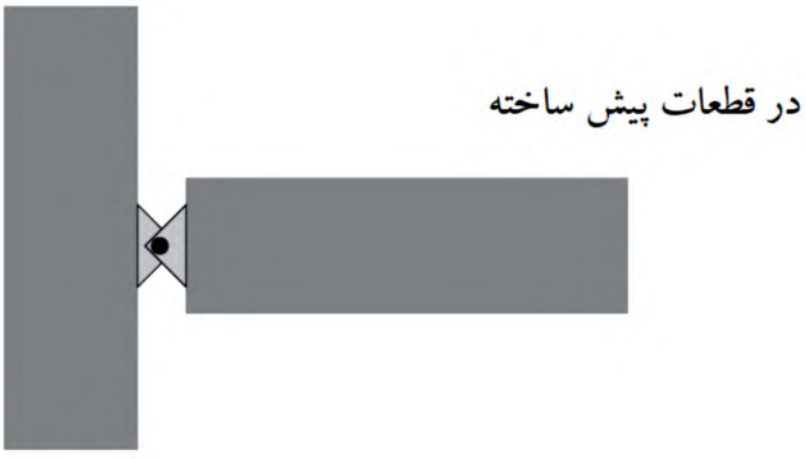


در ساختمان‌های فولادی :

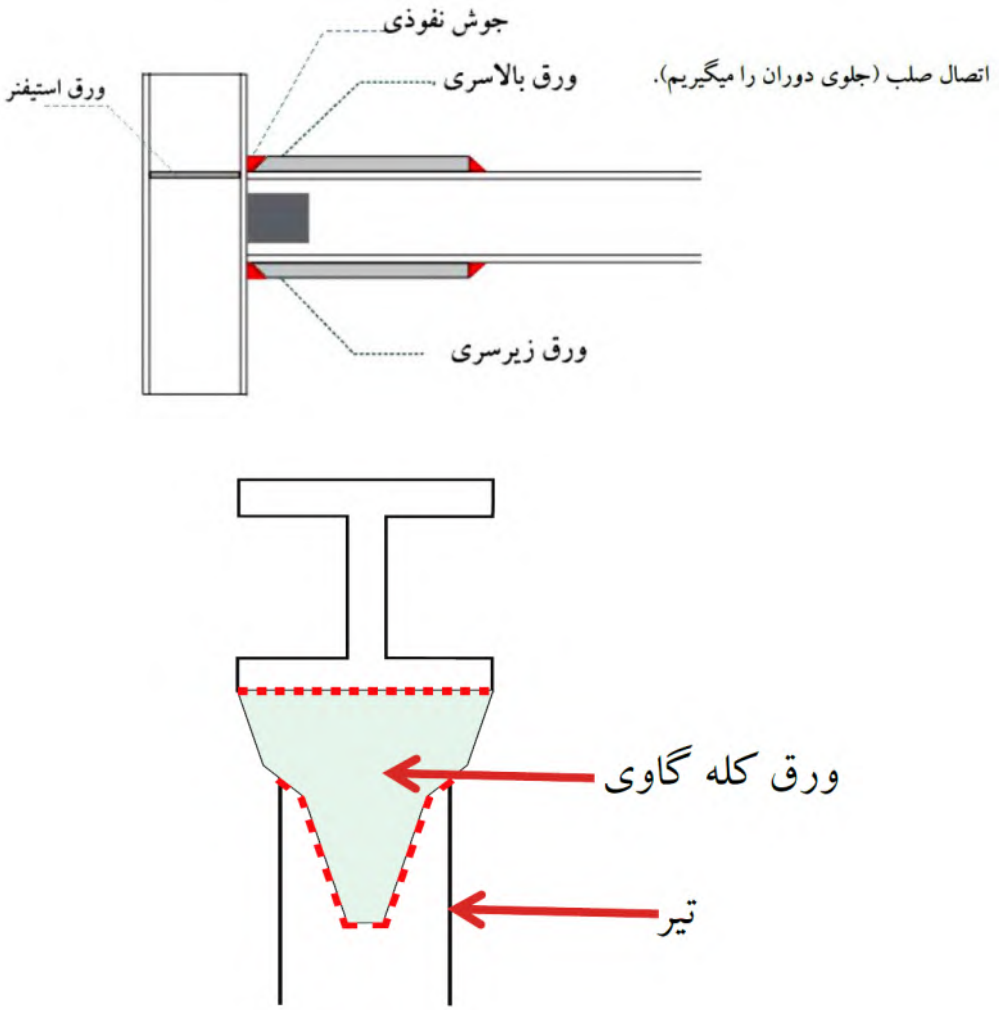


شکل (۲-۱): نوعی از اتصال مفصلی تیر به ستون

در قاب های بتن آرمه :

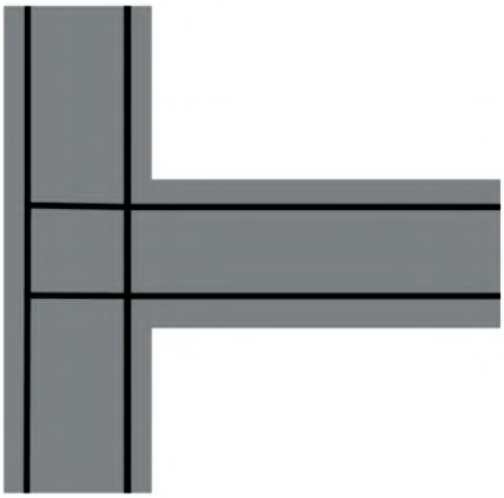


شکل (۲-۲): نوعی از اتصال مفصلی تیر بتنی به ستون بتنی



شکل (۲-۳): نوعی از اتصال گیردار تیر به ستون در سازه فولادی

در سازه‌های بتنی:



شکل (۲-۴): اتصال گیردار تیر به ستون در سازه بتنی

۲-۲- معرفی انواع سیستم‌های باربر

بارهای اصلی وارد بر ساختمان شامل **بارهای قائم** (مرده، زنده و .....)، و **بارهای جانبی** (باد یا زلزله یا .....) می‌باشند. البته ممکن است بر سازه سایر بارها نظیر فشار جانبی خاک، مایعات و یا اثرهای تغییر دما و غیره وارد شود، لیکن در غالب سازه‌ها و مخصوصاً در ساختمان‌های معمولی نقش عمده‌ای را ایفا نمی‌کنند. بنابراین می‌توان گفت هر ساختمان متشکل از مجموعه‌ای از عناصر باربر قائم و جانبی است.

۲-۲-۱- عناصر باربر قائم

در کامل‌ترین حالت، چهار عنصر باربر قائم در ساختمان وجود دارد:

الف- دال[1]: وزن کف و بار بهره‌برداری ساختمان مستقیماً بر آن اعمال می‌شود.

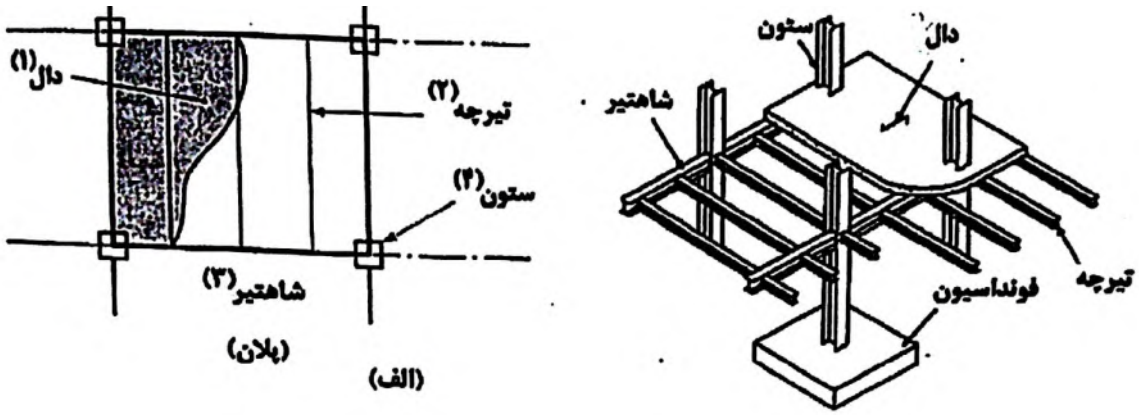
ب- تیرچه‌ها[2]: بار را از دال دریافت و به شاهتیرها منتقل می‌کنند.

پ- شاهتیرها[3]: بار را از تیرچه دریافت و به ستون‌ها منتقل می‌کنند.

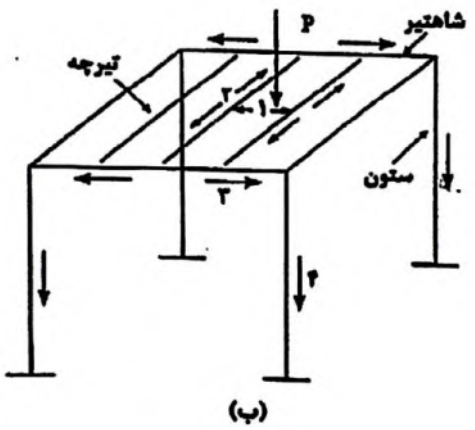
ت- ستون‌ها[4]: بار را از شاهتیرها دریافت و به فونداسیون منتقل می‌کنند.

به سیستم فوق، سیستم باربر **چهار عنصری** گفته می‌شود.

مسیر بار: مسیری که بار از لحظه‌ی اعمال به سازه طی می‌کند تا به شالوده برسد، مسیر بار خوانده می‌شود، شکل (۲-۵). مسیر بار نباید در نقطه‌ای قطع شده باشد.

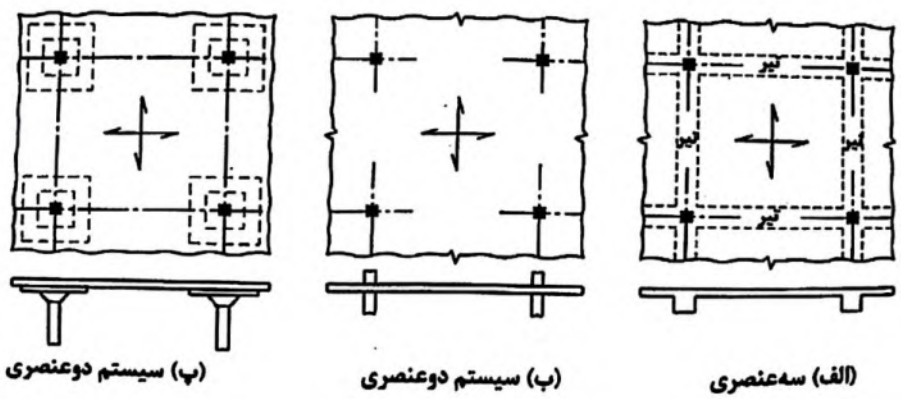


[1] .Slab
[2] .Secondary beam or Joist
[3] . Primary beam or Girder
[4] . Column



شکل (۲-۵): سیستم چهارعنصری و مسیر بار

سیستم ۳ و ۲ عنصری: در یک ساختمان ممکن است یک یا چند عنصر باربر قائم وجود نداشته باشد که دلیلی بر نقص سیستم باربر قائم نیست. مثلاً در سیستم دال بتنی دو طرفه، تیرچه‌ها حذف می‌شوند که به آن سیستم سه عنصری گفته می‌شود، و یا در سیستم‌های دال تخت یا دال قارچی دال مستقیماً روی ستون می‌نشیند و تیرچه و شاهتیر حذف می‌گردند که به آن سیستم دو عنصری می‌گویند، شکل (۲-۶).



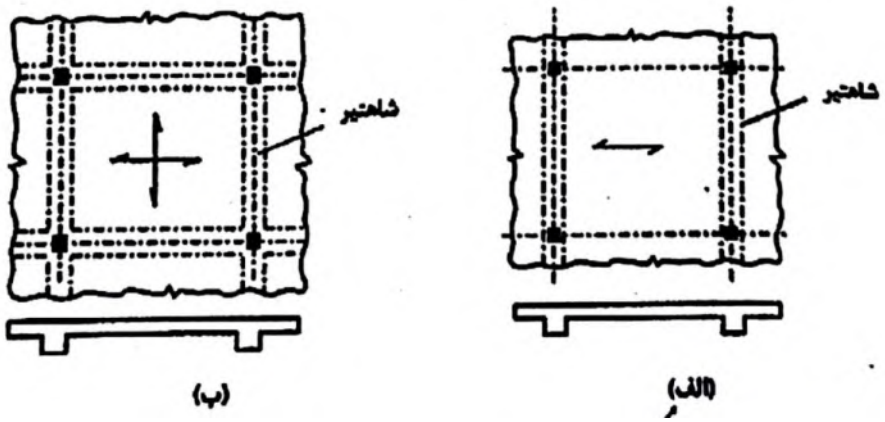
شکل (۲-۶): الف) سیستم دال دوطرفه، ب) سیستم دال تخت، پ) دال تخت قارچی

سیستم پانلی: سیستم پانلی سیستمی ۲ عنصری متشکل از دال و دیوار بتن مسلح است. رفتار این سیستم در مقابل بارهای قائم و جانبی سه بعدی بوده و تحلیل آنها فقط به کمک برنامه‌های کامپیوتری امکان‌پذیر است، شکل (۲-۷).

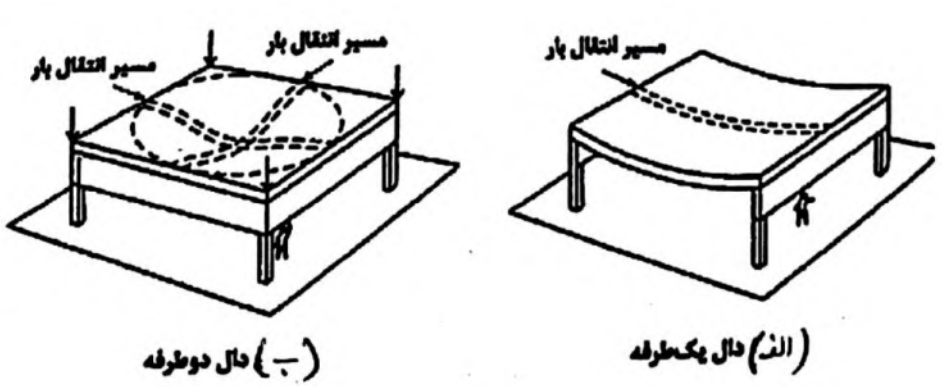
شکل (۲-۷): سیستم پانلی

۲-۲-۲- شرحی بر عناصر باربر ثقلی

از نظر عملکرد دال‌ها به دو دسته‌ی یک‌طرفه و دوطرفه تقسیم می‌شوند. دال یک‌طرفه بار را در یک امتداد و دال دوطرفه بار را در دو امتداد عمود بر هم به تکیه‌گاه منتقل می‌کند. به عبارت دیگر در دال دوطرفه تمام تکیه‌گاه‌ها باربر می‌باشند. در شکل زیر نحوه‌ی عملکرد خمشی دال‌های یک-طرفه و دو طرفه نشان داده شده است، شکل (۲-۸) و (۲-۹).



شکل (۲-۸): الف) دال یک طرفه، ب) دال دو طرفه



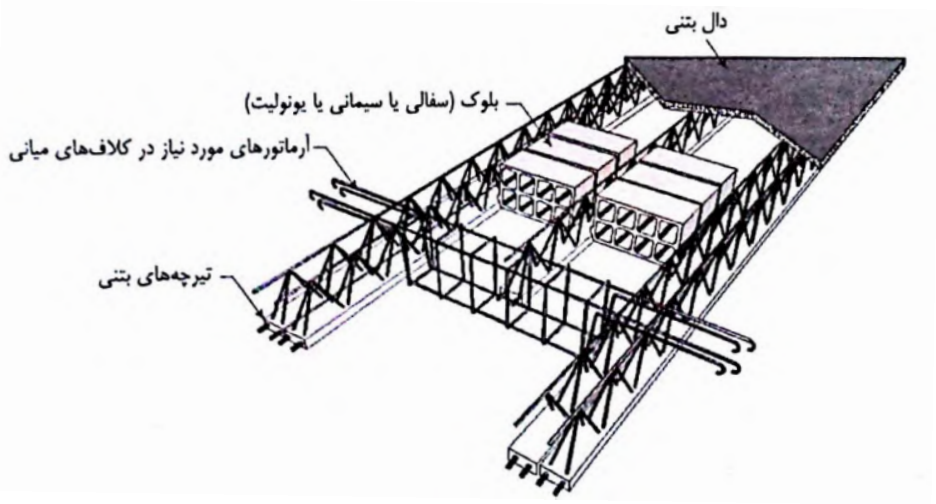
شکل (۲-۹): مقایسه عملکرد دال دوطرفه و یک‌طرفه

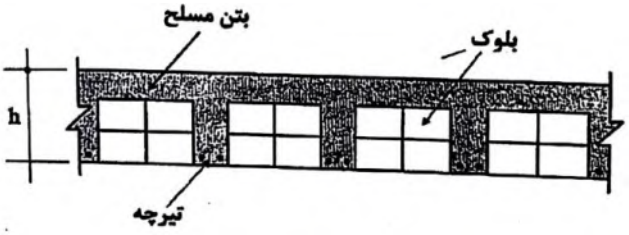
در ساختمان‌های فولادی و بتنی چندین نوع دال به عنوان عضوی از سیستم باربر ثقلی وجود دارند که عبارتند از:

الف- سقف‌های تیرچه بلوک با تیرچه‌های بتنی

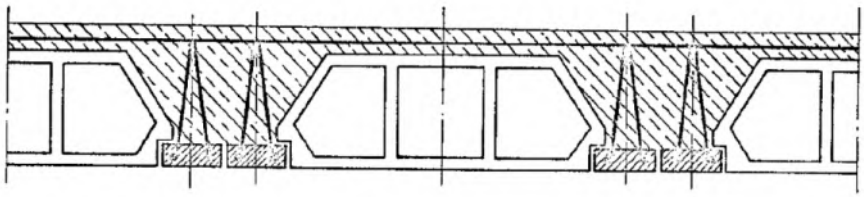
سقف تیرچه بلوک متشکل از تیرچه‌های پیش‌ساخته بتنی، بلوک‌های سفالی یا بتنی یا فوم‌های پلی‌استایرن، و بتن درجا می‌باشد. این سیستم با توجه به سادگی و سرعت عمل در اجرا، در کشور ایران به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل (۲-۱۰- الف).

نکته: بر اساس نشریه ۵۴۳ (دستور العمل طراحی و اجرای سقف‌های تیرچه بلوک)، حداکثر دهانه مورد پوشش سقف (در جهت طول تیرچه پیش ساخته خرپایی) با تیرچه‌های منفرد، نباید از ۸ متر بیشتر شود. توصیه می‌شود برای اطمینان بیشتر، دهانه مورد پوشش، بیشتر از ۷ متر نباشد و در صورت وجود سربارهای زیاد و یا دهانه بیش از هفت متر، مطابق شکل (۲-۱۰-ب)، از تیرچه‌های مضاعف استفاده شود.





شکل (۲-۱۰-الف): سقف تیرچه بلوک

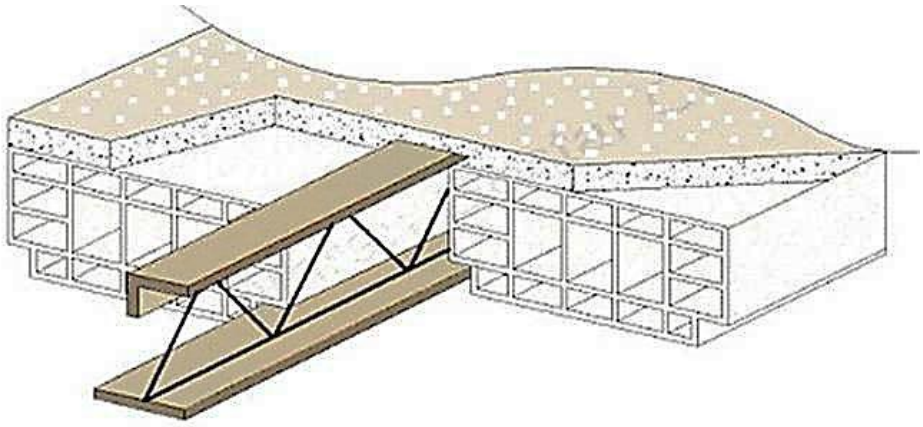


شکل (۲-۱۰-ب): سقف با تیرچه‌های مضاعف

ب- سقف‌های کرومیت (Kormit)

در سیستم سقف کرومیت از تیرچه‌های فولادی با جان باز (تیرچه کرومیت) در ترکیب با بتن استفاده می‌شود. برای پر کردن فضای خالی بین تیرچه‌ها از قالب‌های ثابت مانند بلوک‌های سیمانی، پلی‌استایرن، و یا یک پرکننده سبک دیگر استفاده می‌شود. تیرچه‌های فولادی متشکل از یک نبشی در بال فوقانی و یک تسمه در بال تحتانی و نیز یک میلگرد خم شده درجان می باشند، شکل (۲-۱۱).

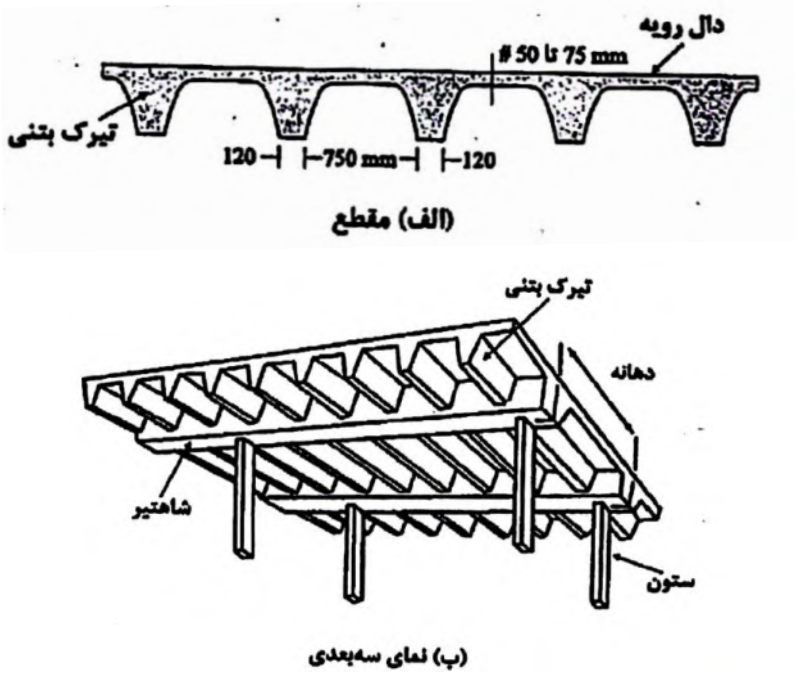
نکته: بنا بر نشریه ۱۵۱ (راهنمای طراحی و اجرای سقف تیرچه‌های فولادی با جان باز در ترکیب با بتن)، برای دهانه‌های کوچکتر از ۵/۵ متر استفاده از حداقل یک کلاف عرضی الزامی است. برای دهانه‌های بزرگتر، کلاف‌های عرضی باید به نحوی انتخاب شود که فاصله دو کلاف عرضی مجاور هم، از ۲/۵ متر تجاوز نکند.



شکل (۲-۱۱): سقف کرومیت

پ- سقف‌های از نوع دال تیرک‌دار

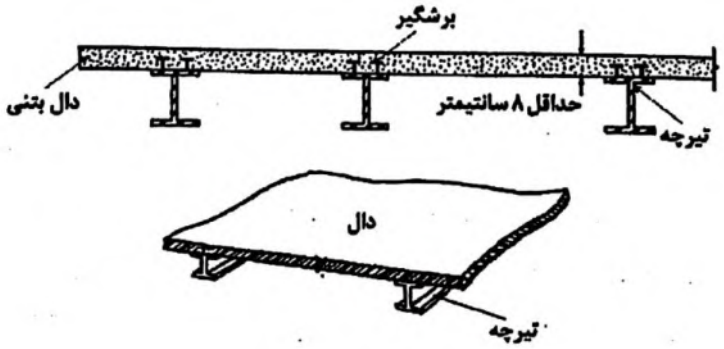
این سیستم متشکل از تیرک‌هایی است که با دال رویه قالب‌بندی شده و بتن ریزی می‌شوند. تیرک‌ها به همراه عرض مؤثری از دال بتنی عملکردی T شکل دارند. از مزیت این سیستم می‌توان به سبکی و سختی بسیار مطلوب اشاره کرد، شکل (۲-۱۲).

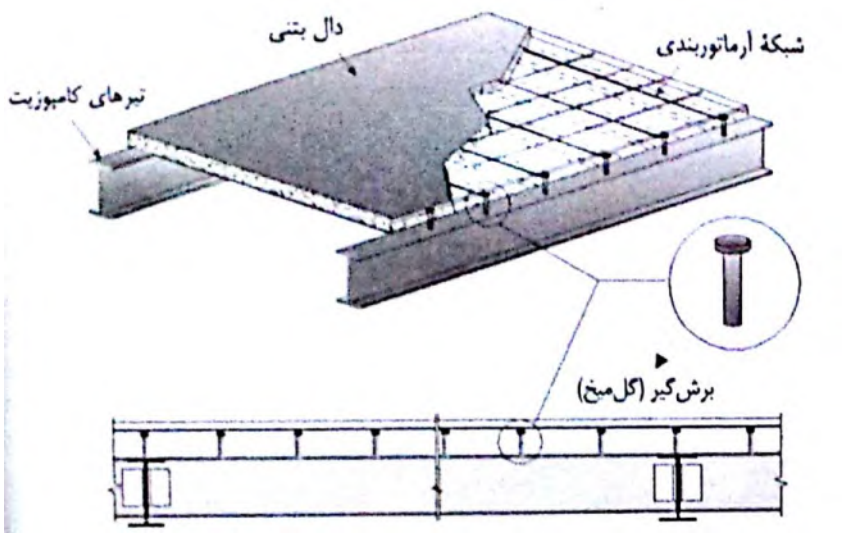


شکل (۲-۱۲): سقف دال تیرک دار

ت- سقف‌های کامپوزیت

این سیستم مشابه دال تیرک‌دار است که در آن تیرچه‌ها از نوع پروفیل‌های فولادی می‌باشند و دال بتن‌آرمه بر روی آنها اجرا می‌شود. پوشش بتنی در این حالت جزئی از بال فشار تیر می‌گردد. برای عملکرد یکپارچه‌ی پوشش بتنی و تیرچه فولادی، منظور کردن اتصالات برشی (برشگیر) الزامی است، شکل (۲-۱۳).

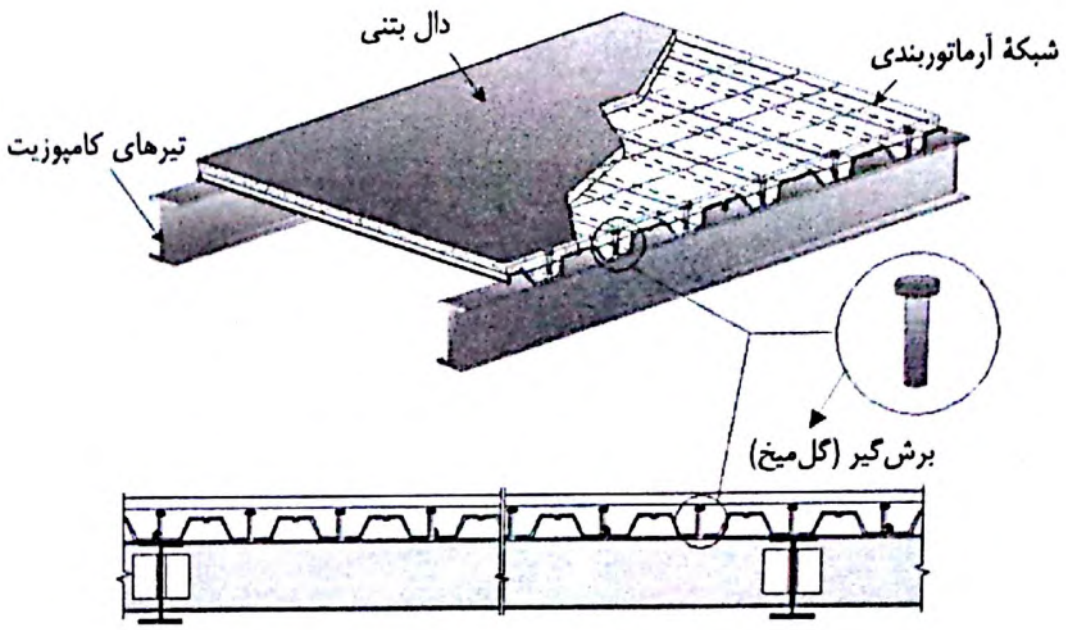




شکل (۲-۱۳): سقف کامپوزیت

ث- سقف‌های کامپوزیت با عرشه‌ی فولادی

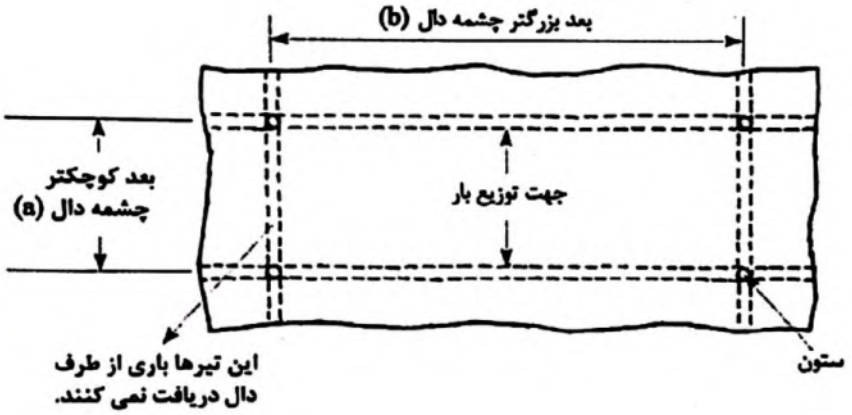
در این حالت که مشابه سقف کامپوزیت است، مابین تیرچه‌ها ورق ذوزنقه‌ای نصب می‌شود. این ورق از جنس فلزی است و دارای برجستگی‌های آجدار است. سپس روی ورق مزبور شبکه آرماتورگذاری تعبیه شده و بتن ریزی انجام می‌گردد، شکل (۲-۱۴).



شکل (۲-۱۴): سقف کامپوزیت عرشه فولادی

ج- دال بتن‌آرمه توپر با نسبت ابعاد بزرگتر از ۲

در مواردی که سیستم دال ساختمان، دال تخت توپر بتنی متکی بر شاهتیرهای پیرامونی باشد، اگر نسبت بعد بزرگتر چشمه دال به بعد دیگر، بزرگتر از ۲ شود، دال در آن چشمه یکطرفه به حساب می‌آید و بار وارد بر آن در مسیری موازی با بعد کوچکتر چشمه انتقال می‌یابد.

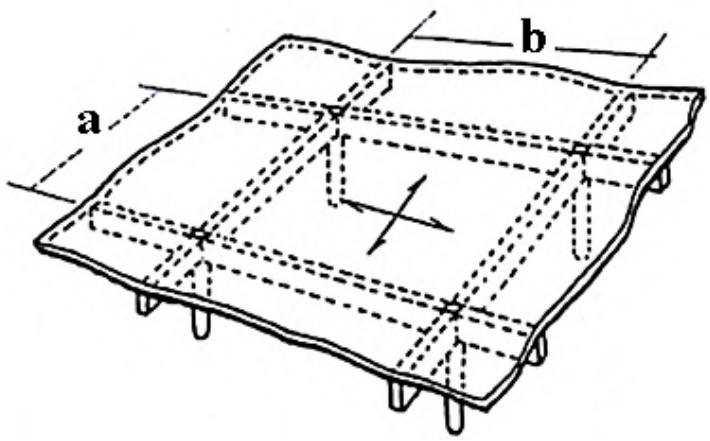


شکل (۲-۱۵): دال بتنی توپر با نسبت ابعاد بزرگتر از ۲

$$\text{If} \quad {}^{b}/_{a} > 2 \quad \rightarrow \quad \text{One} - \text{Way Operation}$$

چ- دال‌های بتن‌آرمه توپر با نسبت ابعاد کوچکتر یا مساوی ۲

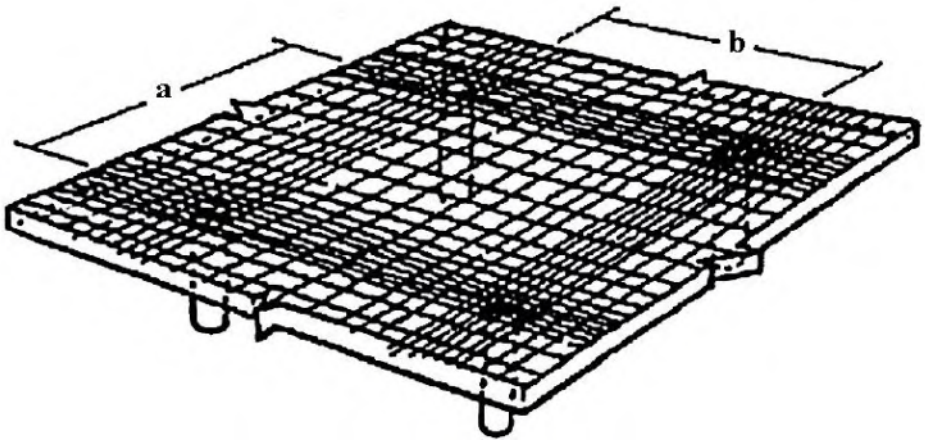
دال بتن‌آرمه متکی بر تیرهای محیطی با نسبت چشمه‌ی کوچکتر یا مساوی ۲، در رده‌ی دال‌های دوطرفه قرار می‌گیرد. دال دو طرفه به تمام شاهتیرهای (در صورت وجود) پیرامون خود بار می‌دهد، شکل (۲-۱۶).

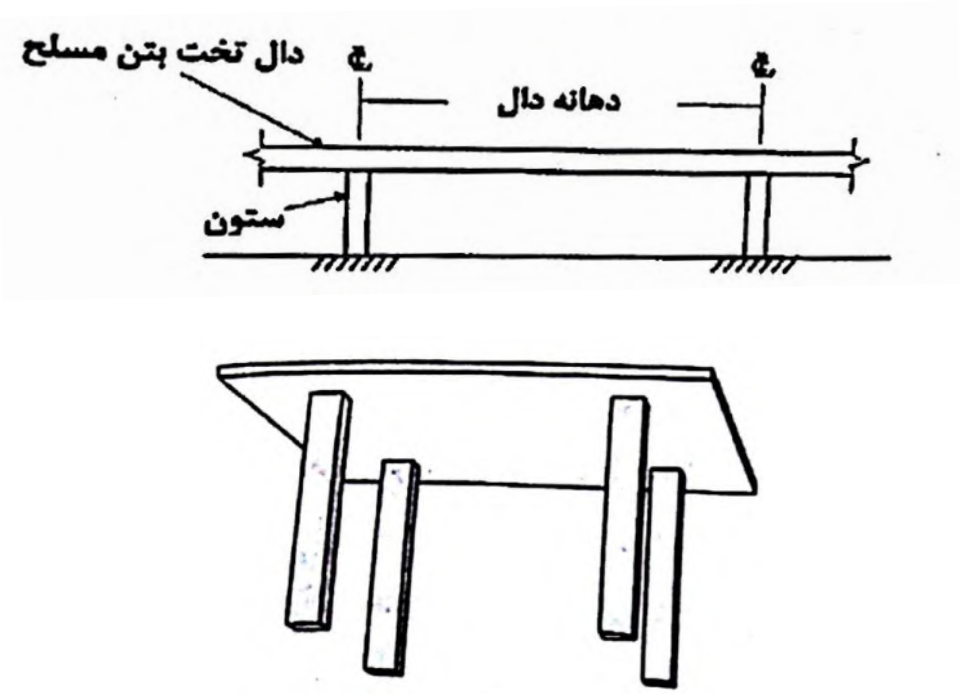


شکل (۲-۱۶): دال بتنی توپر با نسبت ابعاد کوچکتر از ۲

$$\text{If } \ 1 \le {}^{b}/_{a} \le 2 \ \rightarrow \ \text{Two} - \text{Way Operation}$$

دال دو طرفه می‌تواند بدون تیرهای محیطی، به طور مستقیم روی ستون‌ها قرار گیرد که در آن صورت به آن دال تخت[1] گفته می‌شود، شکل (۲-۱۷). این دال برای پوشش کف در ساختمان‌های با بارهای سبک، نظیر آپارتمان‌های مسکونی، و با دهانه‌های ۴/۵ تا ۶ متر مناسب و اقتصادی است.

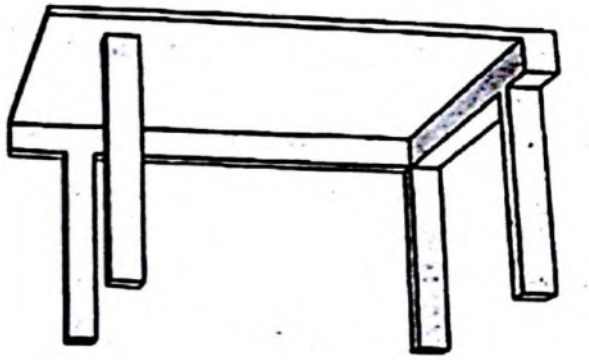




شکل (۲-۱۷): دال تخت

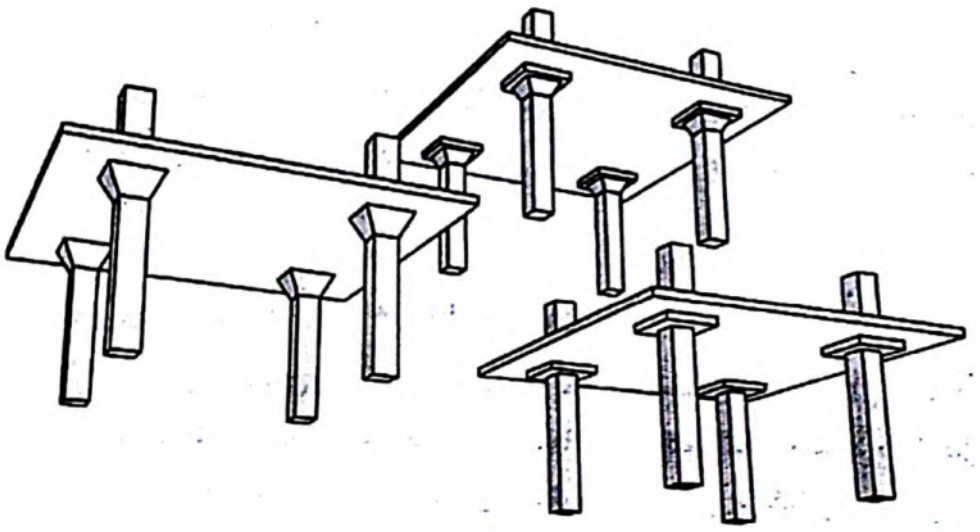
[1] . Flat slab

در صفحه‌ی تخت، گاه کنترل خیز در دهانه‌های کناری، ضخامت بیشتری را طلب می‌کند، از اینرو در دهانه‌های کناری از تیرهای لبه‌ای (محیطی)[1] استفاده می‌شود، شکل (۲-۱۸).

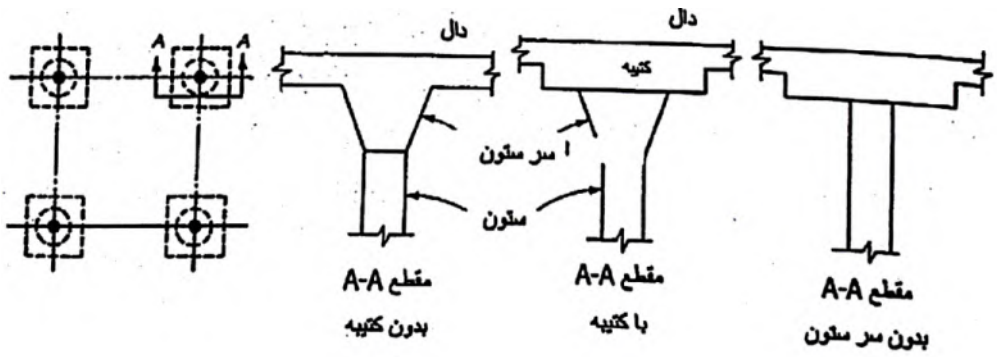


شکل (۲-۱۸): دال تخت با تیر محیطی

در حالتی که کف بارهای سنگین نظیر ساختمان‌های صنعتی، انبارها و نیز پارکینگ طبقاتی، به خصوص اگر دهانه‌ها بزرگ باشند را تحمل می‌کند، از دال تخت با کتیبه *(drop panel)* و یا سرستون استفاده می‌گردد. به منظور تقویت ظرفیت برشی اطراف ستون، می‌توان از کتیبه استفاده کرد. در این حالت ضخامت دال در یک ناحیه محدود، افزایش داده می‌شود. معمولاً کتیبه در هر طرف معادل یک ششم دهانه از محور ستون امتداد می‌یابد. روش دیگر برای تقویت برشی دال در اطراف ستون، استفاده از سر ستون است. از دال تخت به همراه کتیبه و یا سر ستون معمولاً در دهانه‌های ۶ تا ۹ متر با بار زنده بیش از $5\ KN/m^2$ استفاده می‌شود، شکل (۲-۱۹).

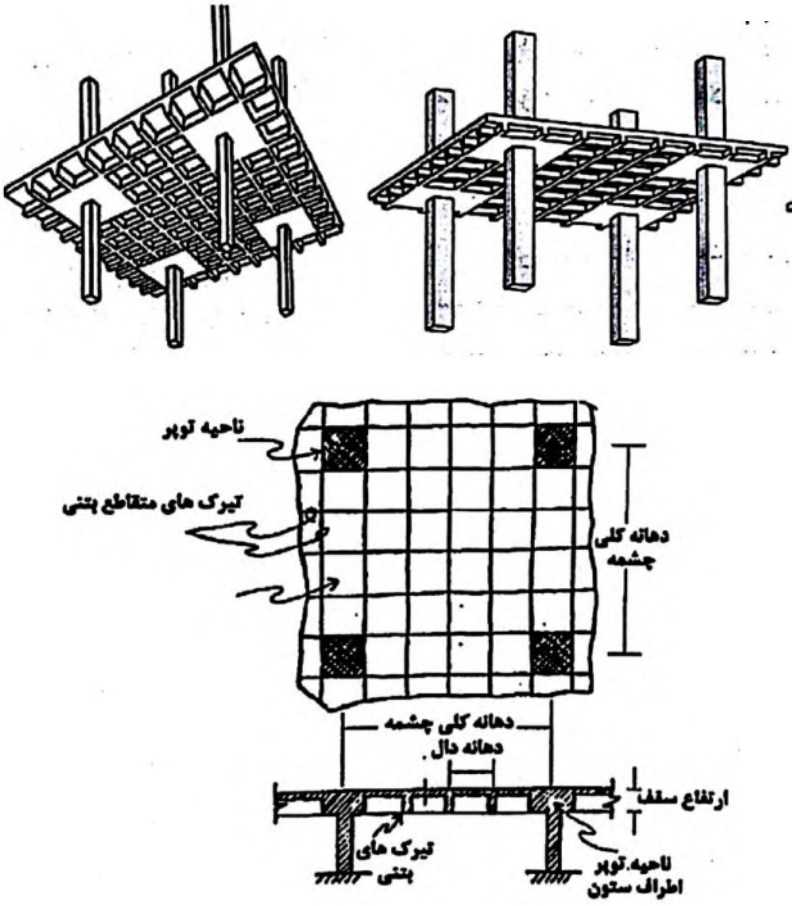


[1] . Flat slab with spandrel beam



شکل (۲-۱۹): دال تخت با کتیبه و سر ستون

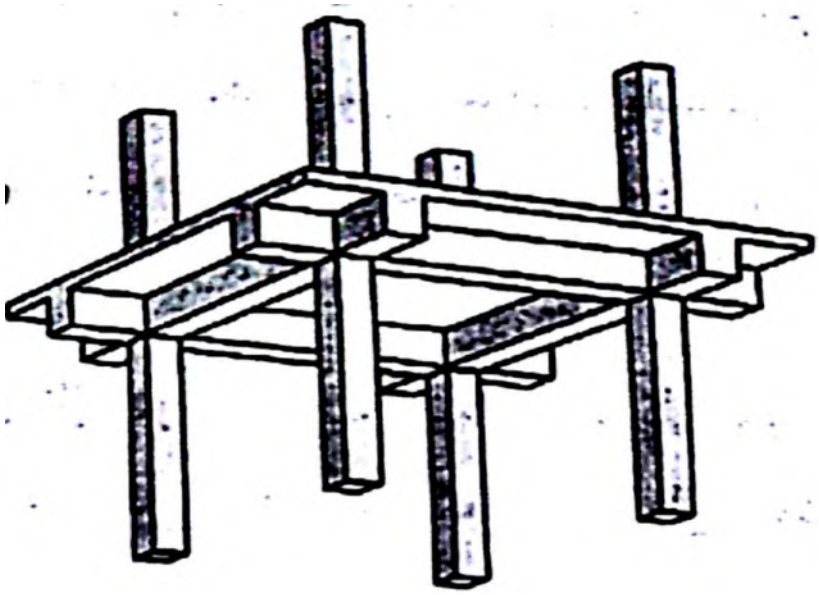
سیستم دیگری از دال دو طرفه وجود دارد که به آن دال دو طرفه‌ی مجوف[1] یا دال با تیرچه‌ی دوطرفه[2] می‌گویند. در این سیستم تیرچه‌ها به صورت دوطرفه هستند. دال دو طرفه برای کف‌های با دهانه‌ی ۷/۵ تا ۱۲ متر کاربرد دارد، شکل (۲-۲۰).



شکل (۲-۲۰): دال دو طرفه‌ی مجوف

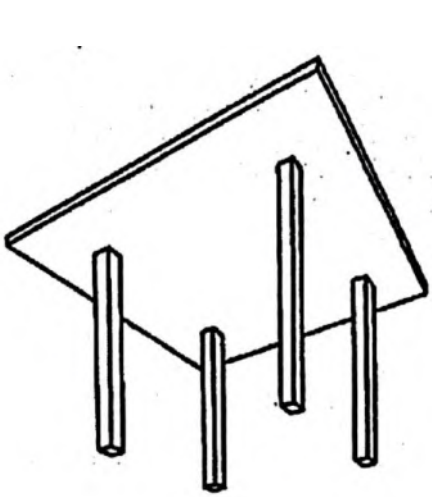
[1] . Waffle Slab
[2] . Two-way joist system

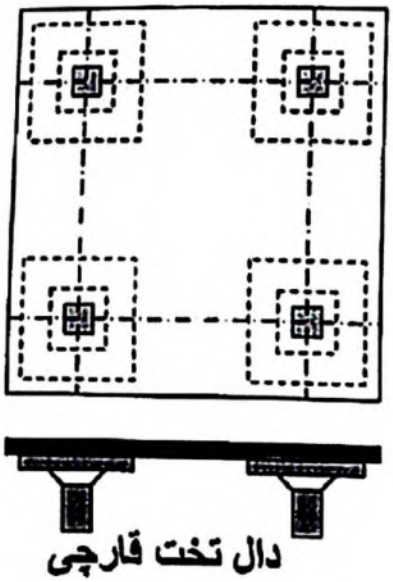
یک سیستم مناسب دیگر به خصوص برای دهانه‌های بزرگ، سیستم **دال دو طرفه به همراه تیر**[1] است، شکل (۲-۲۱).



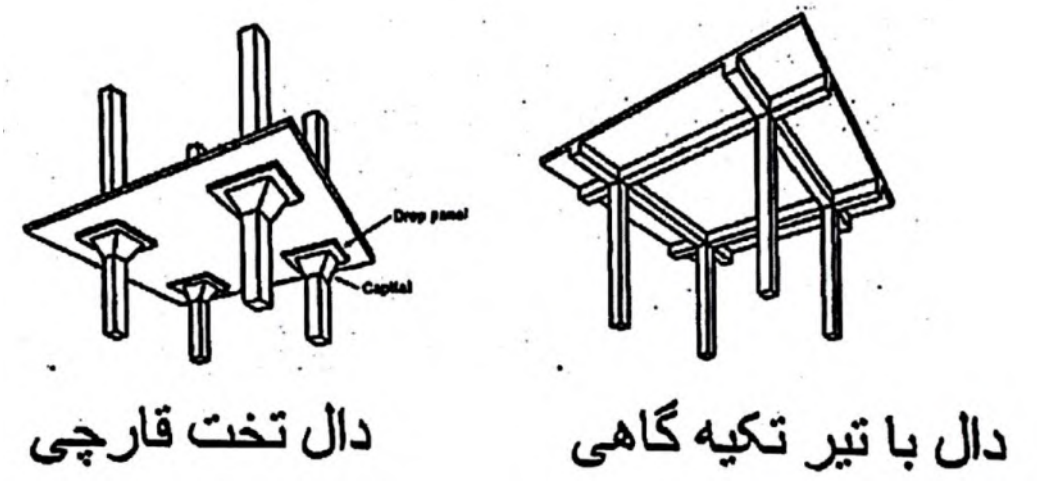
شکل (۲-۲۱): دال دو طرفه به همراه تیر

سایر دال‌های دو طرفه را می‌توان در شکل (۲-۲۲) مشاهده نمود.





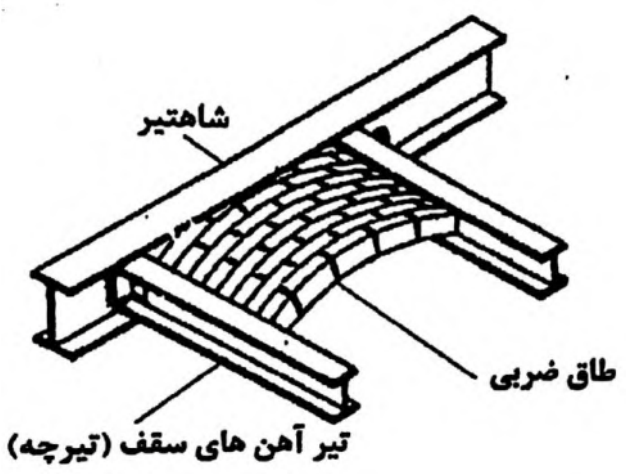
[1]. Two- way slab with beam



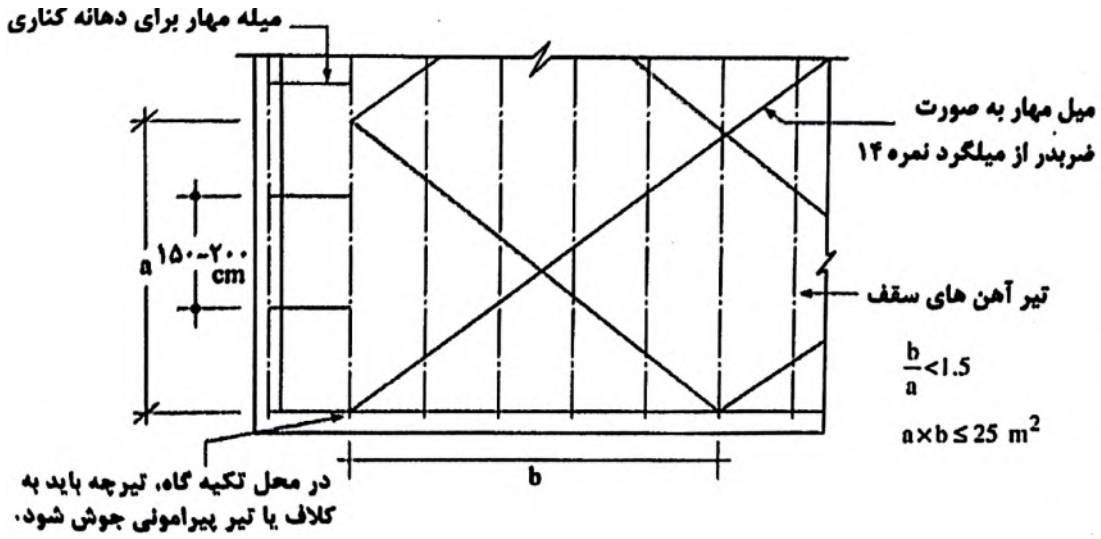
شکل (۲-۲۲): سایر دال‌های دوطرفه

ح- سقف طاق ضربی[1]

این سقف متشکل از تیرهای فولادی I شکل می‌باشد که در فاصله‌ی در حدود یک متر از یکدیگر مستقر می‌شوند و بین آنها قوسی با برآمدگی ملایم از آجر اجرا می‌گردد. طاق ضربی سیستمی منفصل است به طوری که در هنگام ارتعاشات لرزه‌ای یکپارچه عمل نمی‌کند و امکان جدا شدن اجزای آن وجود دارد. فاصله‌ی تیرهای فرعی معمولا بین ۰/۷ تا ۱/۲ متر می‌باشد و دهانه‌های قابل اجرا برای این نوع سقف‌ها حداکثر تا حدود ۵ متر می‌باشد، شکل (۲-۲۳).



[1] . Jack-Arch or Floor-Arch



شکل (۲-۲۳): سقف طاق ضربی

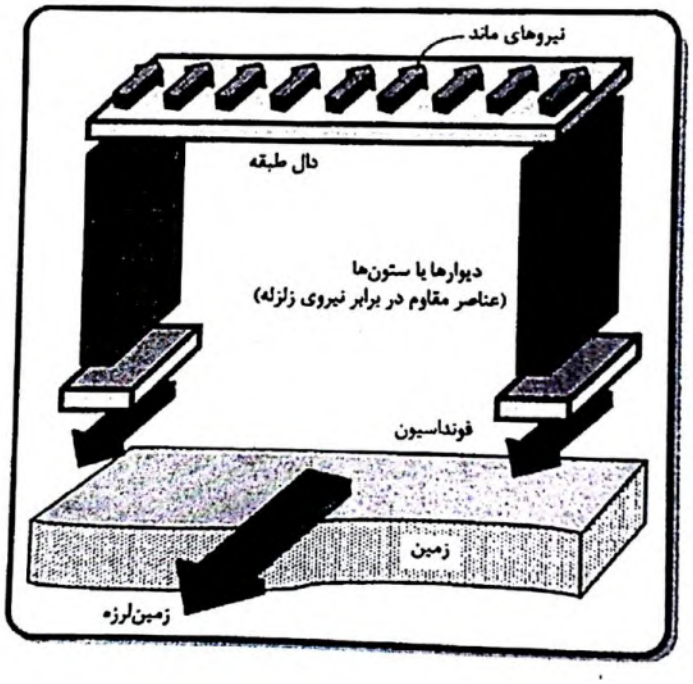
۲-۲-۳- سیستم‌های باربر قائم

مجموعه‌ای از عناصر باربر را سیستم یا سامانه باربر می‌گویند. طبق استاندارد ۲۸۰۰، شش سیستم باربر قائم و جانبی برای ساختمان‌های متعارف وجود دارد.

- سیستم دیوارهای باربر
- سیستم قاب ساختمانی
- سیستم قاب خمشی
- سیستم دوگانه یا ترکیبی
- سیستم ستون کنسولی
- سایر سیستم‌های سازه‌ای

۲-۲-۴- عناصر باربر جانبی

تحت اثر حرکت افقی زمین در هنگام زمین‌لرزه، نیروی جانبی اینرسی، در ترازهایی از ساختمان که بیشترین جرم سازه در آنجا متمرکز است اعمال می‌گردد. معمولاً جرم سازه‌ها در تراز طبقات آنها متمرکز است. این نیروها توسط دال طبقات به دیوارها یا ستون‌ها انتقال یافته و توسط آنها به فونداسیون سازه منتقل می‌شوند. در نهایت نیز این نیروها به زمین وارد می‌گردند، شکل (۲-۲۴). بنابراین هر کدام از اجزای ساختمان (سقف، دیوار و یا ستون، فونداسیون) و یا اتصال آنها به یکدیگر، باید به نحو مناسبی طراحی گردند تا سازه در برابر نیروی جانبی ایمن بماند. در این میان ستون‌ها و دیوارها در انتقال نیروی جانبی دارای اهمیت به‌سزایی می‌باشند.



شکل (۲-۲۴): اعمال نیروی زلزله به سازه

همان‌گونه که تشریح شد عناصر مقاوم سازه در مقابل نیروی زلزله و در حالت کلی‌تر نیروهای جانبی، به اجزایی اطلاق می‌شود که وظیفه‌ی انتقال نیروی جانبی ایجاد شده در سازه را به عهده دارند. این عناصر عبارتند از:

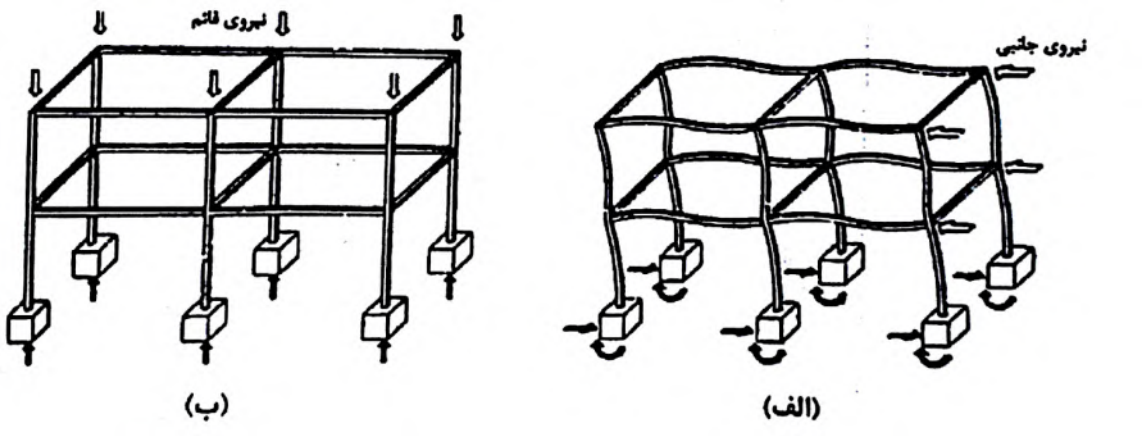
الف- قاب خمشی

قاب خمشی قابی است بتنی یا فولادی که در آن اتصالات تیر به ستون صلب بوده و رفتار اعضا و اتصالات عمدتاً خمشی می‌باشند، شکل (۲-۲۵). بر اساس رفتار لرزه‌ای، قاب‌های خمشی خود به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

قاب خمشی ویژه: قابی است بتنی یا فلزی که به ترتیب مطابق ضوابط شکل‌پذیری ویژه مبحث نهم مقررات ملی و یا مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی شده باشد.

قاب خمشی متوسط: قابی است که دارای جزئیات خاص برای رفتار شکل‌پذیر متوسط باشد.

قاب خمشی معمولی: قاب خمشی‌ای که دارای جزئیات خاص برای رفتار شکل‌پذیر متوسط و ویژه نیست.



شکل (۲-۲۵): عملکرد قاب خمشی در مقابل نیروهای قائم و جانبی، الف) نیروی جانبی، ب) نیروی قائم

سیستم‌های قاب خمشی به طور کلی دارای سختی جانبی کمتر نسبت به دیگر سیستم‌های مهاربندی جانبی و همچنین دارای شکل‌پذیری بیشتر نسبت به دیگر سیستم‌ها می‌باشد. از اینرو انتظار می‌رود که در سیستم‌های مزبور تغییرشکل‌های جانبی بزرگی رخ دهد.

بند ۱-۸-۳-۲۸۰۰- سیستم قاب خمشی

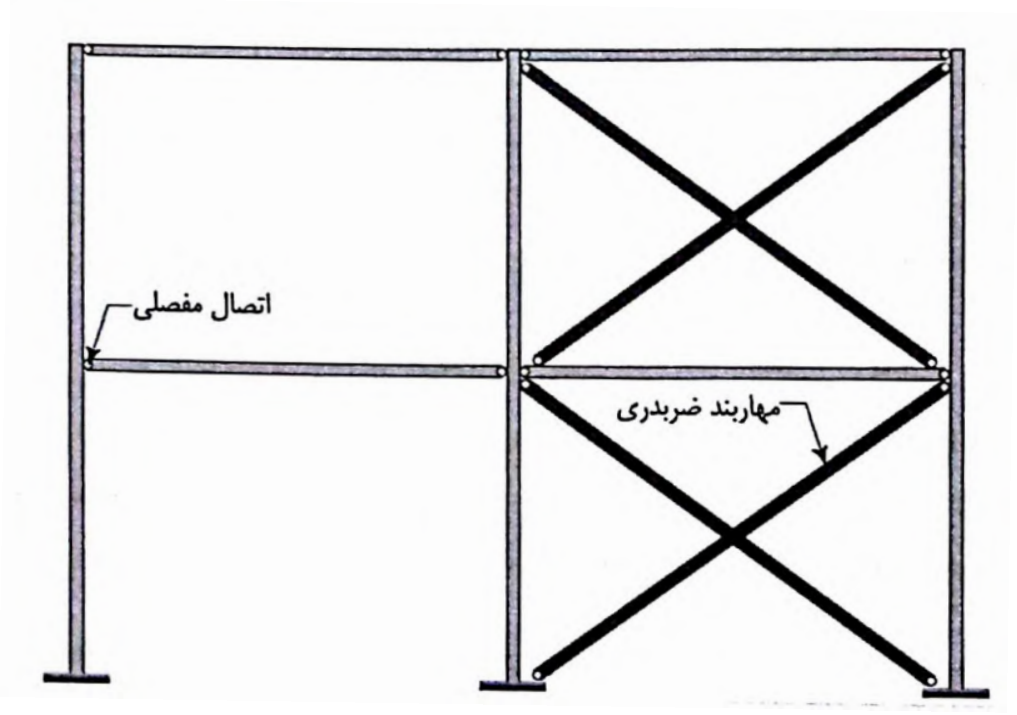
نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن بارهای قائم توسط قاب‌های فضایی تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط قاب‌های خمشی تأمین می‌گردد. سازه‌های با قاب‌های خمشی کامل، و سازه‌های با قاب‌های خمشی در پیرامون و یا در قسمتی از پلان و قاب‌های با اتصالات ساده در سایر قسمت‌های پلان نیز در این گروه جای دارند.

ب- قاب ساختمانی ساده مهاربندی شده

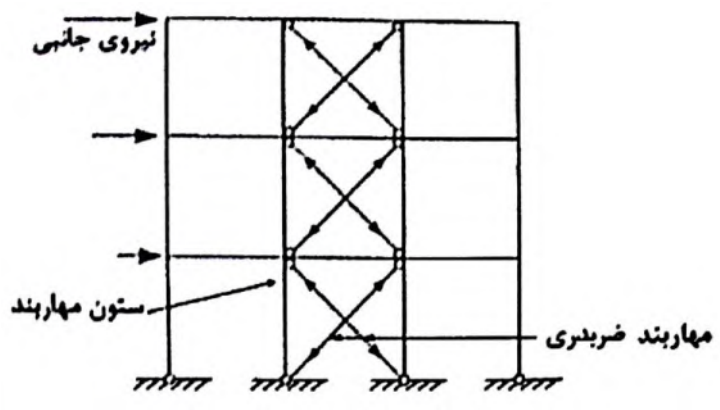
قاب‌های ساختمانی ساده یا به عبارتی قاب‌های مهاربندی شده به قاب‌هایی اطلاق می‌شود که در آن کلیه اتصالات تیر به ستون از نوع مفصلی اختیار می‌شوند. در این قاب فرض بر آن است که اتصالات تیر به ستون بدون صلبیت است و اتصال تیرها و شاهتیرها به ستون فقط برای انتقال برش

ناشی از بار قائم طراحی شده، و می‌تواند تحت اثر آن، آزادانه دوران کند. دستگاه یا سیستم مقاوم در برابر باربر جانبی، دهانه‌های مهاربندی شده و یا دیوارهای برشی می‌باشند. در این حالت اتصالات تیر به ستون می‌باید ظرفیت کافی برای دوران ارتجاعی را دارا باشد. این سیستم‌ها در کل از سختی بیشتری نسبت به دیگر سیستم‌ها برخوردار هستند و لذا انتظار تغییرشکل جانبی کمتری از سازه وجود دارد.

مهاربند ضربدری[1]: ساده‌ترین و متداول‌ترین نوع مهاربند، مهاربند ضربدری است. استفاده از آن در صورتی قابل قبول است که معماری اجازه‌ی کور کردن یک چشمه را بدهد. لذا محل آن در مرحله‌ی اول باید مورد توافق قرار گیرد و بهتر است آرایش آن نسبت به مرکز جرم ساختمان متقارن اختیار شود تا مرکز سختی و مرکز جرم بر هم منطبق گردند و پیچش استاتیکی در سازه به وجود نیاید. مکانیزم عملکرد بادبند ضربدری طوری است که وقتی نیروی جانبی از یک طرف بر آن اعمال گردد، مهاربندهایی که شیب آنها هم جهت با نیروی جانبی است به صورت کششی و بادبندهایی که شیب مخالف دارند به صورت فشاری عمل می‌نمایند. با عوض شدن جهت نیروی جانبی، این فرض معکوس می‌شود، شکل (۲-۲۶).

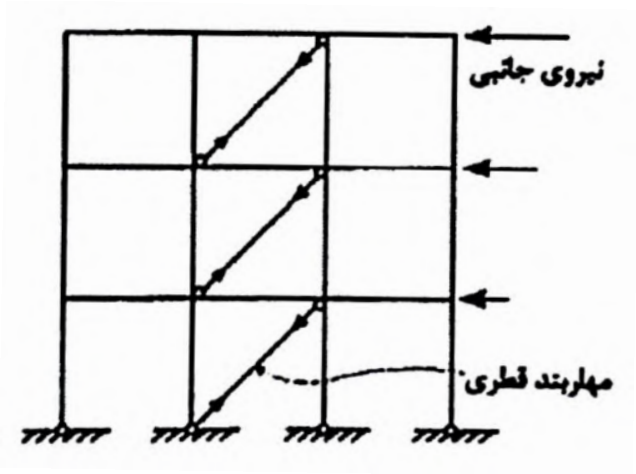


[1] . X- Bracing



شکل (۲-۲۶): سیستم مهاربندی ضربدری

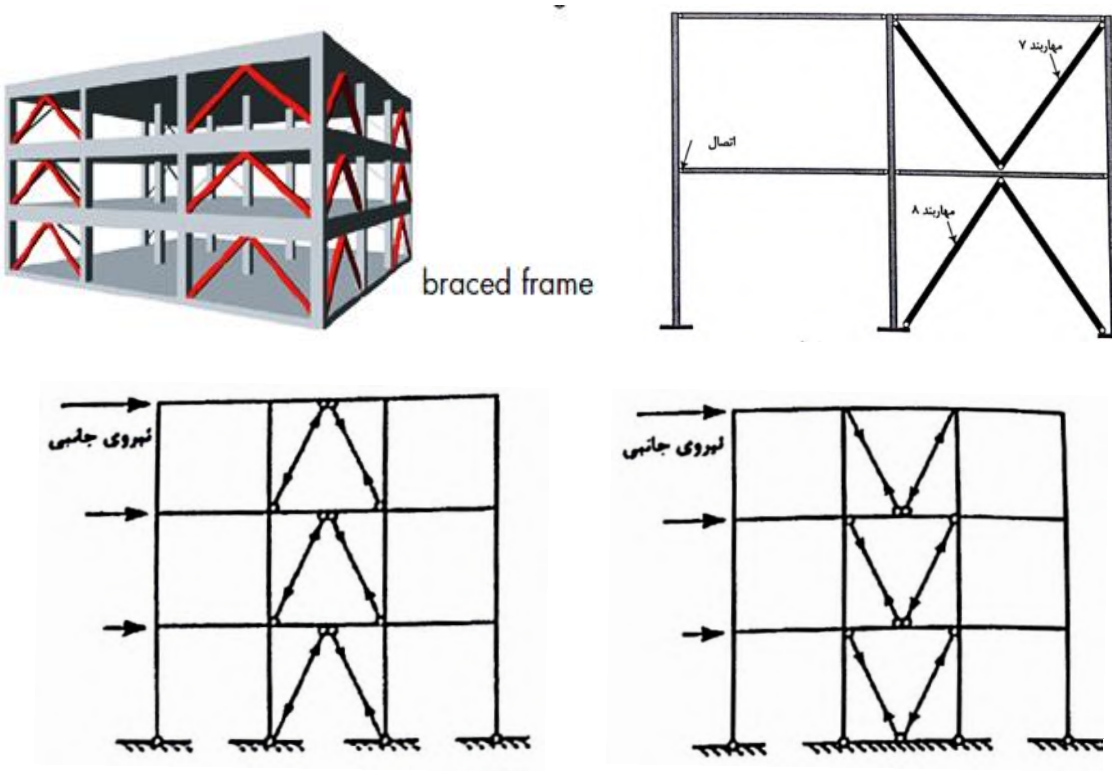
مهاربند قطری[1]: مهاربند قطری کم و بیش مشابه مهاربند ضربدری است و عملکرد استاتیکی آنها به یکدیگر شبیه می‌باشد، با این تفاوت که عضو قطری در این حالت فقط در فشار یا کشش کار می‌کند. یعنی تمام برش طبقه را باید به صورت فشاری یا کششی تحمل نماید، شکل (۲-۲۷).



شکل (۲-۲۷): مهاربند قطری

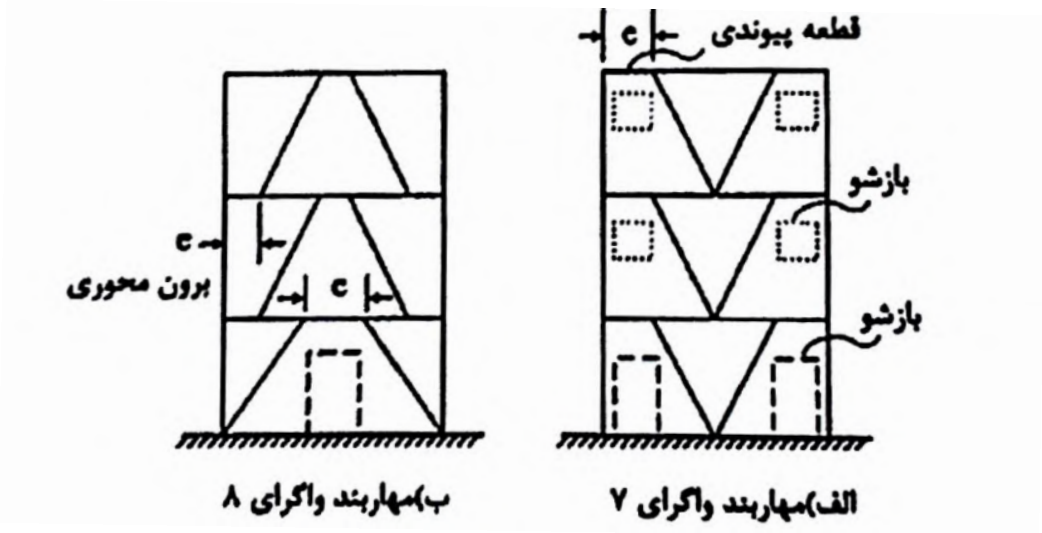
مهاربند هفت یا هشت (۷ یا ۸)[2]: این نوع مهاربند که در شکل (۲-۲۸) نمایش داده شده است، نسبت به مهاربند ضربدری دارای انعطاف‌پذیری بیشتری می‌باشد. در تحلیل در مقابل بار جانبی، یکی از اعضا در فشار و دیگری در کشش کار می‌کند. در واقع نیروی برشی طبقه به طور مساوی بین آنها تقسیم شده و در یکی ایجاد فشار و در دیگری ایجاد کشش می‌نماید.

[1] . Diagonal Bracing
[2] . Chevron Bracing, V or Inverted V

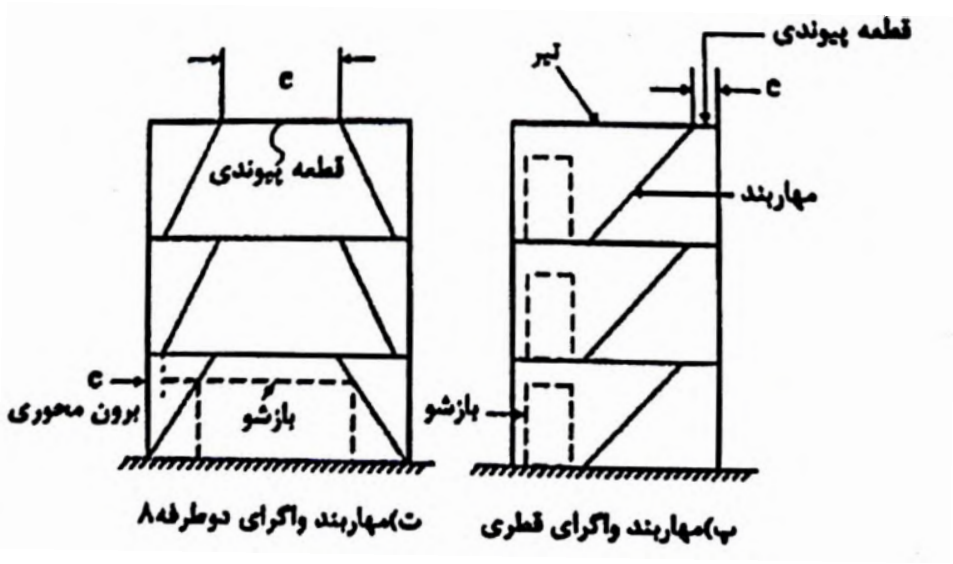


شکل (۲-۲۸): مهاربند ۷ یا ۸

مهاربندهای واگرا[1]: در این نوع مهاربندها، عضو مهاربندی از محل تقاطع گره‌ها عبور داده نمی‌شود. این برون محوری نسبت به گره محل اتصال تیر و ستون، قطعه‌ای به نام قطعه‌ی پیوندی در تیر به وجود می‌آورد که نقش به سزایی در استهلاک انرژی در هنگام اعمال نیروی جانبی دارد، شکل (۲-۲۹).



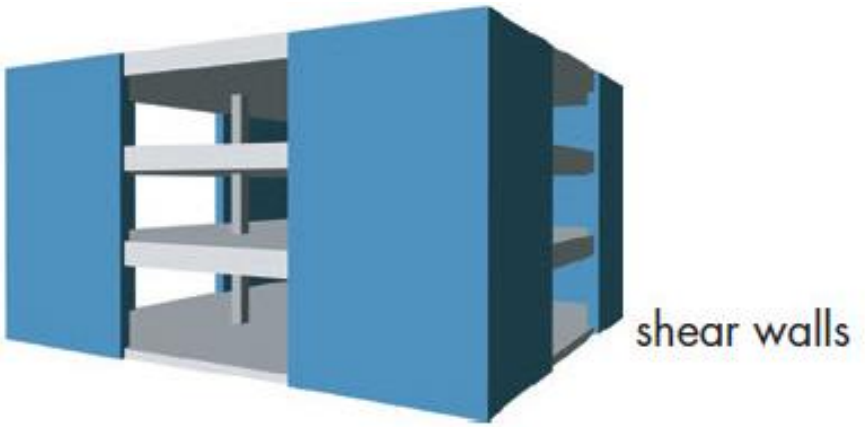
1 . Eccentric Bracing



شکل (۲-۲۹): مهاربند واگرا

پ- دیوار برشی[1]

دیواری است فولادی یا بتنی که برای مقاومت در برابر نیروهای جانبی که در صفحه‌ی دیوار عمل می‌کنند طراحی می‌گردد و به آن دیافراگم قائم نیز گفته می‌شود. دیوار برشی همانند تیر طره‌ای قائم بوده و دارای دو محور قوی و ضعیف است، به طوری که محور ضعیف آن به عنوان عنصر مقاوم شناخته نمی‌شود، اما محور قوی آن می‌تواند نیروهای جانبی را به خوبی تحمل نماید. یک دیوار برشی از تراز فونداسیون شروع شده و در ارتفاع سازه ادامه می‌یابد. اتصال دیوار برشی به شالوده به صورت گیردار فرض می‌شود، شکل (۲-۳۰).



شکل (۲-۳۰): دیوار برشی بتنی

1 . Shear wall

در زلزله‌های گذشته، ساختمان‌هایی با سیستم باربر جانبی دیوار برشی، عملکرد بسیار مطلوبی از خود نشان داده‌اند. حتی در مواردی که دیوار برشی با جزئیات دقیق اجرا نشده‌اند، اما در ساختمان به تعداد کافی دیوار برشی لحاظ شده، در برابر نیروی زلزله ساختمان فرو نریخته است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که دیوار برشی به عنوان یک عنصر کارآمد و مؤثر، هم از منظر اقتصادی و هم از نظر تأثیرگذاری در کاهش خسارت ناشی از زلزله، باید مورد توجه قرار گیرد.

از آنجا که در یک ساختمان سهم عمده‌ی نیروهای جانبی توسط دیوارهای برشی تحمل می‌شود، معمولاً خطر واژگونی در آنها زیاد است. از اینرو در طراحی فونداسیون دیوارهای برشی باید تمهیدات لازم در نظر گرفته شود. نکته‌ی بسیار مهم در به‌کارگیری دیوار برشی به عنوان عضو باربر جانبی، چگونگی آرایش آن در پلان سازه می‌باشد. چیدمان دیوارهای برشی در پلان حتی‌المقدور باید متقارن در نظر گرفته شود. این امر موجب جلوگیری از پیچش سازه در هنگام وقوع زلزله می‌گردد.

بند ۱-۸-۱-۲۸۰۰- سیستم دیوارهای باربر

نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن بارهای قائم عمدتاً توسط دیوارهای باربر تحمل می‌شوند و مقاومت در برابر بارهای جانبی توسط دیوارهای باربر که به صورت دیواهای برشی عمل می‌کنند، تأمین می‌گردد. دیوارهای متشکل از قاب‌های سبک فولادی سرد نورد که با تسمه‌های فولادی و یا صفحات پوششی فولادی مهار شده‌اند، جزء این سیستم محسوب می‌شوند.

بند ۱-۸-۴-۲۸۰۰- سیستم دوگانه یا ترکیبی

نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن:

الف- بارهای قائم عمدتاً توسط قاب‌های ساختمانی تحمل می‌شوند.

ب- مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط مجموعه‌ای از دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده همراه با مجموعه‌ای از قاب‌های خمشی تأمین می‌شود. سهم برشگیری هر یک از دو مجموعه با توجه به سختی جانبی و اندرکنش آن دو، در تمام طبقات، تعیین می‌گردد.

پ- قاب‌های خمشی باید مستقلاً قادر به تحمل حداقل ۲۵ درصد نیروهای جانبی در تراز پایه و دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی‌شده باید مستقلاً قادر به تحمل حداقل ۵۰ درصد نیروهای جانبی در تراز پایه باشند.

تبصره ۱: در ساختمان‌های کوتاه‌تر از هشت طبقه و یا با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر به جای توزیع بار به نسبت سختی عناصر باربر جانبی، می‌توان دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده را برای ۱۰۰ درصد بارجانبی و مجموعه قاب‌های خمشی را برای ۳۰ درصد بار جانبی طراحی کرد.

تبصره ۲: در مواردی که قاب‌های خمشی الزام بند (پ) را اقناع نکنند، سیستم دوگانه جزء سیستم قاب ساختمانی محسوب می‌شود، و در مواردی که دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده الزام بند فوق را اقناع نکنند، ضریب رفتار $\mathcal{R}$ در آن باید برابر ضریب رفتار در سیستم قاب خمشی با شکل‌پذیری متناظر در نظر گرفته شود.

بند ۱-۸-۵-۲۸۰۰- سیستم ستون کنسولی

نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن نیروهای جانبی توسط ستون‌ها به صورت کنسولی تحمل می‌شوند.

بند ۱-۸-۶-۲۸۰۰- سایر سیستم‌های سازه‌ای

در این آئین‌نامه استفاده از سیستم‌های سازه‌ای، غیر از آنچه در بالا عنوان شده، به شرطی مجاز است که ویژگی‌های آنها در ارتباط با بارهای قائم و زلزله توسط یکی از آئین‌نامه‌های معتبر جهانی، به تأیید کمیته اجرایی این آئین‌نامه رسیده باشد.

فصل سوم:

سیستم قاب‌های بتنی پیوسته (روش قاب تونلی[1])

(Reinforced Concrete Continuous Frames)

۳-۱- معرفی سیستم

سازه‌های بتنی با قالب تونلی موسوم به سیستم قالب تونلی، یکی از روش‌های صنعتی اجرای ساختمان‌های بتنی بوده که دیوار و سقف بطور همزمان با قالب یکپارچه اجرا می‌شوند. این روش از حدود ۴۰ سال پیش در جهان متداول شد است و تاکنون مورد بازنگری‌های فنی از سوی طراحان، مجریان، انبوده سازان و سازندگان قالب قرار گرفته و نسبت به زمان ابداع آن تحولات بسیاری را پشت سر گذاشته است. نام قالب تونلی به دلیل نحوه‌ی اجرای این سیستم و شکل قالب‌های فلزی آن و اجرای همزمان دیوارها و سقف‌ها به آن اطلاق می‌شود.

قالب‌های مورد استفاده، به اندازه تقریبی ابعاد فضاها هستند. برای قالب‌بندی یا قالب‌برداری نیازی به تبدیل آنها به ابعاد کوچک نیست و با همان ابعاد اولیه و به صورت یکپارچه از فضا خارج می‌شوند. این روش که نوعی تولید صنعتی ساختمان بتن مسلح محسوب می‌شود، با نام‌های دیگری مانند "سازه‌ی بتن آرمه با قاب پیوسته" یا " سازه بتن مسلح یکپارچه" نیز شناخته می‌شود. این روش

1 . *Tunnel Formwork systems*

ساخت سازه بیشتر در بلند مرتبه‌سازی استفاده می‌شود. روش قالب تونلی مانند دیگر روش‌های ساخت صنعتی، از چهار مزیت کاهش زمان، کاهش هزینه، ارتقای کیفیت و افزایش ایمنی کارکنان برخوردار است.

شکل (۳-۱) : سیستم قاب بتنی پیوسته (قالب تونلی)

در این سیستم، از دیوارها به عنوان عناصر باربر ساختمان استفاده می‌شود و سقف‌ها نیز به صورت دال بتنی درجا ساخته می‌شوند. با توجه به این نکته که تمامی دیوارهای خارجی و داخلی به طور همزمان اجرا می‌شوند و به نحو مناسبی با کف و سقف درگیر می‌شوند، ترکیب دیوارها و دال‌های بتنی کف یک مجموعه واحد با یکپارچگی و انسجام بسیار زیاد را تشکیل می‌دهند و در مقابل نیروهای جانبی باد و زلزله به خوبی رفتار می‌کنند. این سیستم به طور معمول از شالوده بتنی، دیوارها و سقف‌های بتنی اجرا شده در محل کارگاه، قاب‌ها یا پیش قاب‌های درها و پنجره‌ها که قبل از بتن‌ریزی در دیوارها نصب می‌شوند و تأسیسات مکانیکی و الکتریکی کار گذاشته شده در دیوار و سقف، تشکیل می‌شود. بارگذاری و طراحی شالوده، دیوارها و سقف‌های این سیستم باید مانند ساختمان‌های بتنی مسلح مطابق ضوابط مباحث ششم، هفتم و نهم مقررات ملی ساختمان انجام گیرد.

برای اجرای کلیه قسمت‌ها، قالب‌های یکپارچه فلزی که در آن تمام پیش‌بینی‌های لازم برای مسیرهای توزیع تأسیسات، نصب در و پنجره و غیره به عمل آمده است، طراحی و ساخته می‌شود. دیوارها و سقف‌ها به صورت همزمان بتن‌ریزی می‌شوند و پس از برداشت قالب، ساختمان آماده نصب سرویس‌ها، اجرای رنگ و نصب شیشه است. به طور کلی تمام دیوارها، سقف‌ها و جداکننده‌ها از بتن مسلح بوده و پس از قالب‌برداری، هیچ گونه عملیات بنایی در آن صورت نمی‌گیرد.

ویژگی مهم این سیستم امکان استفاده از ابزار، ماشین‌آلات و نیروی انسانی آموزش دیده برای افزایش سرعت اجرای کار، ارتقای کیفیت و استفاده بهینه از منابع است. استفاده از این روش پیشرفته، نیاز به میزان قابل توجهی سرمایه‌گذاری اولیه دارد و این سرمایه‌گذاری تنها در حجم‌های بالا و تولید انبوه، مفهوم اقتصادی پیدا می‌کند. به عبارت دیگر تولید انبوده مسکن، توجیه کننده و فراهم کننده‌ی شرایط این نوع تولید صنعتی ساختمان است.

۳-۲- ویژگی‌های فنی

روش قاب بتنی پیوسته (قالب تونلی) یک سیستم سازه‌ای است که برای اجرای ساختمان‌های بتنی با سیستم دیوار باربر و سقف بتنی استفاده می‌شود. در این روش دیوارها و سقف به طور یکپارچه و همزمان بتن‌ریزی می‌شوند. قالب تونلی ضمن بالا بردن سرعت کیفیت اجرا، عملکرد سازه‌ای و رفتار لرزه‌ای مجموعه سازه را با تأمین یکپارچگی اعضا و اتصالات آنها، به نحو چشمگیری بهبود می‌بخشد.

عناصر باربر در روش قاب بتنی پیوسته، دیوارها و سقف‌ها (دال‌های بتنی) هستند. دیوارها عناصر اصلی مقاوم در برابر بارهای جانبی، و انتقال دهنده‌ی بارهای قائم از دال‌ها به پی‌ها هستند. سقف‌ها وظیفه‌ی تحمل و انتقال بارهای قائم و جانبی به دیوارها را به عهده دارند. لازم به ذکر است بتن‌ریزی قاب‌های بتنی پیوسته (سیستم قاب تونلی) باید به گونه‌ای انجام شود که در محل اتصال دیوار به سقف، درزهای سرد ایجاد نشود. بدین ترتیب که پس از اتمام بتن‌ریزی دیوار، آخرین لایه دوباره ویبره شود تا بتن دیوار نشست خود را انجام دهد ولی به مرحله‌ی گرفتن اولیه نرسد، سپس بتن-ریزی دال اجرا شود. در این صورت احتمال ترک‌خوردگی دال و دیوار و تمرکز تنش در محل اتصال به حداقل می‌رسد.

سیستم قاب بتنی پیوسته، از نظر سازه‌ای، عملکرد جعبه‌ای دارد و به عنوان یک عنصر یکپارچه و سه بعدی در برابر بارهای قائم و جانبی عمل می‌کند. در ساختمان‌های مسکونی با دهانه‌های متداول، ضخامت سازه‌ی سقف این سیستم ۱۵ تا ۱۸ سانتی‌متر می‌باشد که نسبت به ضخامت سقف در

سازه‌های بتنی متداول با سقف تیرچه بلوک (به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر)، ۱۲ تا ۱۵ سانتی‌متر کمتر بوده و این موضوع در کاهش ارتفاع ساختمان و کاهش مصرف مصالح مؤثر است.

شکل (۳-۲) : عملکرد جعبه‌ای سیستم قاب بتنی پیوسته (قالب تونلی)

مبانی تحلیل سازه‌ها و نیز بررسی خرابی‌های پس از وقوع زلزله، گویای این مطلب است که هرچه مشارکت اعضای سازه‌ای در باربری بیشتر باشد، رفتار لرزه‌ای سازه مناسب‌تر و مطلوب‌تر خواهد بود. با توجه به این اصل، در صورت کافی بودن دیوارهای سازه‌ای از لحاظ سطح مقطع و مناسب بودن موقعیت قاب‌های بتنی پیوسته، این نوع ساختمان‌ها رفتار لرزه‌ای قابل قبولی نشان می‌دهند. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ زلزله در خصوص طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، مقدار ضریب رفتار ساختمان برای سیستم دیوارهای باربر با شکل‌پذیری متوسط (دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط) برابر ۴ بوده و حداکثر ارتفاع مجاز این سیستم ۵۰ متر است.

به طور خلاصه ویژگی‌های فنی سیستم قاب بتنی پیوسته عبارت است از:

- یکپارچگی سیستم و رفتار مناسب لرزه‌ای آن به دلیل عملکرد جعبه‌ای سازه

- تغییر ماهیت تمرکز تنش از حالت گره‌ای و متمرکز به صورت گسترده به علت تبدیل سازه از سیستم دال- تیر- ستون به سیستم دال- دیوار
- عملکرد مطلوب سقف سازه به صورت دیافراگم صلب و قابلیت انتقال بارهای قائم و جانبی به دیوارها.
- افزایش درجه نامعینی سازه و تأخیر بیشتر در تشکل لولاهای خمیری در اعضاء و در نتیجه قابلیت تحمل بیشتر نیروها و لنگرها
- تقارن سازه‌ای و منظم بودن ساختمان در مقطع و پلان

۳-۳- ملاحظات معماری

در سیستم قاب بتنی پیوسته با توجه به مدولار بودن قالب‌ها، بهترین اندازه‌ها در پلان از نظر معماری، نزدیکترین آنها به ابعاد قالب‌هاست. طراحی معماری در این روش، به دلیل محدودیت دهانه قالب‌ها باید با ابعاد قالب سازگار و منطبق باشد.

mod·u·lar /'mɒdjələ, 'mɒdjʊlə $ 'mɑːdʒələr/ *adjective*

consisting of separate parts or units which can be put together to form something, often in different combinations:

- *a modular course in business studies*
- *Most colleges now use the modular system of teaching.*
- *modular furniture*

بند ۱۱-۶-۵-۱- مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان- در طراحی معماری سیستم قالب تونلی با توجه به باربر بودن دیوارها، در نظر گرفتن ملاحظات کامل سازه‌ای از جمله عدم تغییر مسیر انتقال بار در ارتفاع، فاصله دهانه‌های باربر، تأمین تقارن در طرح دیوارهای باربر، جلوگیری از تعبیه بازشوهای بزرگ در دیوارها، سقف و نظایر آن الزامی است.

بند ۱۱-۶-۵-۲- در سیستم قالب تونلی، ساختمان باید دارای شکل متقارن یا تقریباً متقارن نسبت به محورهای اصلی بنا باشد.

در سیستم قاب بتنی پیوسته به علت آن که دیوارها عناصر سازه‌ای باربر بوده و سهم عمده باربری جانبی را نیز بر عهده دارند، تقارن این دیوارها نسبت به هر دو امتداد سازه و در نتیجه ایجاد سختی متقارن نسبت به هر دو امتداد، امری بسیار مهم به شمار می‌رود. این امر موجب جلوگیری از بروز پیچش نامتقارن در سازه می‌شود. بدیهی است، رعایت این مطلب در مورد موقعیت و اندازه‌ی بازشوهای اجتناب‌ناپذیر در دیوارهای بتنی نیز از اهمیت بسیاری برخوردار است.

بند ۱۱-۶-۵-۳- امکان تغییر ابعاد قطعات قالب، پس از ساخت و تولید قالب منتفی است.

معیارها و نکات اصلی که باید در طراحی معماری این سیستم مورد توجه قرار گیرد، عبارتند از:

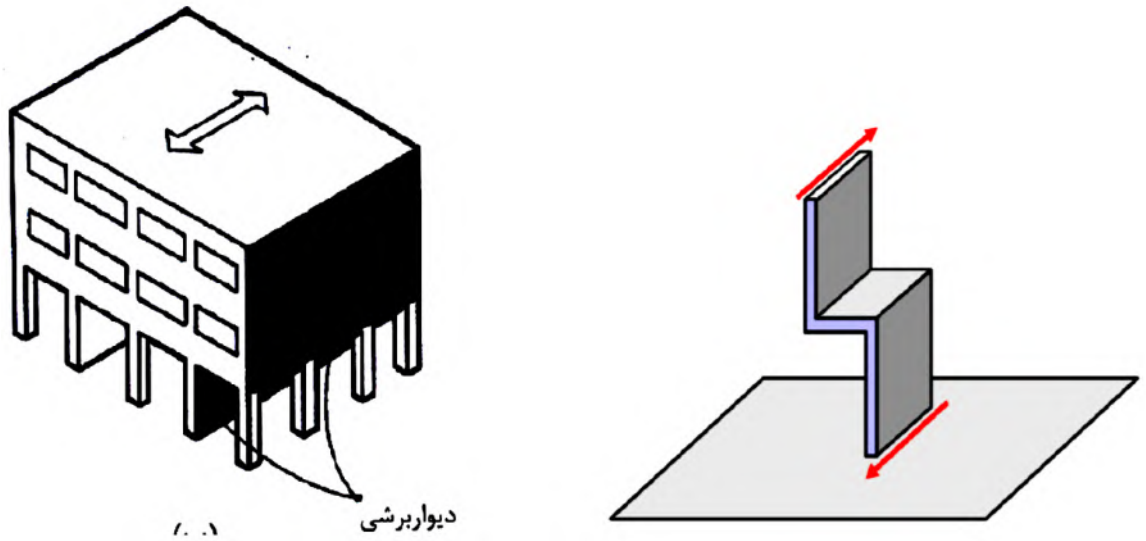
- در صورت استقرار ساختمان‌ها به صورت بلوک‌های خطی و موازی هم، حداکثر پیش‌آمدگی یا تورفتگی در هر ردیف (به منظور سهولت حرکت جرثقیل‌ها) ۱/۵ متر در نظر گرفته می‌شود.
- در صورتی که جرثقیل به صورت ریلی حرکت کند، حداکثر شیب زمین باید ۱٪ باشد.
- در صورتی که نیاز به زیرزمین باشد، بهتر است از روش سقف و دیوار جداگانه متداول بتنی در زیر زمین استفاده شود و در صورت استفاده از قالب تونلی در ساخت زیرزمین، از فضای اضافی مورد نیاز برای اجرای این روش و حرکت قالب‌ها برای توسعه زیرزمین در محوطه استفاده شود.
- به منظور کاهش حجم کانال‌های تأسیساتی و بازشوهای سقف، در صورت استفاده از کولر آبی، این تجهیزات در بالکن‌ها یا فضاهای مشابه در همان طبقه پیش‌بینی شوند.
- در ساختمان‌های حداکثر ۴ طبقه، طراحی پلان‌ها به نحوی باشد که قالب‌ها از یک طرف و عمود بر جهت استقرار ساختمان‌ها خارج شوند و در ساختمان‌های بیش از ۴ طبقه توصیه می‌شود پلان‌ها به گونه‌ای باشند که تعداد دیوارهای برشی در دو جهت عمود بر هم تقریباً یکسان باشند.
- اندازه دهانه تونل‌ها، به منظور کنترل تنش‌ها در سقف و نیز زیاد نشدن ضخامت دال بتنی سقف، بین ۳ تا ۵/۵ متر توصیه می‌شود. عمق تونل‌ها نیز حداکثر ۶ متر توصیه می‌شود.
- به منظور سهولت قالب‌بندی و اقدامات تکمیلی بعدی، بهتر است که فضاهای تر و داکت‌های تأسیساتی در طبقات روی هم قرار گیرند.
- از آنجا که میزان مصرف میلگرد در این روش نسبت به سازه‌های بتنی بلند مرتبه کمتر است، با توجه به سرعت کار بالاتر جرثقیل‌ها هنگام اجرای سقف‌های متعدد، توصیه می‌شود از این روش در ساختمان‌های بلند مرتبه و تکرارپذیر استفاده شود.
- محل استقرار تجهیزات بهداشتی روی دیوارهای غیرسازه‌ای پیش‌بینی شود.
- داکت‌های تأسیساتی به صورت متمرکز و قابل دسترسی در نظر گرفته شود و سرویس‌ها در اطراف آنها مستقر شوند.

- به دلیل امکان پیش ساخته شدن پله‌های بتنی، بهتر است از پله‌های دوطرفه رفت و برگشتی برای ارتباط عمودی در ساختمان استفاده شود.
- بهتر است از ایجاد اختلاف سطح در طبقات ساختمان اجتناب شود.

۳-۴- ملاحظات طراحی

بند ۱۱-۶-۶-۵ – برای جلوگیری از تمرکز تنش‌های موضعی و نیز به حداقل رساندن اثر پیچش، پیوستگی دیوارهای برشی سازه‌ای در سرتاسر ارتفاع باید حفظ گردد.

بند ۱۱-۶-۶-۶ – انتقال بارهای قائم به شالوده باید توسط عناصر قائم و هم امتداد صورت پذیرد و از تغییر مسیر انتقال بارهای قائم در ارتفاع و انتقال آنها به عناصر زیری توسط اعضای افقی اجتناب شود.



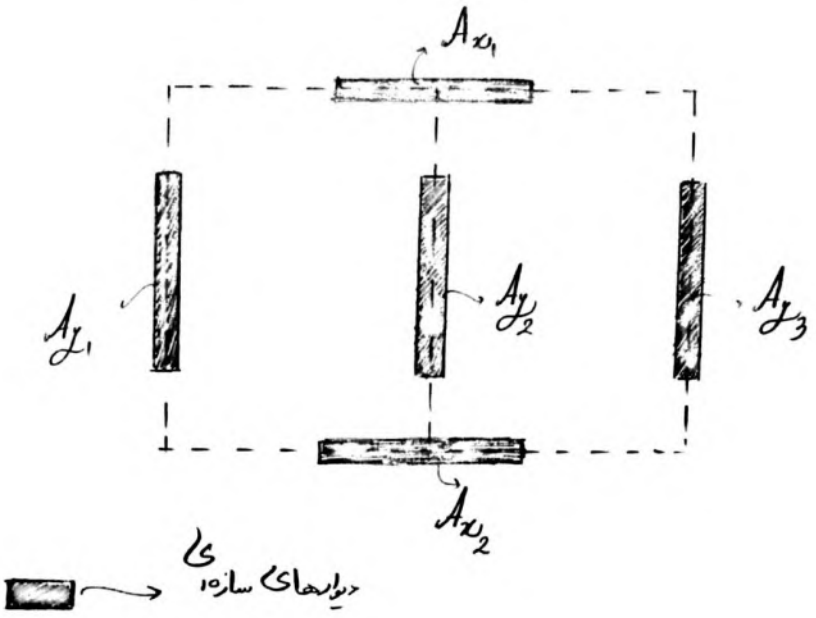
شکل (۳-۳) : تغییر مسیر انتقال بار قائم و انتقال آنها به عناصر افقی

بند ۱۱-۶-۶-۷ – برای تأمین حداقل نامعینی سازه، لازم است تعداد محور دیوار یا قاب (سیستم مقاوم)، در هر یک از جهت‌های اصلی کمتر از ۲ نباشد.

بند ۱۱-۶-۶-۸ – توصیه می‌شود سطح مقطع اسمی دیوارهای سازه‌ای در یک جهت از هشتاد درصد سطح مقطع دیوارهای سازه‌ای در جهت دیگر، کمتر نباشد.

بند ۱۱-۶-۶-۱۱ – در سیستم قاب تونلی اتصال دیوارهای داخلی و خارجی سازه‌ای به سقف باید بصورت هم زمان اجرا شود.

بند ۱۱-۶-۶-۱۵ – حداقل مقاومت مشخصه فشاری بتن برای این سیستم‌ها باید ۲۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شود.



A_{x_i} = سطح مقطع افقی دیوار سازه‌ای (i) در راستای x

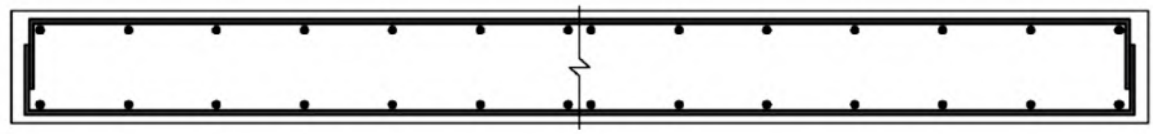
A_{y_i} = سطح مقطع افقی دیوار سازه‌ای (i) در راستای y

$$0.8\,(A_x)_{Total} \leq (A_y)_{Total} \leq 1.25\,(A_x)_{Total}$$

$$0.8\,(A_y)_{Total} \leq (A_x)_{Total} \leq 1.25\,(A_y)_{Total}$$

دیوارهای موجود در سیستم قالب تونلی، به طور عمده دارای سختی درون صفحه‌ای هستند و عمود بر صفحه دارای سختی چندانی نیستند. طراحی این دیوارها تحت بارهای محوری، گشتاورهای خمشی ناشی از برون محوری و نیز بارهای جانبی انجام می‌شود. لنگرهای برآیند که باعث ایجاد گشتاور حول محور ضعیف دیوار می‌شوند، باید در طراحی مورد توجه قرار گیرند.

برای طراحی و اجرای سازه‌های قاب بتنی پیوسته، از یکی از انواع دیوارهای برشی با نام دیوار برشی یکنواخت استفاده می‌شود. در این نوع دیوار برشی، میلگردگذاری به طور یکنواخت و با فواصل یکسان در طول دیوار اجرا می‌شود. از این سیستم برای اجرای دیوارهای باربر بتنی، که باید هم بارهای ثقلی و هم بارهای جانبی را تحمل کنند، استفاده می‌شود. این دیوارها می‌توانند به صورت بتن درجا اجرا شوند و یا پیش ساخته باشند.



شکل (۳-۴) : دیوار برشی با آرماتورگذاری یکنواخت

۳-۵- ملاحظات اجرائی

بند ۱۱-۶-۷-۱ – سیستم قالب تونلی می‌تواند به یکی از سه روش زیر یا روش‌های مجاز شناخته شده توسط آئین‌نامه‌های معتبر اجرا شود:

الف- اجرا با استفاده از قالب‌بندی کامل و هم زمان دیوارها و سقف‌ها (سیستم تونلی)

در این روش اجرایی، پس از آرماتوربندی با استفاده از قالب‌های $\mathcal{L}$ شکل، دیوارها و زیر سقف، قالب‌بندی می‌شوند. سپس بتن‌ریزی دیوارها و سقف به صورت هم‌زمان و در یک مرحله انجام می‌شود که باعث ایجاد یکپارچگی سازه دیوار و سقف می‌شود.

در این سیستم، قالب دیوار و سقف کاملاً در یکدیگر ادغام شده‌اند. این امر باعث سرعت بیشتر در اجرا می‌شود، زیرا دیوار و سقف در یک مرحله اجرا می‌شوند.

شکل (۳-۵) : قالب تونلی

ب- اجرا با استفاده از قالب‌های موسوم به میز پرنده[1] (سیستم نیمه تونلی)

در اجرای سیستم قالب تونلی به این روش، پس از اجرای یکپارچه و همزمان دیوارهای بتن مسلح توسط قالب‌های تخت و گیرش اولیه بتن دیوارها، قالب‌های بزرگی به شکل میز با پایه متکی به چرخ یا غلتک موسوم به میز پرنده مورد استفاده قرار گرفته و کل سطح زیرین سقف توسط این قالب‌ها پوشش داده می‌شود سپس سقف آرماتوربندی و بتن‌ریزی می‌شود.

در این سیستم از قالب فلزی یکپارچه استفاده می‌شود. قالب‌ها برای دیوار به صورت کامل مونتاژ می‌شوند. قالب دیوار خارجی با نام دیوار انتهایی، متکی بر دیوار، به صورت لغزنده بالا می‌روند. قالب‌های داخلی نیز پس از قالب‌برداری و پس از اجرای هر سقف در طبقه بالاتر به کار می‌روند. میزهای پرنده برای قالب‌بندی سقف مورد استفاده قرار می‌گیرند. این میزها از جنس آلومنیوم سبک ساخته می‌شوند.

1 . *Traveling Formwork*

شکل (۳-۶) : قالب میز پرنده

ج- اجرا با استفاده از دال‌های نیمه پیش‌ساخته و پیش ساخته برای سیستم سقف

در این روش مانند روش اجرای میز پرنده، ابتدا دیوارهای بتن مسلح توسط قالب‌های تخت به صورت یکپارچه و هم زمان اجرا می‌شوند. پس از گیرش اولیه بتن دیوارها، سیستم سقف با استفاده از دال‌های نیمه پیش‌ساخته ساده یا خرپایی یا دال‌های پیش‌ساخته که بر روی لبه دیوارهای جانبی فضاها قرار می‌گیرند، اجرا می‌شود. در این روش، اگر دال نیمه پیش‌ساخته مورد استفاده قرار گرفته باشد، پس از تعبیه آرماتورهای بالایی سقف و میلگردهای اتصال سقف به دیوار، بتن‌ریزی قسمت بالایی دال و محل‌های اتصال دال به سقف صورت می‌گیرد.

۳-۶- مشخصات سیستم قالب‌بندی

سیستم قالب‌بندی تونلی نسبت به سایر سیستم‌ها، از نظر تعداد درز تفاوت زیادی دارد. برای مثال در این سیستم سطوح تا ۲۰ متر مربع به طور یکپارچه بدون درز پوشانده می‌شوند. قطعات بزرگ و سبک دیوارهای خارجی و داخلی، با سرعت زیاد به وسیله جرثقیل برجی در محل خود قرار داده

شده و توسط پیچ به یکدیگر متصل می‌شوند. به طول مثال طی ۵ ساعت، یک مجموعه قالب برای اجرای دو واحد مسکونی ۸۴ مترمربعی بسته می‌شود. قالب‌ها در این سیستم سبک‌تر از دیگر سیستم‌های قالب‌بندی هستند و وزن قالب دیوار و سقف به ترتیب برابر ۶۸ و ۴۸ کیلوگرم بر متر مربع است.

قالب‌های سقف، متشکل از پانل‌های فلزی سبک، با دهانه‌های کمتر از ۳/۵ متر هستند. این پانل‌ها بر روی دو ردیف از ریل‌ها که توسط شمع‌های فلزی نگه داشته می‌شوند، قرار گرفته و به وسیله نیروی حاصل از جک‌های هیدرولیک که در قسمت‌های مناسب قرار گرفته‌اند، در محل مورد نظر قرار می‌گیرند. باید توجه داشت که به طور معمول در این سیستم اجرای بتن‌ریزی به صورت خطی است و به همین جهت هنگام نصب قالب، میلگردبندی‌ها باید به گونه‌ای انجام شود که هنگام حرکت قالب به سمت جلو، برای اجرای بتن‌ریزی قسمت بعدی، میلگردها یا به طور کلی بتن‌ریزی قسمت اجرا شده باعث ایجاد مشکل برای حرکت قاب و قرار گرفتن در محل جدید نشوند. قابل ذکر است که به دلیل پیچیدگی نصب این نوع قالب‌ها، باید برای قالب‌بندی از نیروی انسانی آموزش دیده استفاده شود.

شکل (۳-۷) : قالب میز پرنده

بند ۱۱-۶-۷-۳-۱ – در سیستم قالب تونلی، لازم است قالب‌های خاصی با اندازه‌های تیپ و مدولار طراحی، ساخته و استفاده شوند.

۳-۷- مراحل اجرا

اجرای سیستم قاب بتنی پیوسته (قالب تونلی) به طور معمول طی مراحلی به شرح زیر انجام می-شود:

الف- عملیات خاکی و آماده‌سازی بستر

ابتدا نقشه‌ی موقعیت ساختمان و یا جانمایی بلوک‌ها در سایت، توسط گروه نقشه‌برداری پیاده شده و خاک نباتی آن برداشته می‌شود. سپس سطح مورد نظر تسطیح شده و خاک بستر متراکم می‌شود. در نهایت نیز زیر شالوده بتن مگر (نظافت) اجرا می‌گردد.

ب- قالب‌بندی و بتن‌ریزی پی

پس از اجرای بتن مگر، قالب‌بندی و میلگردبندی پی انجام می‌شود. قبل از بتن‌ریزی پی کلیه کنترل‌های لازم از جمله قطر و تعداد میلگردهای پی و موقعیت میلگردهای انتظار دیوارها مطابق چک لیست‌ها انجام می‌شود.

پ- قالب‌بندی و بتن‌ریزی دیوار

بلافاصله پس از گرفتن اولیه بتن پی (یا سقف)، عملیات اجرای دیوار آغاز می‌شود. در کلیه مراحل مسئول کنترل کیفیت میلگردبندی، میلگرد دیوارها را کنترل می‌کند. پس از میلگردبندی، فاصله-گذاری‌های پلاستیکی[1] در فواصل معین، نصب می‌شوند. این فواصل قبلاً در نقشه‌های اجرایی مشخص شده‌اند.

بند ۱۱-۶-۷-۳-۲ – استفاده از رابط دو طرف قالب (تای بولت) برای اتصال دو قالب مجاور در قسمت‌های افقی و از طریق حفره‌های تعبیه شده در قالب، الزامی است.

بند ۱۱-۶-۷-۳-۳ – استفاده از غلاف پلیمری (برای مثال لوله *PVC*) برای اینکه رابط دو طرف قالب مستقیماً با بتن در تماس نباشد و آزاد سازی آن آسانتر باشد، بلامانع است.

در سیستم قاب بتنی پیوسته، کلیه لوله‌های برق، قوطی‌های کلید و پریز و چراغ‌ها در داخل قالب، روی شبکه میلگرد، نصب می‌شوند. لوله‌ها در دیوارها حرکت افقی نداشته و به صورت عمودی از محل کلید و پریز به سمت بالا قرار می‌گیرند، تا هنگام بتن‌ریزی آسیب نبینند. حرکت افقی لوله‌های برق، به طور کامل در بتن سقف انجام می‌گیرد.

بند ۱۱-۶-۷-۳-۱۱ – به منظور جلوگیری از صدمه دیدن لوله‌های برق در هنگام بتن‌ریزی، باید لوله‌های برق به صورت عمودی در دیوارها اجرا شوند.

بند ۱۱-۶-۷-۳-۱۲ – ارتباطات افقی لوله‌های برق باید فقط در کف انجام شود.

بخشی از قطعات فلزی مدفون در بتن[2]، صفحات اتصال تیرهای فلزی پله‌ها به ساختمان اصلی هستند. صفحات فلزی با شاخک‌های جوش شده به پشت آن، به نحوی با میلگردها متصل می‌شوند که سطح آنها کاملاً به سطح قالب چسبیده باشد. چارچوب‌های درها، با استفاده از ابزار مخصوص روی قالب نصب می‌شوند. قالب‌های دو طرف یک دیوار به نام قالب شماره ۱ و قالب شماره ۲، نام-گذاری می‌شوند. هنگام قالب‌بندی، ابتدا قالب شماره ۱ نصب شده و هنگام قالب‌برداری ابتدا قالب شماره ۲ باز می‌شود.

بند ۱۱-۶-۷-۳-۱۰ – محل‌های بازشو بزرگ مانند درگاه‌ها باید با قالب‌بندی فلزی تعبیه گردند و بازشوهای کوچک تأسیساتی باید با قالب‌بندی چوبی یا پلی‌استایرنی ایجاد شوند تا بتن وارد فضاهای مورد نظر نشود.

---

1 . *Spacer*

2 . *Embedded Elements*

در پوش کلید و پریز و چارچوب درها و پنجره‌ها اغلب روی قالب شماره ۱ نصب می‌شوند. قالب-گذاری بر اساس موقعیت و به ترتیب شماره‌گذاری انجام می‌شود. رعایت توالی باز و بسته کردن قالب‌ها بر اساس چک لیست الزامی است. مراحل بتن‌ریزی دیوارها، طبق نقشه و مشخصاتی که گروه کنترل کیفیت ارائه می‌نماید، انجام می‌شود.

بند ۱۱-۶-۷-۳-۴ – استفاده از سوراخ‌های به جای مانده از رابط‌های دو طرف قالب برای نصب نما به جدار بتنی و نیز اجرای سکو (پلت فرم) موقت طبقه فوقانی بلامانع است.

بند ۱۱-۶-۷-۳-۵ – بازشدگی در دیوار و سقف باید با پیش‌بینی در قالب‌بندی اجرا شود. قالب‌بندی بازشوها می‌تواند فلزی یا چوبی باشد.

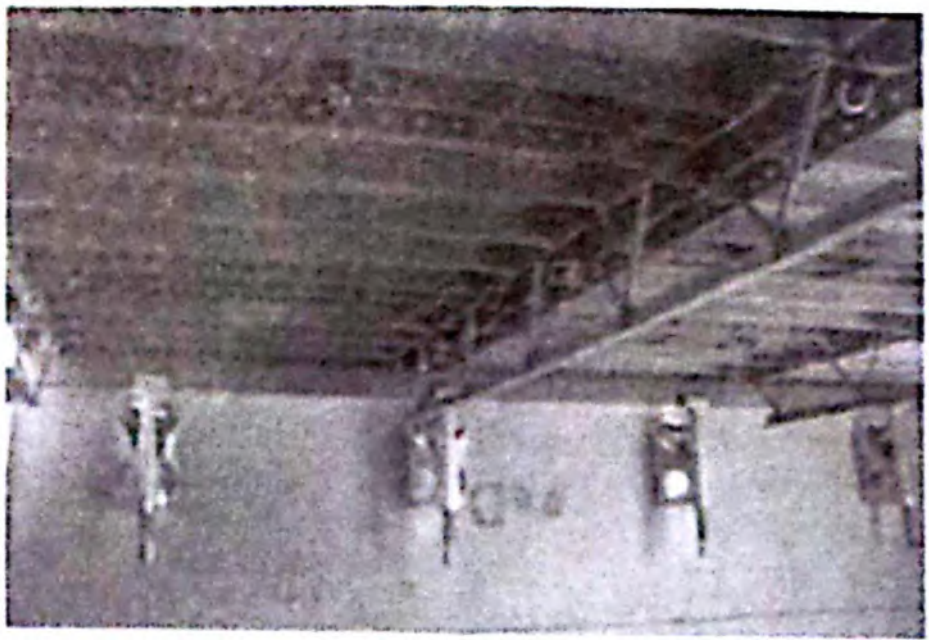
بند ۱۱-۶-۷-۳-۶ – تمهیدات لازم برای تثبیت قالب اطراف بازشدگی باید در نظر گرفته شود.

در نقشه‌ها محل شروع و اتمام هر لایه بتن‌ریزی مشخص شده است. پس از گرفتن بتن، که بسته به آب و هوا حدود ۱۰ الی ۱۲ ساعت به طول می‌انجامد، پیچ‌ها باز شده و قالب‌های شماره ۲، به ترتیبی که در جداول پیش‌بینی شده است، باز و سپس به صورت ایستاده روی زمین قرار می‌گیرند.

ت- قالب‌بندی و بتن‌ریزی سقف

قالب‌های سقف روی زمین و بر اساس نقشه‌های کارگاهی برای هر فضا، مونتاژمی‌شوند. بهتر است این مونتاژ روی سطحی که قبلاً کاملاً تسطیح شده، انجام گیرد. به این ترتیب سطح خارجی قالب‌ها آسیب نمی‌بینند. اتصال قالب‌های مدولار و تیرچه‌ها با بست‌های مخصوص انجام شده و قطعات با این بست‌ها به هم متصل می‌شوند. در این زمان با توجه به ابعاد فضاها، قطعات غیرمدولار به مجموعه اضافه می‌شود. همزمان با این کار، قطعات موسوم به فانوسی و جک مربوطه، در محل سوراخ پیچ‌های ردیف بالایی قالب‌های دیوار نصب می‌شوند. این قطعات تکیه‌گاه اصلی قالب‌های سقف هستند.

روی این فانوسی‌ها تیرهای اصلی نصب شده و تراز کردن سقف به وسیله این قطعات، پیش از قالب‌گذاری انجام می‌گیرد. قالب سقف پس از مونتاژ، ابتدا پشت و رو شده، سپس با جرثقیل روی تیرهای اصلی قرار می‌گیرد. نقشه نصب فانوسی‌ها روی دیوارها، مونتاژ قالب‌ها به ابعاد مختلف و استفاده از قطعات مختلف، قبلاً تهیه و در اختیار گروه اجرا قرار می‌گیرد.



شکل (۳-۸): قالب‌بندی و بتن‌ریزی سقف، اتصال قالب‌های مدولار و تیرچه‌ها با بست‌های مخصوص

پس از نصب قالب اصلی، قطعات پرکننده کنار دیوارهای بتنی، با خال جوش به هم متصل می‌شوند، تا هنگام بتن‌ریزی حرکت نکنند. سپس عملیات روغن کاری سقف انجام می‌شود. میلگردبندی سقف طبق نقشه‌های اجرایی انجام می‌شود. پیش از میلگردبندی، گروه نقشه‌برداری محل داکت‌ها و هر آنچه را که لازم باشد روی سقف نصب شود، مشخص می‌کند.

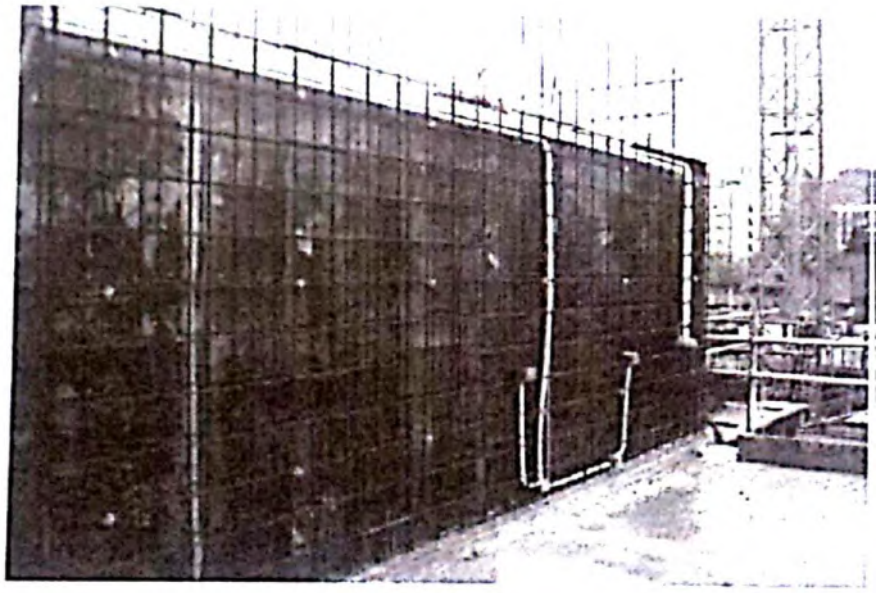
پس از میلگردبندی، گروه برق برای نصب لوله‌های برق و اتصال آنها با لوله‌های انتظار برق شروع به کار می‌کند. لوله‌ها، ارتباط بین پریزها، کلیدها و چراغ‌ها و همچنین ارتباط کلی با تابلوهای برق را برقرار می‌نمایند. بازکردن قالب سقف، به وسیله باز کردن بست‌های مخصوص به صورت قطعه قطعه انجام می‌گیرد. قالب‌ها توسط جرثقیل از محل بازشوها یا بالکن‌ها به زمین منتقل می‌شوند. بعد از این مرحله قالب‌های سقف برای کارهای بعدی تمیز کاری می‌شوند.

ث- اجرای عایق‌کاری

بتن و به ویژه بتن مسلح جزء مصالحی است که بیشترین میزان انتقال حرارت را دارد. ضریب هدایت حرارت بتن ۷۵ درصد بیش‌تر از سفال و حداقل سه برابر بیشتر از گچ است. به همین دلیل باید عایق‌کاری حرارتی مناسب برای جداره‌های تشکیل دهنده‌ی پوسته خارجی و داخلی ساختمان در نظر گرفته شود.

ج- نصب اجزای تأسیسات

برای عبور تأسیسات از داخل سقف‌ها، پس از آن که میلگردهای دیوار طبقه فوقانی به میلگردهای انتظار سقف وصل شدند، داکت‌ها، جعبه‌های تقسیم، کابل‌های برق و لوله‌های آب از درون قالب‌های سقف عبور داده می‌شوند. لازم به ذکر است که تحت هیچ شرایطی لوله‌ها نباید در ضخامت پوشش بتن قرار گیرند.



شکل (۳-۹): اجرای تأسیسات الکتریکی همزمان با اجرای سازه

بند ۱۱-۶-۷-۳-۱۳ – عبور لوله‌های تأسیسات از دیوارها، باید توسط سوراخ‌هایی که پیش از بتن-ریزی در آنها پیش‌بینی شده انجام شود.

شکل (۳-۱۰): اجرای تأسیسات مکانیکی همزمان در دیوار

تذکر: محل مشخص شده برای نصب قوطی کلیدها به گونه‌ای پیش‌بینی شود که در محل تجمع میلگردها واقع نشود.

تذکر: جنس لوله برق مورد استفاده در سیستم قالب تونلی باید لوله پی‌وی‌سی سخت شاخه‌ای (۶ متری) و یا لوله پلی‌اتیلن کلافی (۲۰۰ متری) باشد.

۳-۸- مراحل اجرای قالب‌بندی

ترتیب اجرای قالب‌بندی در روش قالب تونلی به شرح زیر است:

- میلگردبندی و قالب‌بندی پی
- نقشه‌برداری برای پیاده کردن دقیق محل دیوارها در پی
- میلگردبندی ریشه‌های دیوار در پی (میلگردهای انتظار)
- بتن‌ریزی پی
- میلگردبندی قسمت عمودی دیواره‌ها
- اجرای رامکا
- بتن‌ریزی رامکا
- تکمیل میلگردبندی دیواره‌ها
- تعیین خط تراز در روی رامکا برای مشخص کردن تراز دیوار و تراز اجرای تأسیسات الکتریکی مانند کلید و پریز
- نصب قوطی‌های کلید و پریز و لوله‌های برق
- قالب‌بندی بازشوی دیوار
- پیش‌بینی غلاف‌های تأسیسات مکانیکی در دیوارها
- حمل و استقرار قالب‌های تونلی
- اتصال قالب‌های مجاور به وسیله‌ی پیچ و مهره نگهدارنده[1] و استقرار همزمان قالب‌های خارجی
- تنظیم قالب‌ها توسط پیچ‌های تنظیم زیر قالب و سقف
- اتصال نیم قالب‌ها در محل درز زیر سقف به یکدیگر
- میلگردبندی شبکه‌ی زیرین سقف

1 . *Tie Bolt*

- اجرای قالب‌بندی بازشوها و لوله‌های تأسیساتی و برقی در سقف
- لوله‌کشی برقی روی سقف و نصب محل چراغ‌های سقف طبق ضوابط اعلام شده
- اجرای شبکه‌ی دوم میلگردهای سقف
- نصب قالب‌های کناری سقف‌ها
- اجرای رامکا
- بتن‌ریزی دیوارها و سقف به طور همزمان

نکته: برای اجرای رامکا از قالب‌های نواری به ارتفاع حدود ۱۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود. پس از اجرای رامکا و باز کردن قالب‌ها باید میلگردبندی دیوارها در امتداد میلگردهای انتظار خارج شده از رامکا انجام شود.

۳-۹- الزامات اجرایی سیستم سازه

قالب‌بندی در این روش با استفاده از چیدمان‌های مختلف به شرح زیر صورت می‌گیرد:

- قالب پشت به پشت

- قالب‌های متوالی

- قالب واسط یا فیلر

۳-۱۰- بررسی سیستم از نظر اقتصادی

از آنجا که این سیستم بر اساس ایجاد صندوقه‌های مقاوم بتنی شکل گرفته است، میزان مصرف بتن و میلگرد مهم‌ترین عامل در برآورد هزینه اجرای این روش است. مهم‌ترین نکته‌ای که در این زمینه قابل ذکر است، امکان استفاده مجدد قالب‌ها و قطعات در یک دوره زمانی ۲۴ ساعته است.

این خصوصیت در بین اکثر سیستم‌های قالب‌بندی منحصر به فرد است. این مزیت منجر به کاهش تعداد قالب‌های مورد نیاز در پروژه بدون افزایش مدت زمان اجرای آن یعنی کاهش هزینه‌ها خواهد شد. نکته دیگری که در زمینه این قالب‌ها قابل ذکر است، سبکی آنها نسبت به قالب‌های متداول است. برای مثال وزن قالب‌ها دیوار و سقف به کار رفته در این روش حدود ۶۸ و ۴۸ کیلوگرم بر متر مربع است که بسیار کمتر از وزن متوسط قالب‌های به کار رفته در واحدهای مسکونی متداول است. در ضمن قالب‌بندی به کمک این سیستم، تعداد پیچ و مهره‌ها کمتر خواهد بود. این امر هزینه نصب قطعات و نیروی انسانی مورد نیاز آن را به نحو مؤثری کاهش می‌دهد.

۳-۱۱- بررسی سیستم از نظر انرژی

یکی از مزیت‌های بناهای ساخته شده با این سیستم نسبت به سایر بناها، یکپارچگی و دقت ناشی از اجرای صنعتی جداره‌هاست. این امر سبب کاهش اتلاف انرژی از خلال درزهای ساختمان می‌شود. از سوی دیگر سطوح صاف و تراز جداره‌ها موجب سهولت اجرای لایه عایق می‌شوند.

۳-۱۲- بررسی سیستم از نظر عایق‌بندی صدا

از آنجا که در سیستم قاب بتنی پیوسته (قالب تونلی) همه اجزا واجد یکپارچگی و انسجام هستند، گسترش صدای کوبه‌ای در آن با سرعت بیشتری صورت خواهد گرفت. برای کاهش این مشکل، یک لایه ۵ سانتی‌متری پروپیلن، پیش از ریختن بتن کف طبقات و در زیر لایه بتن اجرا می‌شود. به این ترتیب مزاحمت ناشی از انتشار صدای کوبه‌ای کاهش می‌یابد.

۳-۱۳- بررسی سیستم از نظر تأثیرات زیست محیطی

در این سیستم از مصالح مضر و یا خطرناک برای محیط زیست، استفاده نمی‌شود و می‌توان این روش را به دلیل عدم تأثیرات سوء بر محیط زیست به عنوان سیستمی مناسب ارزیابی کرد. همچنین این سیستم از لحاظ عمر مفید سازه‌ای، در زمره‌ی سیستم‌های پایدار قرار می‌گیرد که این امر در ارزیابی تأثیرات زیست محیطی این روش نکته‌ای مثبت تلقی می‌شود. شایان ذکر است که این سیستم به دلیل استفاده‌ی گسترده از سیمان، به عنوان یکی از مهمترین مصالح مورد نیاز، از نظر زیست محیطی در این دیدگاه روش مطلوبی شناخته نمی‌شود.

۳-۱۴- مزیت‌های سیستم قاب بتنی پیوسته (قالب تونلی)

- یکپارچه بودن سیستم سازه‌ای
- اقتصادی بودن آن برای پروژه‌های مسکونی بلند طبقه

- کنترل کیفیت مناسب در محل کارگاه
- تعبیه سیستم تأسیسات مکانیکی و برقی در حین اجرای سازه
- تسریع در عملیات اجرایی نسبت به روش‌های اجرایی متداول

مزایا (شاخص‌های برتر) اقتصادی و فنی روش‌های صنعتی تولید ساختمان که از مزایای روش قاب بتنی پیوسته (قاب تونلی) نیز محسوب می‌شوند، شامل موارد زیر است:

❖ مزایای اقتصادی

- ✓ سرعت ساخت
- ✓ کاهش هزینه ساخت
- ✓ بازگشت سریع سرمایه
- ✓ افزایش طول عمر ساختمان
- ✓ کاهش اتلاف مصالح
- ✓ کاهش نیروی انسانی

❖ مزایای فنی

- ✓ مقاومت بیشتر در برابر زلزله
- ✓ امکان کنترل دقیق‌تر اجرا و رعایت کیفیت مورد نظر بر اساس استانداردها
- ✓ قابلیت استفاده از مصالح پیش ساخته و یا نیمه پیش ساخته
- ✓ امکان طراحی و ساخت مدولار

۳-۱۵- محدودیت‌های سیستم قاب بتنی پیوسته (قالب تونلی)

- نیاز به تجهیزات خاص و سنگین کارگاهی
- محدود بودن دامنه فعالیت به دلیل سنگینی قطعات
- هزینه قابل ملاحظه اولیه در تولید قطعات قالب‌ها
- زمان قابل ملاحظه برای عمل‌آوری بتن و باز کردن قالب‌ها
- نیاز به آموزش خاص نیروهای اجرایی
- محدود بودن به سیستم‌های دیواری و سقفی
- با توجه به لزوم دیوارهای بابر، تأمین پارکینگ با محدودیت روبرو است.
- تعداد طبقات بهینه در این روش بین ۸ تا ۱۰ طبقه است.

- در این روش عناصر سازه‌ای دارای وزن زیادتری بوده و وزن نهائی ساختمان نیز بیش از سایر روش‌هاست.
- استفاده از کاهش دهنده‌های انعکاسی و تمهیدات آکوستیکی برای جلوگیری از انتقال و انعکاس صدای ضربه‌ای، الزامی است.
- قابلیت بازیافت مصالح و عناصر مورد استفاده در این سیستم، همانند تمامی ساختمان‌های بتنی با مشکلات فراوان رو به روست.
- با توجه به سنگین بودن قطعات قالب دیوار و سقف، وجود جرثقیل و دیگر امکانات سنگین برای نصب الزامی است.
- امکان تغییر ابعاد قطعات قالب، پس از تولید بسیار مشکل و پر هزینه است.
- این روش فقط برای پروژه‌های انبوه‌سازی قابل توصیه است و در پروژه‌های کوچک، فاقد توجیه کافی است.

فصل چهارم:

سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد

(Light Gauge Steel Frames)

۴-۱- معرفی سیستم

قاب‌های فولادی سبک نورد سرد یکی از انواع سیستم‌های ساختمانی است که برای اجرای ساختمان‌هایی با طبقات محدود (معمولاً تا ۵ طبقه) استفاده می‌شود. این سیستم از ورق‌های فولادی سرد نورد شده به صورت مقاطع سازه‌ای برای تأمین پایدرای سختمان، صفحات و تخته‌های گچی به عنوان پوشش درونی، لایه‌های عایق حرارتی و صوتی، قطعات دیواره‌ی خارجی به عنوان نما و عناصر تکمیل کننده‌ی ساختمان تشکیل می‌شود. سیستم مزبور بعنوان یک سیستم متشکل از مقاطع فولادی سرد نورد شده[1] بوده که اجزاء آن با اتصالات پیچی، پرچی یا جوشی به یکدیگر متصل می‌شوند. اعضای سازه‌ای سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد از پروفیل‌های فولادی گالوانیزه تشکیل شده‌اند، که به وسیله‌ی پرس کردن ورق‌های بریده شده و یا نورد این ورق‌ها توسط مجموعه‌ای از غلتک‌ها ساخته می‌شوند.

اجزای قائم این سیستم به عنوان عضو باربر ستونی در بارهای ثقلی عمل می‌کنند، برخی از این اعضا که در اطراف مهاربندی سازه برای مقاومت در برابر نیروهای جانبی قرار می‌گیرند، علاوه بر بار ثقلی، متحمل نیروهای ناشی از بارهای جانبی نیز می‌شوند. اعضای عمودی در این سیستم با

1 . *Cold-Formed Steel*

نام‌های وادار[1] یا ستونک شناخته می‌شوند. عناصر افقی (کلاف‌ها) نیز لاوک[2] یا تِرَک نامیده می‌شوند. سقف این ساختمان‌ها متشکل از تیرچه‌های فلزی سرد نورد شده است. پوشش سقف با دال بتن مسلح، در صورت تأمین یکپارچگی لازم بین بتن و پروفیل فولادی تیرچه، می‌تواند به عنوان یک سقف مرکب بتنی فلزی استفاده شود.

شکل (۴-۱): اعضای سازه‌ای سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد

بند ۱۱-۲-۱-۲- مبحث یازدهم مقررات ملی ساختمان- محدوده کاربرد این بخش از مبحث یازده برای اجرای ساختمان به روش *LSF* به صورت طبقه‌ای یا دیوار ممتد (یکپارچه) می‌باشد. می‌توان از سیستم مهارجانبی همچون مهاربند تسمه‌ای، دیوار برشی فولادی، چوبی یا تخته‌های سیمانی استفاده نمود. کاربرد قاب‌های سبک فولادی صرفاً به عنوان سیستم باربر ثقلی، حداکثر تا ۵ طبقه یا ۱۵ متر ارتفاع می‌باشد.

1 . *Stud*
2 . *Runner (Track)*

نکته: استفاده از سیستم *LSF* در کلیه پهنه‌های لرزه‌خیزی کشور طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران مجاز بوده و تنها سیستم *LSF* با دیوار برشی از جنس تخته‌های گچی یا سیمانی به عنوان مهار جانبی برای مناطق لرزه‌خیزی کم و متوسط مجاز می‌باشد.

۴-۲- مصالح

فولاد سرد نورد شده

بند ۱۱-۲-۲-۱-۳- انواع ورق‌های فولادی مجاز برای استفاده در اعضاء سرد نورد شده عبارتند از:

- فولاد سازه‌ای رده ۲۳۰تیپ H (S230H)
- فولاد سازه‌ای رده ۳۴۰ تیپ H (S340H)
- فولاد سازه‌ای رده ۲۳۰تیپ L (S230L)
- فولاد سازه‌ای رده ۳۴۰ تیپ L (S340L)

بند ۱۱-۲-۲-۱-۴- استفاده از فولادهای تیپ *L* تنها برای لاپه‌ها و تیرچه‌ها مجاز است.

بند ۱۱-۲-۲-۱-۵- مشخصات مکانیکی فولاد به کار رفته در اعضاء سیستم *LSF* باید مطابق جدول (۴-۱) باشد.

جدول (۴-۱): مشخصات فولاد مجاز

نوع فولاد	تنش تسلیم (MPa)	تنش کششی نهایی (MPa)	کرنش نسبی در ۵۰ میلی مترطول
S340H	۳۴۰	۴۵۰	٪۱۰
S230H	۲۳۰	۳۱۰	٪۱۰
S340L	۳۴۰	-	٪۳
S230L	۲۳۰	-	٪۳

بند ۱۱-۲-۲-۱-۷- ورق‌های قاب فولادی سردنورد شده باید با پوشش محافظ از خوردگی با آلیاژ روی- آلومنیوم طبق استانداردهای معتبر پوشانده شود.

بند ۱۱-۲-۲-۱-۸- ضخامت فولاد اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای سرد نورد شده باید بدون احتساب پوشش‌های محافظ از خوردگی بین ۰/۵ تا ۳ میلیمتر باشد.

۴-۳- ملاحظات معماری

بند ۱۱-۲-۶- ملاحظات معماری

باید در سیستم قاب‌بندی اعضای سازه‌ای دیوار، کف و بام در فواصل محور به محور حداکثر ۶۱۰ میلی‌متر از یکدیگر قرار گیرند. فواصل بیشتر در محل بازشوها، هرگاه بار سازه به تیر درگاه‌ها یا نعل‌درگاه‌ها و از آن طریق به وادارها و تیرچه‌های سقف مسطح یا شیبدار بام منتقل می‌شود مجاز است.

۴-۴- اجزای سازه‌ای تشکیل دهنده‌ی قاب فولادی سبک

اعضای این سیستم به صورت مقاطع سرد نورد شده و در مواردی مقاطع ترکیب شده از چند عضو با اتصالات پیچی هستند.

بند ۱۱-۲-۵- اجزای سازه‌ای

بند ۱۱-۲-۵-۱- مقاطع استاندارد فولادی سرد نورد شده شامل مقاطع C شکل، U شکل، Z شکل با لبه و بدون لبه، مقاطع L شکل با لبه و بدون لبه و مقاطع کلاهی (Ω) می‌باشد و برای سایر مقاطع مطابق استاندارد معتبر است.

بند ۱۱-۲-۵-۲- نامگذاری مقاطع سرد نورد شده اعضاء سازه‌ای و غیرسازه‌ای بر اساس شکل مقطع، عمق جان، پهنای بال، عمق لبه و ضخامت آن باید به صورت زیر انجام شود:

$abc \times d \times e$

a، عدد دو یا سه رقمی نشان دهنده عمق جان مقطع بر حسب میلی‌متر

b، حروف مرتبط با نوع مقطع همچون:

S= وادار برای مقاطع C شکل

T= لاوک یا U= ناودانی برای مقاطع U شکل

F= ناودانی‌های ذوزنقه‌ای برای مقاطع کلاهی(Ω) شکل

ZS برای مقاطع Z شکل لبه‌دار

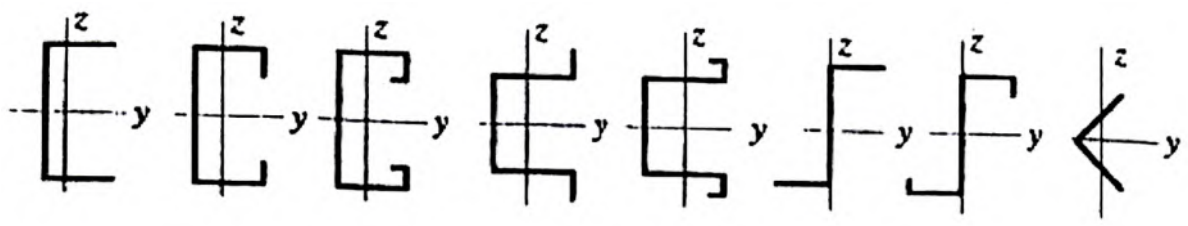
LS برای نبشی‌های لبه‌دار

و LU برای نبشی‌های بدون لبه

c، عدد دو یا سه رقمی نشان دهنده عرض بال به میلی‌متر

d، عدد یک یا دو رقمی نشان‌دهنده عمق لبه به میلی‌متر

e، عدد یک رقمی برای ضخامت اسمی ورق فولادی به میلی‌متر



شکل (۴-۲): مقاطع نورد شده کارخانه‌ای با نورد سرد

شکل (۴-۳): مقاطع مرکب ساخته شده از مقاطع کارخانه‌ای نورد سرد

ستونک (استاد[1] یا وادار): اعضای عمودی در این سیستم ستونک (استاد یا وادار) نام دارند و بارهای قائم را به شالوده انتقال می‌دهند.

لاوک (ترک[2]): اعضای افقی در این سیستم لاوک (ترک) هستند که ستونک‌ها بر روی آنها قرار می‌گیرند. انتهای ستون‌ها در تراز سقف هم به وسیله‌ی همین اعضا به یکدیگر متصل می‌شوند.

ستونک پایه[3]: ستونکی که در تمام ارتفاع دیوار امتداد نداشته، در مجاورت بازشو بوده و نشیمن تیردرگاه می‌باشد.

ستونک اصلی[4]: ستونکی که مجاور به ستونک پایه بوده و در کل ارتفاع دیوار امتداد داشته و بارهای جانبی و قائم را تحمل می‌کند.

ستونک انتهایی[5]: ستونک تحمل کننده نیروی محوری که در انتهای دیوارهای برشی و دیوارهای فولادی سرد نورد شده همراه با مهاربندهای تسمه‌ای قطری قرار دارد.

---

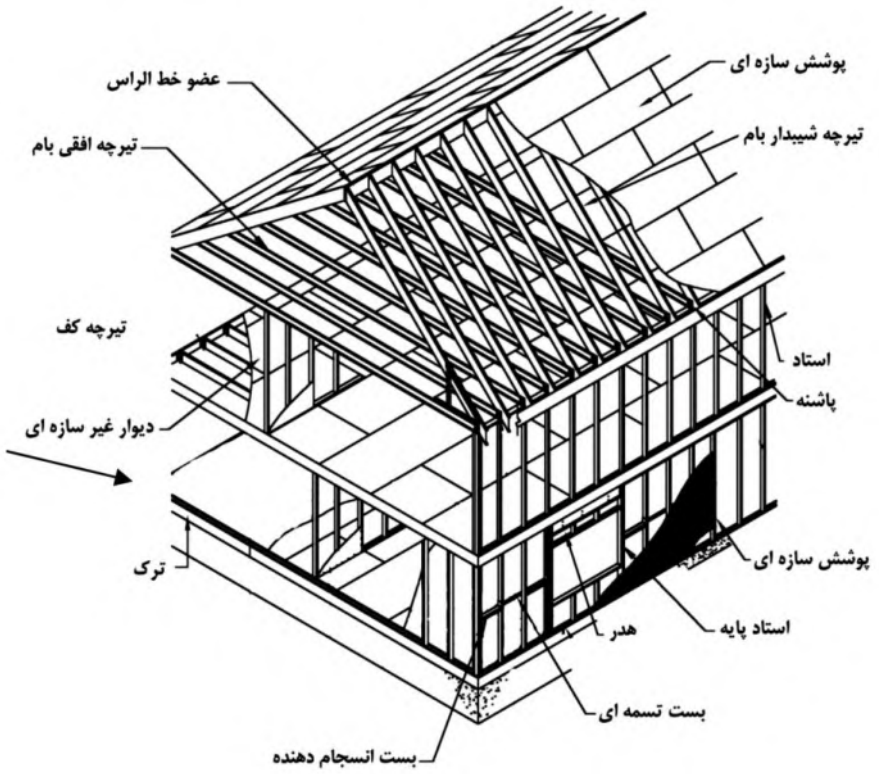
1 . *Stud*
2 . *Runner (Track)*
3 . *Jack Stud*
4 . *King Stud*
5 . *Chord Stud*

ستونک کوتاه[1]: ستونکی که بین تیردرگاه و ترک بالای در یا پنجره یا بین ترک پایین پنجره و ترک پایینی به منظور ایجاد تکیه‌گاه برای اتصال صفحات پوشش نهایی استفاده می‌شود.

تیردرگاه[2]: عضو سازه‌ای افقی موجود در اطراف بازشو کف، بام یا دیوار به منظور انتقال بارهای اطراف بازشو به اعضای باربر مجاور.

مهاربند تسمه‌ای[3]: تسمه‌های فولادی که به صورت قطری در تشکیل خرپای قائم به صورت بخشی از سیستم باربر جانبی به کار می‌روند.

قاب‌بندی متوالی[4]: سیستم قاب‌بندی که در آن اعضای سازه‌ای دیوار، کف و بام در فواصل محور به محور حداکثر ۶۱۰ میلی‌متر قرار می‌گیرند. فواصل بیشتر در محل بازشوها، هرگاه بارهای سازه به تیردرگاه‌ها یا نعل‌درگاه‌ها و از آن طریق به ستونک‌ها یا تیرچه‌های سقف مسطح یا تیرچه‌های سقف شیبدار بام منتقل می‌شوند، مجاز است.



شکل (۴-۴): اعضای سیستم قاب‌های سبک فولادی

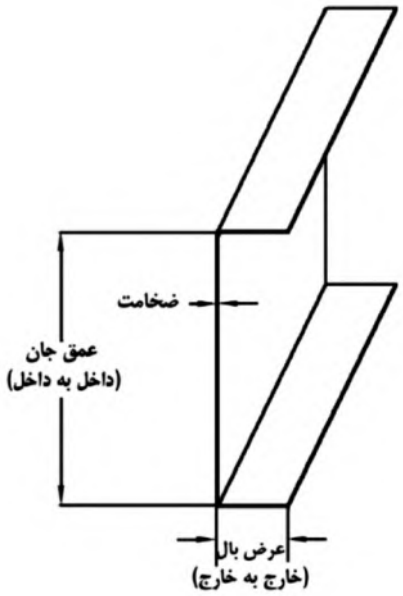
1 . *Cripple Stud*
2 . *Header*
3 . *Strap Bracing*
4 . *Repetitive Framing*

عضو خط‌الرأس[1]: عضوی افقی که در محل برخورد دو صفحه شیبدار بام قرار دارد.

پاشنه[2]: ناحیه اتصال بین اعضای بالا و پایین خرپای شیبدار

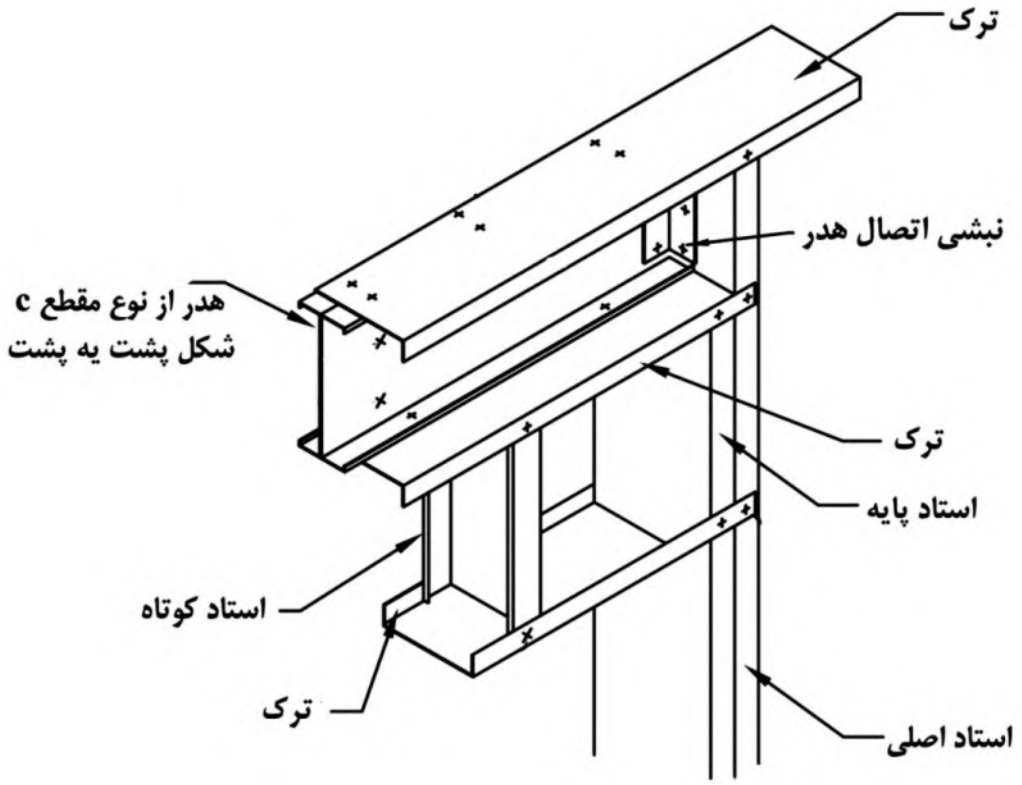
دیوار برشی[3]: دیواری که مقاومت در برابر بارهای جانبی را در داخل صفحه دیوار تأمین می‌کند و موجب پایداری سیستم سازه‌ای می‌شود.

تیرچه[4]: تیرچه‌ها بار کف را به لاوک ها انتقال می‌دهند.

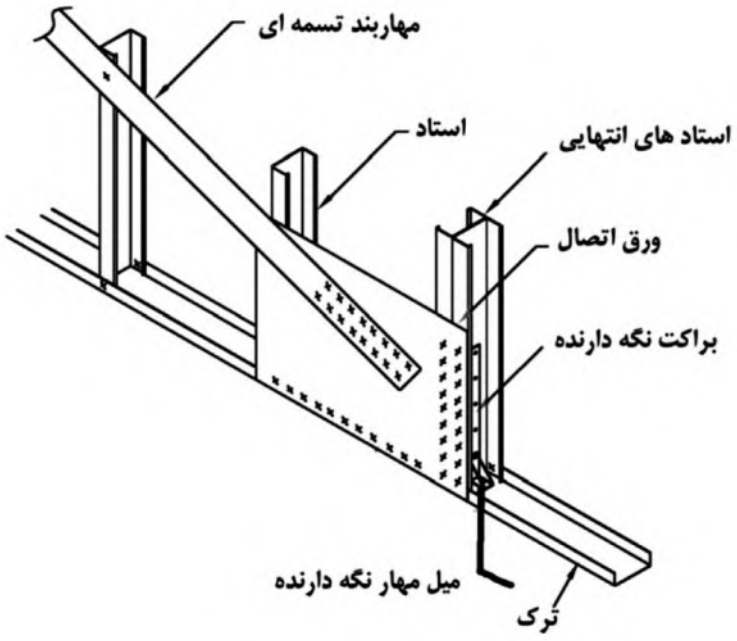


شکل (۴-۵): مقطع ترک (لاوک)

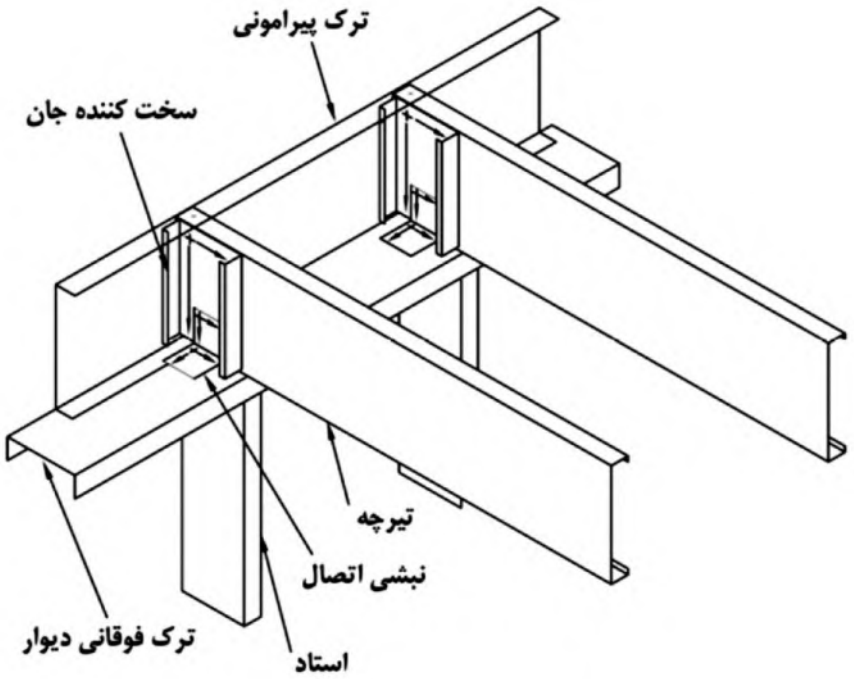
1 . *Ridge Member*
2 . *Heel*
3 . *Shear Wall*
4 . *Joist*



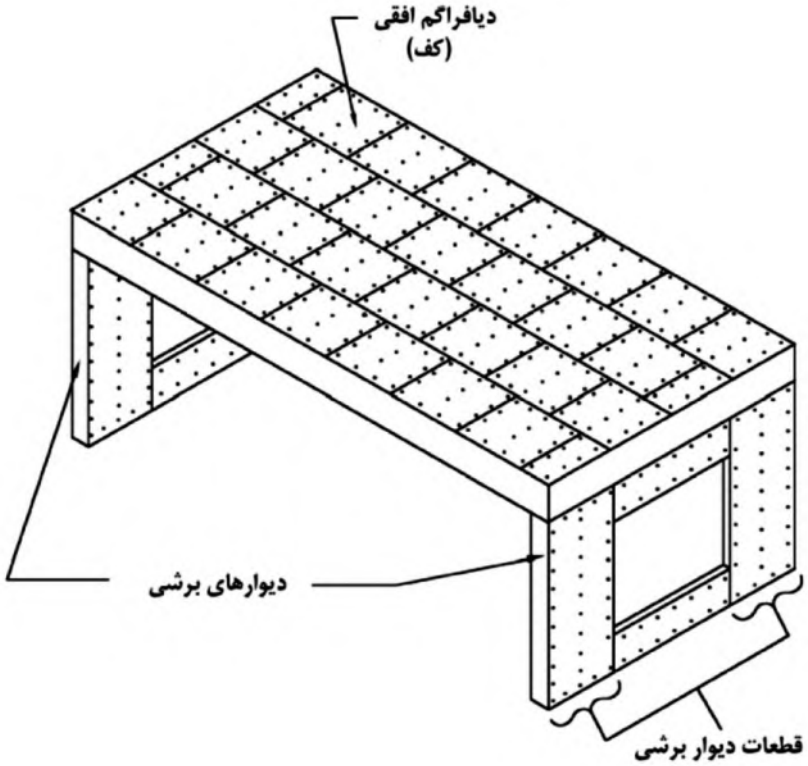
شکل (۴-۶): جزئیات دیوارهای سبک فولادی در محدوده بازشو



شکل (۴-۷): جزئیات دیوار قاب‌بندی شده سبک فولادی با مهاربندی تسمه‌ای قطری پیش کشیده

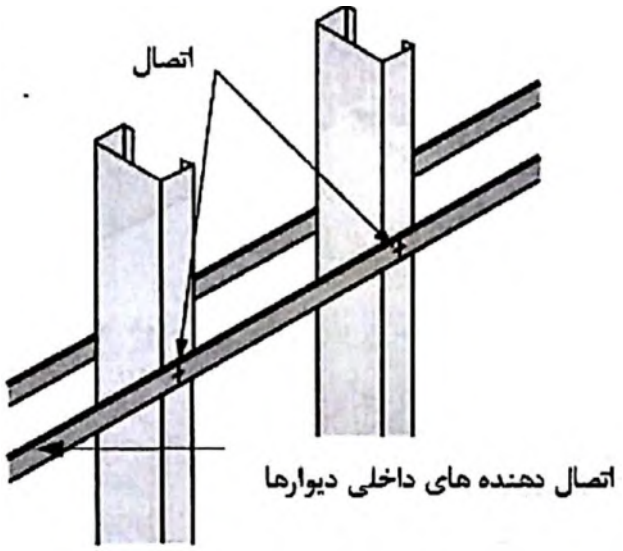


شکل (۴-۸): جزئیات اتصال تیرچه به قاب سبک فولادی



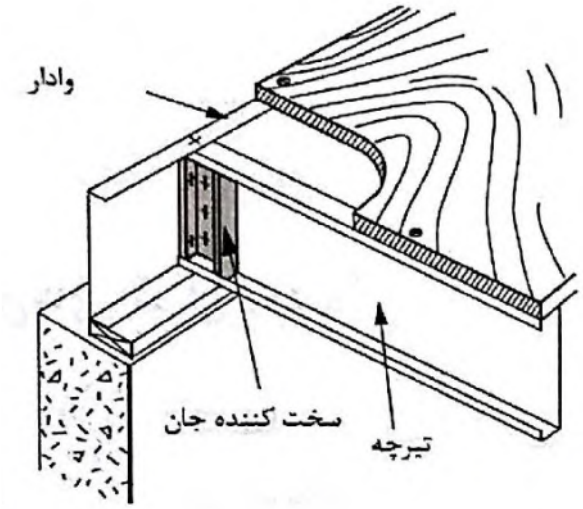
شکل (۴-۹): جزئیات دیافراگم و دیوار برشی

اتصال دهنده‌های داخلی دیوارها[1]: این اعضای افقی موجب اتصال ستونک‌ها و رفتار یکپارچه این اعضا می‌شوند. تعداد و موقعیت قرارگیری اعضای افقی، کاملاً وابسته به طراحی ستونک‌هاست. این اعضای افقی معمولا به هر دو طرف ستونک‌ها در یک تراز پیچ می‌شوند.



شکل (۴-۱۰): اتصال دهنده‌های داخلی دیوارها

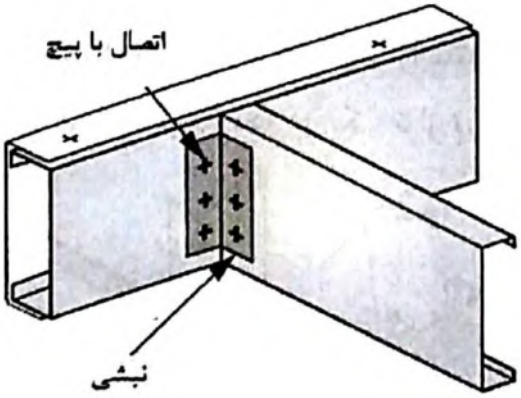
سخت کننده‌ی جان[2]: این سخت کننده‌ها در نقاطی که بار متمرکز بر تیر وارد می‌شود، برای افزایش مقاومت سختی جان تیر یا تیرچه اجرا می‌شوند.



شکل (۴-۱۱): جزئیات سازه‌ی سقف و سخت کننده جان

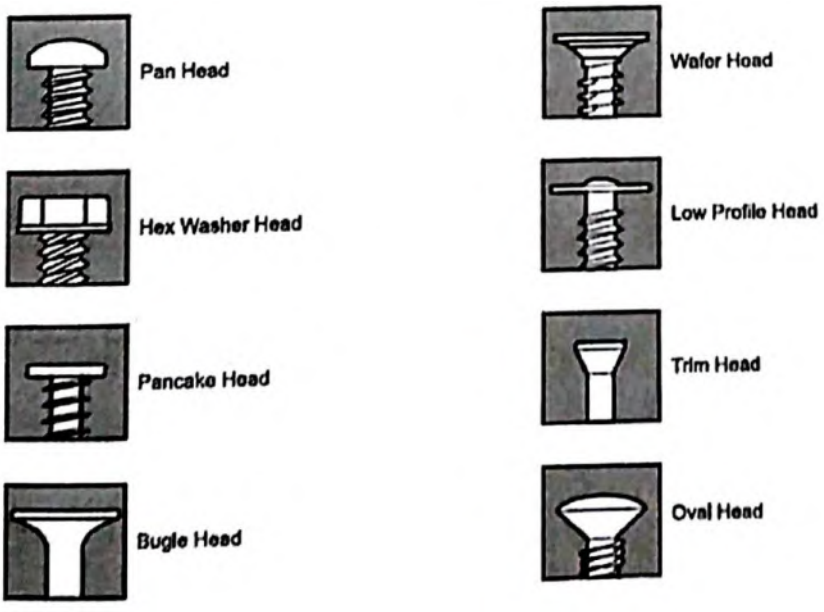
1 . *Horizontal Wall Bridging*
2 . *Stiffeners*

نبشی اتصال[1]: **برای اتصال اعضا به یکدیگر، در صورتی که اتصال مستقیم کافی نباشد، از نبشی اتصال بین این قطعات استفاده می‌شود.**



شکل (۴-۱۲): اتصال با استفاده از نبشی

پیچ‌های اتصال دهنده[2]: **برای اتصال اعضا به یکدیگر از پیچ استفاده می‌شود. این پیچ‌ها در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف موجودند. برای سوراخ کردن هم می‌توان از مته‌های مخصوص استفاده کرد. هر یک از این پیچ‌ها برای شرایط خاصی استفاده می‌شوند.**



شکل (۴-۱۳): انواع پیچ‌های اتصال

1 . *Connection Angles*
2 . *Connection Bolts*

فونداسیون[1]

همواره برای انتقال بار یک سازه به خاک، نیاز به یک سازه‌ی میانی است که این بار را بدون ایجاد تغییرشکل‌های زیاد به زمین منتقل کند.

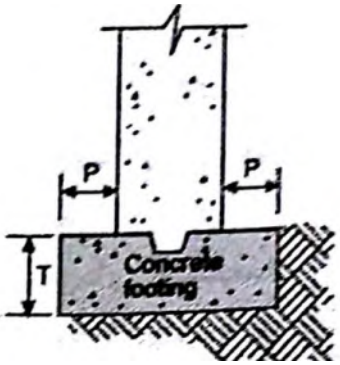
بند ۱۱-۲-۴-۱- شالوده سیستم ساختمانی قاب‌های سبک فولادی سرد نورد شده از نوع نواری و یا در صورت لزوم گسترده می‌باشد.

بند ۱۱-۲-۴-۲- باید زیر تمامی دیوارهای باربر شالوده اجرا شود.

بند ۱۱-۲-۴-۳- شالوده‌ها باید برای بارهای متمرکز ستونک‌ها (استادها- وادارها)، مهاربندها و برش‌گیرها طراحی شوند.

بند ۱۱-۲-۴-۴- باید دقت لازم برای اجرای سطح بالایی شالوده به صورت تراز و بدون هر گونه نقص به منظور نصب دیوارهای باربر، به عمل آید. حداکثر فاصله قابل قبول سطح شالوده و لاوک (تراک) تحتانی دیوارهای باربر ۶ میلی‌متر می‌باشد که باید با قرار دادن صفحات باربر پر کننده یا گروت پر شوند.

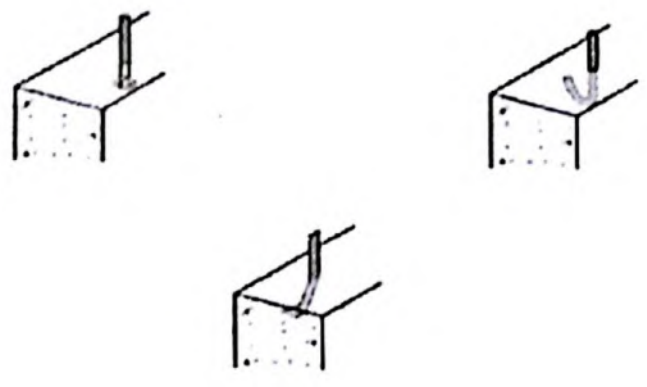
مقدار ضخامت شالوده با توجه به میزان بار موجود بر روی شالوده تعیین می‌شود. به دلیل سبک بودن و کاهش بارهای وارده در این سیستم سازه‌ای، ضخامت شالوده بسیار کم است، بنابراین مقدار حداقل برای ضخامت شالوده مطابق آئین‌نامه در نظر گرفته می‌شود، ضخامت شالوده باید در هر حال از بیرون زدگی شالوده از دیوار بیشتر باشد $(T > P)$.



شکل (۴-۱۴): نحوه‌ی اتصال سازه به شالوده بتنی

1 . *Foundation*

اتصال اجزای قاب فولادی سبک (ستونک یا لاوک) به شالوده از طریق میله‌های اتصال شالوده[1] انجام می‌شود.



شکل (۴-۱۵): نحوه‌ی اتصال عناصر سازه به شالوده بتنی

اتصال سازه‌ی فولادی سبک به شالوده با استفاده از یکی از دو روش زیر انجام می‌شود:

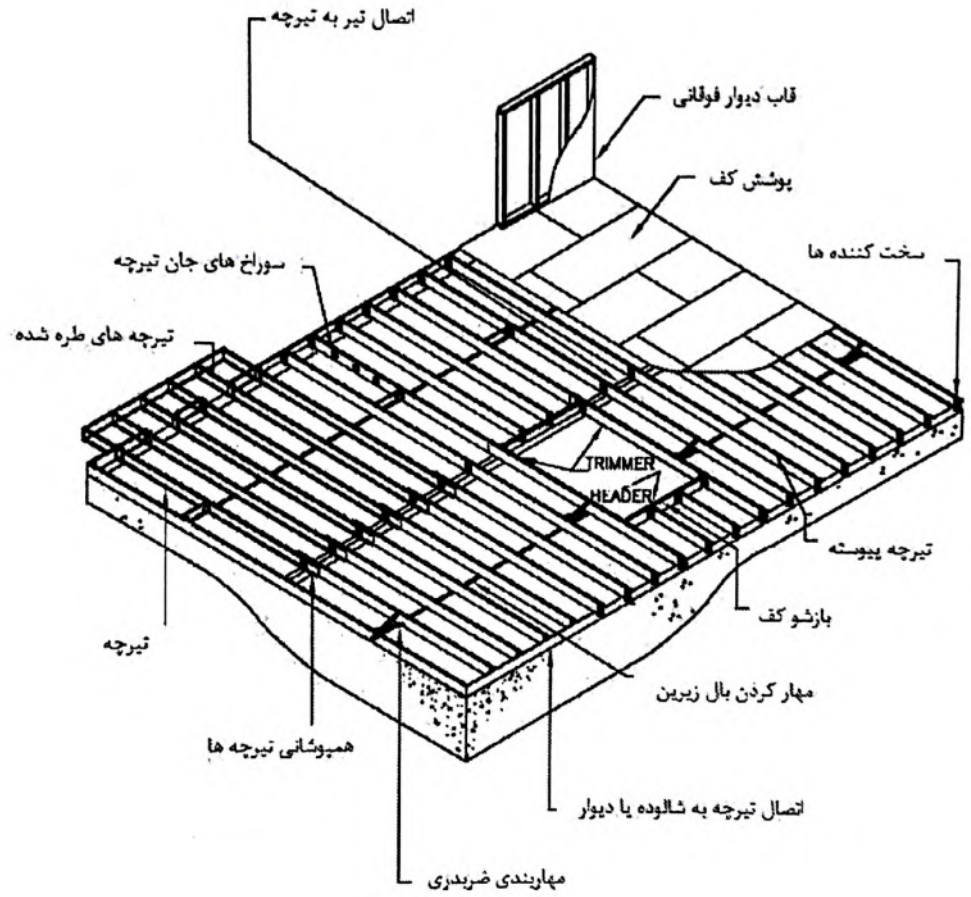
۱) نصب ستونک به شالوده: در این روش ستونک‌ها به صورت مستقیم از طریق میله‌های اتصال به شالوده وصل می‌شوند.

۲) اتصال لاوک به شالوده: در این روش ابتدا لاوک‌ها به میله‌های اتصال شالوده بسته شده سپس ستونک‌ها به لاوک‌ها وصل می‌شوند.

سازه‌ی کف

در سازه‌ی کف، تیرچه‌هایی به تیرهای اصلی متصل می‌شوند و قاب کف را تشکیل می‌دهند. پوشش نهایی سازه‌ی کف می‌تواند از بتن یا روکش‌های دیگر باشد. در صورت عدم استفاده از بتن برای حل مشکل ناشی از راه رفتن روی کف، باید از صداگیر استفاده شود. با توجه به ملاحظات معماری و در صورت نیاز می‌توان در کف بازشو هم تعبیه کرد.

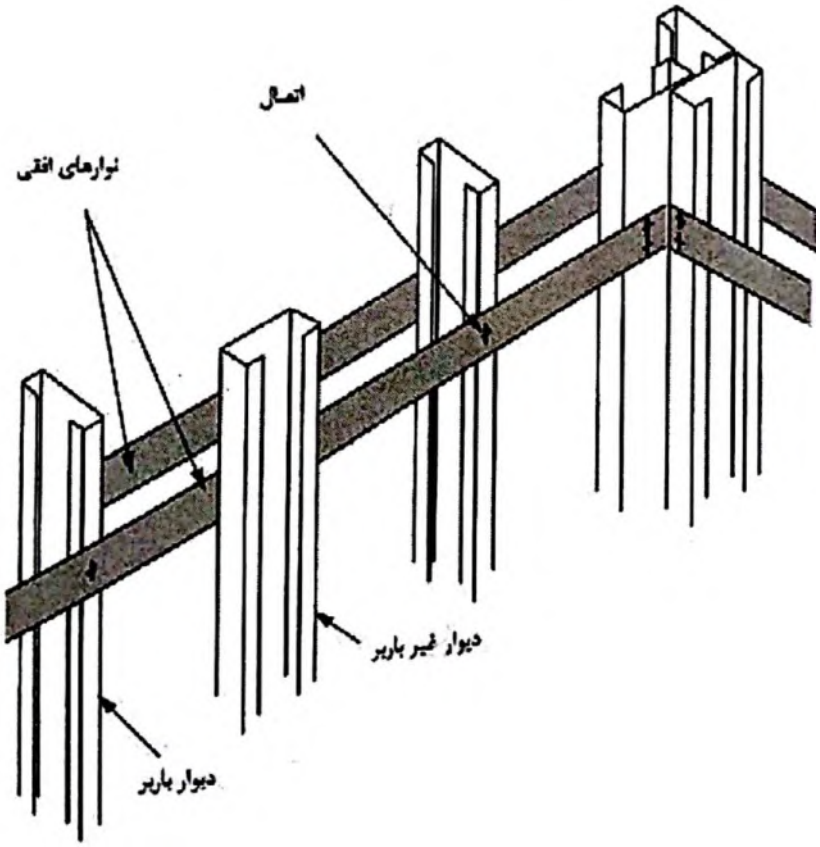
1 . *Anchor*



شکل (۴-۱۶): شکل کلی سیستم کف

دیوارها

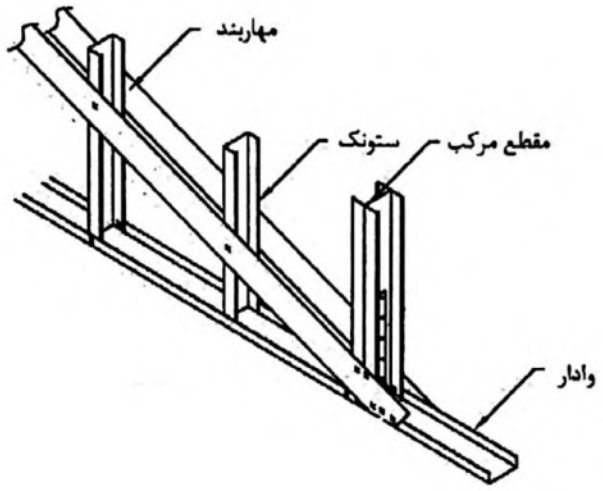
در سازه‌های فولادی سبک نورد سرد، بار جانبی و بار ثقلی را دیوارها تحمل می‌کنند. دیوارها از مجموعه‌ای از ستونک و اعضای مهاربندی تشکیل می‌شوند. ستونک‌ها بار ثقلی و اعضای مهاربندی بار جانبی را تحمل می‌کنند. به طور معمول فاصله‌ی ستونک‌ها از یکدیگر بین ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است. دیوارها به صورت تو خالی هستند. در صورت تمایل می‌توان این فاصله خالی را با موادی مانند بتن سبک یا فوم پلی استایرن پر کرد. ستونک‌ها برای یکپارچگی بیشتر باید به صورت افقی نیز به یکدیگر متصل شوند. در دیوارهای باربر و غیرباربر که با این روش ساخته می‌شوند، در صورت نیاز می‌توان بازشو تعبیه کرد.



شکل (۴-۱۷): اتصال دهنده‌های افقی موجود در دیوار

مهاربندی

برای مقاومت در برابر زلزله و سایر نیروهای جانبی از سیستم مهاربندی جانبی که از نوع K یا X است، استفاده می‌شود. به دلیل کم بودن فاصله ستونک‌ها از یکدیگر، طول مهاربندی‌ها کوتاه بوده و بازدهی سازه‌ای اعضای مهاربندی در این سیستم بسیار بالاست. در مواردی می‌توان به وسیله‌ی دستگاه‌های مخصوص در این اعضا کشش ایجاد کرده و سپس در محل مورد نظر پیچ نمود.



شکل (۴-۱۸): اعضای مهاربندی

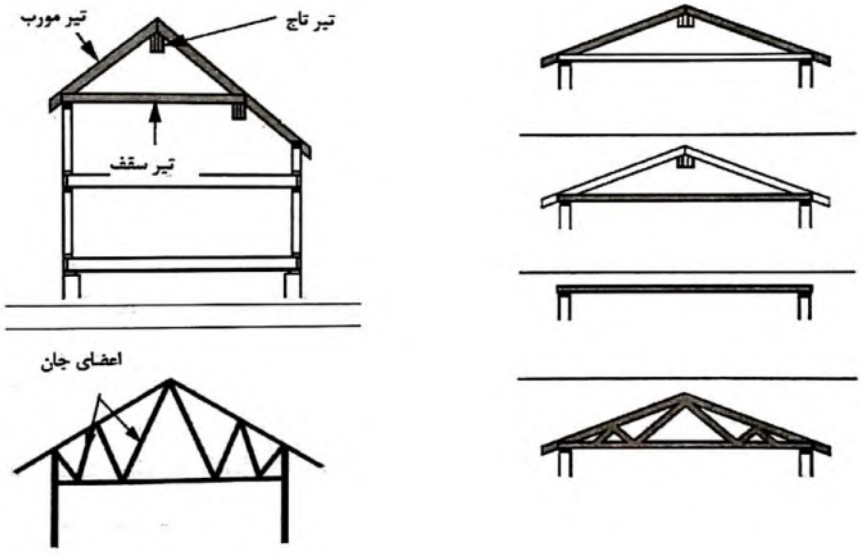
سقف

در این سیستم سقف از اتصال افقی بین لاوک‌ها، تیرچه‌ها و عناصر متصل کننده تشکیل شده و به دو شکل مسطح و شیب‌دار اجرا می‌شود. سقف مسطح می‌تواند به عنوان سقف میانی و یا سقف نهایی ساختمان باشد و قابلیت اجرا به صورت سقف مرکب را نیز دارد، ولی سقف شیب‌دار تنها به عنوان سقف نهایی استفاده می‌شود. در این سیستم سازه‌ای سقف را می‌توان به یکی از روش‌های زیر اجرا کرد:

شکل (۴-۱۹): اجرای سقف در سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد

۱) سقف قاب‌بندی شده

۲) سقف خرپایی



شکل (۴-۲۰): انواع سقف‌های قابل اجرا در سیستم قاب فولادی سبک (سقف قاب‌بندی شده و سقف خرپایی)

سقف سبک مورد استفاده در سیستم قاب سبک فولادی نورد سرد را می‌توان با سقف‌های متداول و مرسوم در جداولی به شرح زیر مقایسه کرد:

جدول(۴-۲): مقایسه انواع سقف‌ها از نظر ضخامت سقف و وزن هر متر مربع

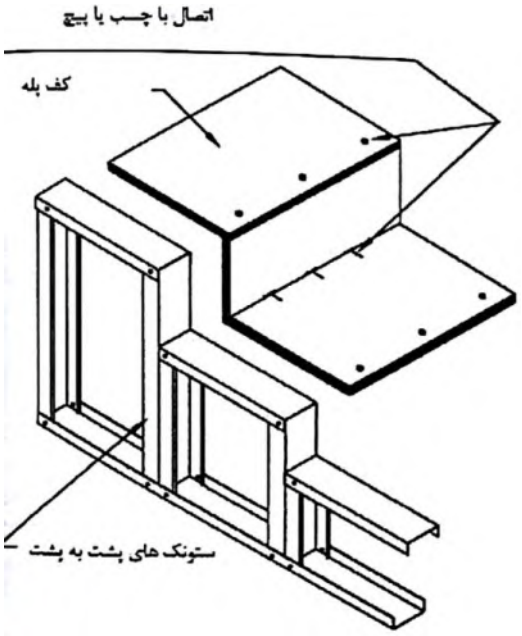
نوع سقف	سقف طاق ضربی با مصالح بنایی	سقف متشکل از تیرچه‌های بتنی و بلوک سفالی	سقف مرکب از فولاد و بتن (Composite)	سقف در سیستم قاب فولادی سبک
ضخامت سقف (سانتیمتر)	۳۰	۳۵	۳۵	۲۵
وزن نهایی سقف (کیلوگرم بر مترمربع)	۶۵۰	۵۵۰	۴۵۰	۳۵۰

جدول(۴-۳): مقایسه انواع سقف‌ها از نظر کیفیت اجرا و عملکرد

نوع سقف	سقف طاق ضربی با مصالح بنایی	سقف متشکل از تیرچه‌های بتنی و بلوک سفالی	سقف مرکب از فولاد و بتن (Composite)	سقف در سیستم قاب فولادی سبک
سرعت اجرا	کم تا متوسط	کم تا متوسط	متوسط	زیاد
ایجاد نخاله	زیاد	زیاد	زیاد	ندارد
قابلیت بازیافت مصالح	ندارد	ندارد	ندارد	دارد
عایق بودن دربرابر حرارت	کم	متوسط	متوسط	زیاد
عایق بودن دربرابر صدا	کم	کم تا متوسط	متوسط	متوسط تا زیاد
امکان ایجاد شکاف برای تاسیسات	مشکل	متوسط	ساده	ساده
مقاومت در برابر آتش	زیاد	زیاد	متوسط	کم
صلبیت سقف	کم	متوسط	زیاد	زیاد

پله‌ها

در سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد، پله‌ها به راحتی قابل اجرا بوده و به سهولت به سیستم سازه‌ی اصلی ساختمان متصل می‌شوند.



شکل (۴-۲۱): شکل کلی پله در سیستم قاب فولادی سبک

شکل (۴-۲۲): اجرای پله در سیستم قاب فولادی سبک

دیوارها، نازک‌کاری و نما

سیستم قاب فولادی سبک به راحتی توانایی تطبیق با انواع نماهای رایج چوبی، سیمانی و گچی و حتی نماهای سنگی و آجری را دارد و می‌توان این نماها را به صورت ایمن و مطمئن به دیوار متصل کرد.

۴-۵- استفاده از قاب فولادی سبک به عنوان جزء غیرباربر

سبک‌سازی و اجرای سریع و ساده یکی از مهم‌ترین اهداف در اجرای ساختمان‌ها به شمار می‌رود. نماهای سنتی و متداول بسیار سنگین بوده و یکپارچگی مناسب و مقاومت کافی را در برابر بارهای جانبی ندارند و می‌توانند در زمان وقوع زلزله بسیار خطر آفرین باشند. از سوی دیگر حمل و انتقال نماهای پیش ساخته مشکل و پرهزینه بوده و برای نصب این قطعات، فراهم نمودن تمهیدات لازم از قبیل ماشین‌آلات سنگین و جرثقیل‌ها ضروری است.

استفاده از قاب فولادی سبک به عنوان تیکه‌گاهی مقاوم برای نمای ساختمان‌ها می‌تواند امکان اجرای نمای ساختمان‌ها را با سهولت و سرعت میسر نماید. علاوه بر امکان اجرای دیوارهای خارجی با استفاده از قاب فولادی سبک، دیوارهای داخلی ساختمان و سایر اجزای غیرسازه‌ای نیز می‌توانند با استفاده از این روش با حداقل وزن و به سرعت اجرا شوند.

۴-۶- روش‌های ساخت

سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد با روش‌های مختلفی قابل اجراست، که متداول‌ترین روش‌های آن عبارتند از:

۱) مونتاژ در محل اجرا[1]

۲) سیستم برافراشتن[2]

۳) سیستم جعبه‌ای[3]

۴-۶-۱- مونتاژ در محل اجرا

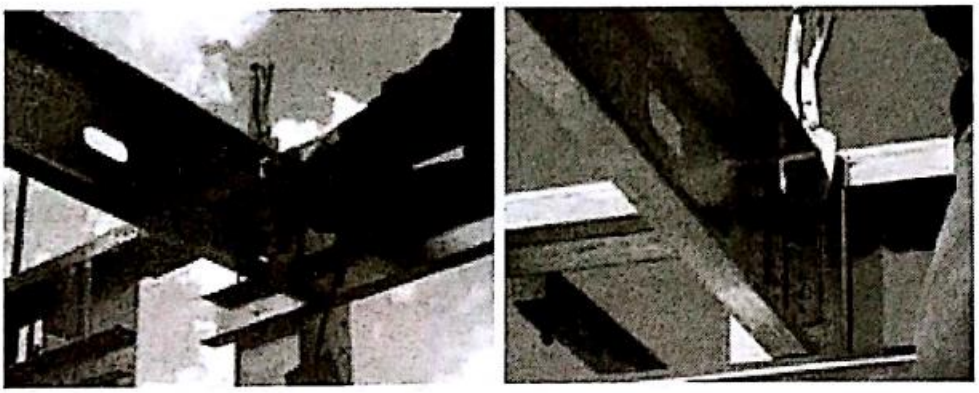
در این روش مقاطع فولادی سرد نورد شده به صورت برش خورده و شماره‌گذاری شده به محل اجرای طرح منتقل شده و در محل اجرا با اتصالات سرد به یکدیگر متصل می‌شوند. می‌توان یک دیوار را به صورت افقی روی زمین اجرا و سپس آن را بلند کرد و در محل خود، نصب نمود، یا قطعات را در محل نصب خود به هم وصل کرد. به طور معمول روش اول از دقت اجرای بیشتری برخوردار است.

---

1 . *stick-built*

2 . *Tilt up*

3 . *Box System*



شکل (۴-۲۳): سیستم اجرای مونتاژ در محل

۴-۶-۲- سیستم برافراشتن

مطالعات نشان می‌دهد روش ساخت قطعات دیوار و سپس بلند کردن و نصب آن که به روش برافراشتن مشهور است، برای اولین مرتبه در رم باستان و خاورمیانه استفاده شده است. ولی این روش به شکل کنونی در ابتدای قرن بیستم به کار گرفته شد و در نیمه‌های قرن پس از جنگ جهانی دوم به دلیل نیاز مبرم به سرعت در ساخت به اوج خود رسید. این روش در ابتدا بیشتر برای ساخت سازه‌هایی که در آن سرعت ساخت و اقتصاد اهمیت داشت، مانند مراکز تجاری، اداری و ..... مورد استفاده بود. امروزه این سیستم برای تمامی ساختمان‌های با ارتفاع کم (تا چهار طبقه) استفاده می‌شود.

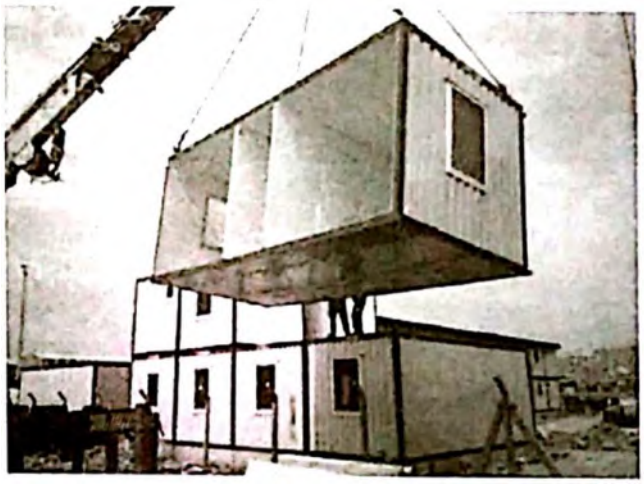
شکل(۴-۲۴): نحوه‌ی اجرای سیستم برافراشتن از روی زمین

این روش برای ساخت انواع نماها، سقف‌ها و دیوارهای پیش‌ساخته یکی از بهترین روش‌ها محسوب می‌شود. در این روش ابتدا قطعه‌ی مورد نظر مانند دیوار، قاب، قطعات نما و ..... در محل پروژه یا نزدیک آن بر روی زمین به صورت افقی اجرا و سپس به وسیله‌ی جرثقیل به مکان مورد نظر حمل

و با استفاده از اتصالات سرد در محل مورد نظر تثبیت می‌شود. به دلیل اجرای این سیستم بر روی زمین و دسترسی آسان برای کنترل کیفیت، دیوارهای اجرا شده با این روش دارای کیفیت خوبی هستند.

۴-۶-۳- سیستم جعبه‌ای

این روش بیشتر برای ساخت فضاهای ساختمانی محدود و کوچک مانند سرویس‌ها یا کانکس‌ها استفاده می‌شود. در این روش سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد به صورت جعبه‌های پیش ساخته پس از انتقال به کارگاه کنار هم چیده شده و به یکدیگر متصل می‌شوند و در مرحله‌ی بعد قطعات دیواره و سقف و دیوارهای داخلی اجرا می‌شوند و ساختمان به صورت واحدهایی در ابعاد کوچک تکمیل و قابل استفاده می‌شود.



شکل (۴-۲۵): نحوه‌ی اجرای سیستم جعبه‌ای

شکل (۴-۲۶): یک نمونه از واحدهای تکمیل شده مورد استفاده برای کانکس یا سرویس بهداشتی

۴-۷- روش‌های مقاوم کردن قاب‌های فولادی سبک در برابر نیروهای جانبی

برای تأمین باربری جانبی در سیستم قاب فولادی سبک از دهانه‌های باربر جانبی در دو امتداد عمود بر هم استفاده می‌شود، دهانه‌های باربر جانبی به یکی از چهار روش زیر ایجاد می‌شوند:

۱- دهانه مهاربندی شده با اعضای قطری

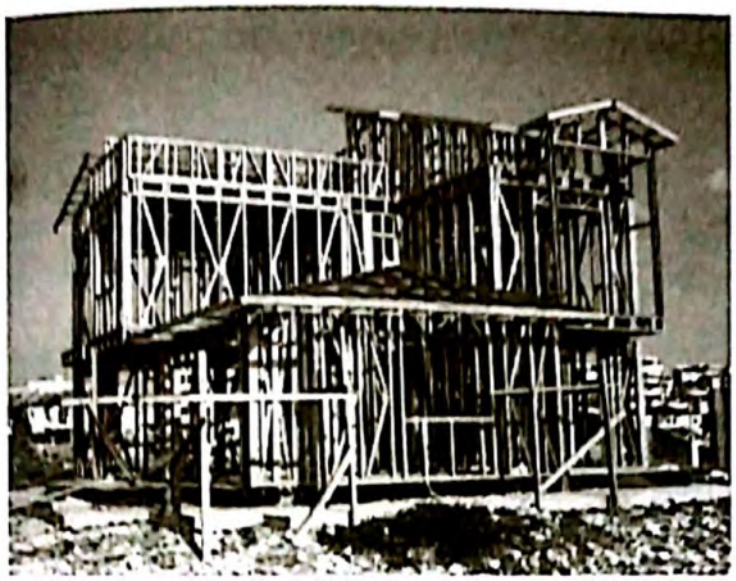
۲- دیوار برشی با ورق فولادی نازک

۳- دیوار برشی با دیواره‌های چوبی استاندارد *(OSB)*

۴- دیوار برشی بتن مسلح

۴-۷-۱- دهانه مهاربندی شده با اعضای قطری

سیستم مهاربندی با اعضای قطری مشابه بادبندهای ضربدری سازه‌های فولادی متعارف است، با این تفاوت که تعداد دهانه‌های مهاربندی شده بیش از دو دهانه‌ی ابتدا و انتها است. در این سیستم اعضای فشاری در طول ساختمان توزیع شده و اعضای قطری نیز به آنها متصل می‌شوند. این سیستم برای ساختمان‌های یک یا دو طبقه مناسب است.



شکل (۴-۲۷): دهانه مهاربندی شده

۴-۷-۲- دیوار برشی با ورق فولادی نازک

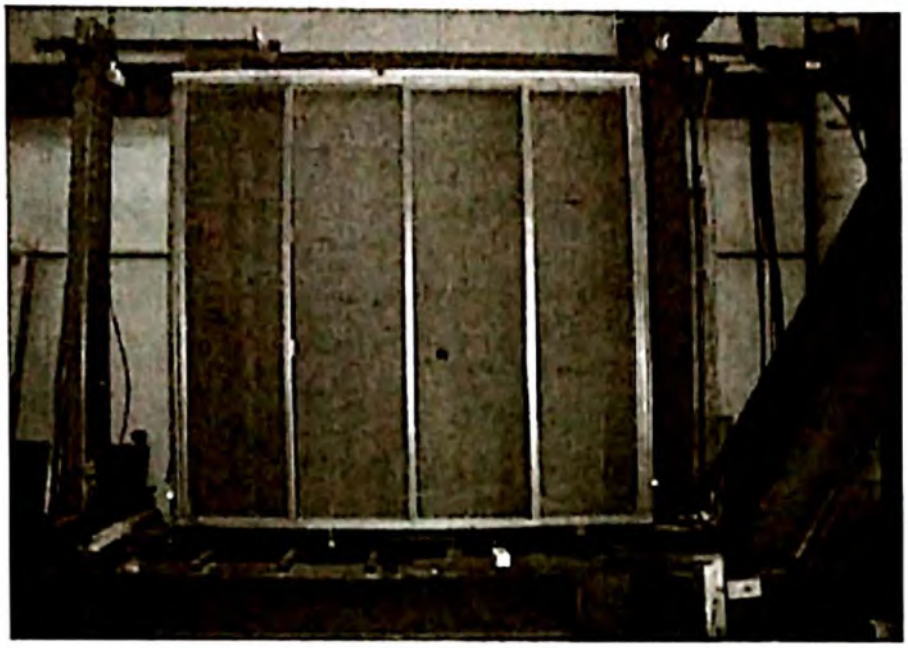
عملکرد سیستم باربر جانبی با ورق فولادی نازک، مشابه سیستم مهاربندی شده است با این تفاوت که در این سیستم اعضای قطری حذف شده است و صفحه فولادی تمامی اعضای فشاری دهانه را پوشش می‌دهد. این سیستم هنوز در مرحله تحقیق و بررسی از نظر رفتار سازه‌ای و نحوه‌ی طراحی مؤثرتر و پایدارتر است.

شکل (۴-۲۸): دهانه مهاربندی شده با مهاربند ضربدری

شکل (۴-۲۹): سیستم دیوار برشی با ورق فولادی نازک

۴-۷-۳- دیوار برشی با پوشش دیوارهای چوبی استاندارد [1](OSB)

تفاوت این سیستم با سیستم دیوار برشی با ورق فولادی نازک استفاده از صفحات چوبی استاندارد که از تراشه‌های چوبی استاندارد جهت‌دار (او. اس . بی) ساخته شده است به جای صفحات فولادی است. با توجه به بالا بودن مقاومت برشی و سبکی این صفحات، نیروی زلزله در محاسبات ساختمان به نحو مؤثری کاهش می‌یابد.



شکل (۴-۳۰): سیستم دیوار برشی با پوشش دیوارهای چوبی استاندارد

۴-۷-۴- دیوار برشی بتن مسلح

در این روش مانند برخی از سیستم‌های متداول بتن مسلح، از دیوار برشی بتنی برای تأمین مقاومت در برابر نیروهای جانبی استفاده می‌شود. در این روش تمامی نیروی جانبی توسط دیوار برشی بتن مسلح تحمل می‌شود.

۴-۸- نکات اجرایی

در اجرای سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد باید به نکات اجرایی زیر توجه کرد:

۱) تمام ستونک‌ها (پایه‌های) تحمل کننده بار باید در انتها به طور کامل درون لاوک‌ها (ناودانی-های افقی) قرار گیرند.

1 . *Oriented Standard Board*

۲) تمام اجزای ساختمانی باید به صورت عمودی به محل اجرای پی حمل شوند، مگر اینکه حمل افقی از خصوصیات عضو مربوطه محسوب شود.

۳) از قرار دادن لوله‌ها در دیوارهای خارجی پرهیز شود، زیرا ممکن است با اعضای ساختمانی برخورد داشته و یا ارزش دمایی دیوار را کاهش دهند.

۴) لوله کشی باید حتی‌الامکان داخل زمین و دیوارهای داخلی انجام شود.

۵) ایمنی در همه‌ی مراحل نصب قطعات و برپایی سازه رعایت شود.

۴-۹- مزایای قاب فولادی سبک

سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد از دیدگاه‌های مختلف در بخش‌های قبل بررسی شد و مزایا و دستاوردهای حاصل از آن به تفصیل بیان شد. به صورت مختصر بخشی از مزایای اصلی این سیستم عبارتند از:

- وجود آیین‌نامه‌های متعدد: آیین‌نامه‌های متعددی برای طراحی و اجرای این سیستم سازه‌ای تهیه شده است که موجب سهولت و دقت در طراحی، ساخت، نصب، اجرا، کنترل کیفیت و نگهداری این سیستم سازه‌ای می‌شود.
- کاهش وزن سازه: میزان وزن فولاد مصرفی در سیستم سازه‌ای قاب فولادی سبک نورد سرد حدود ۵۰ ٪ وزن فولاد مصرفی در سازه‌های فولادی معمولی است.
- سهولت حمل و نقل: اجزای فولادی به صورت دسته در آمده و با یک جرثقیل می‌توان تخلیه آنها را در محل اجرای طرح به راحتی انجام داد.
- کیفیت مناسب: از آنجا که فولاد دارای گره، پیچش و یا معایب موضعی نیست و تولید قطعات همواره از نظر ابعادی به صورت دقیق بوده و تحت اندازه‌های از پیش تعیین شده صورت می‌گیرد، کیفیت مناسب و مطلوب قابل دستیابی است.
- انعطاف‌پذیری در طراحی: اعضای سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد در اندازه‌های مختلف موجود و در صورت لزوم قابل تولیده بوده و طراح از آزادی عمل زیادی برخوردار است.
- امکان عبور تأسیسات: به دلیل امکان ایجاد سوراخ و یا حفره‌هایی در اعضا، تأسیسات به راحتی از داخل اعضا عبور می‌کنند.

- **دوام بیشتر:** قاب فولادی سبک نورد سرد نسبت به مصالح سنتی دارای دوام بیشتری است و در مقایسه با روش‌هایی مانند ساختمان‌های چوبی، در برابر حشرات و جانوران موذی مقاوم است.
- **حفظ محیط زیست:** اکثر مواد مورد استفاده در سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد قابل بازگشت به طبیعت است.

۴-۱۰- محدودیت‌های سیستم قاب فولادی سبک

سیستم قاب فولادی سبک ساخته شده با قطعات سرد نورد شده علی‌رغم مزایای بسیار، محدودیت‌هایی نیز دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

- در مراحل طراحی باید از اندازه و چگونگی مدل‌ها تبعیت کرد.
- در ابعاد دهانه، محدودیت وجود دارد.
- تعداد طبقات قابل ساخت با این سیستم محدود است.
- به نیروی کار متخصص و آموزش دیده نیاز است.
- تأمین قطعات فلزی گالوانیزه تولیده شده در کارخانه، هزینه نسبتاً بالایی دارد.

۴-۱۱- ارزیابی و نتیجه‌گیری

سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد، یکی از راه‌حل‌های موجود و مناسب برای تولید صنعتی و انبود ساختمان، کاهش وزن ساختمان، افزایش مقاومت ساختمان در مقابل زلزله، کاهش زمان ساخت، ارتقای کیفیت ساخت، کاهش هزینه‌های ساخت و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است.

فصل پنجم:

سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی

(Prefabricated Reinforced Concrete Systems)

۵-۱- معرفی سیستم

با توجه به نیاز روز افزون مسکن، جوامع مختلف با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نوین با استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات پیشرفته و نیروهای کارآمد و با تجربه، اقدام به تولید انبوده[1] ساختمان و مسکن می‌نمایند. سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی، یکی از روش‌هایی است که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته، تمامی اجزای سازه‌ای و بعضاً اجزای غیرسازه‌ای ساختمان از قطعات بتن پیش‌ساخته تولید شده در کارخانه تشکیل می‌شوند. با توجه به تولید قطعات در کارخانه، کیفیت ساخت آنها نسبت به قطعات تولید شده در کارگاه بالاتر بوده و از نظر زمان اجرا نیز، نسبت به سیستم‌های متداول سریع‌تر است. به طور معمول قطعات مورد نیاز، در سه گروه قطعات سقف، دیوار و قطعات متفرقه با استفاده از تجهیزات و امکانات مکانیزه در

1 . *Mass Production*

کارخانه‌های سازنده، تولید می‌شوند. قطعات بتن پیش‌ساخته با اتصالات خشک یا تر به یکدیگر متصل می‌شوند.

۵-۲- دامنه کاربرد

شکل (۵-۱): ساختمان‌های اجرا شده با سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی

بند ۱۱-۳-۱-۲- با توجه به تحولات و پیشرفت‌های حاصله در تولید، مواد و فن‌آوری مرتبط با بخش صنعت ساختمان، استفاده از بتن پیش‌ساخته برای انواع مختلف ساختمان‌های مسکونی، تجاری، اداری، صنعتی، حمل و نقلی، و سایر ساختمان‌ها مجاز است.

بند ۱۱-۳-۲-۱- با توجه به کیفیت بالای قطعات بتنی پیش‌ساخته، استفاده از انواع ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته در مناطق مرطوب با شرایط خوردگی بالا توصیه می‌شود.

بند ۱۱-۳-۲-۲- با توجه به اینکه سازه‌های ساختمانی بتنی پیش‌ساخته انعطاف‌پذیری بیشتری برای دستیابی به مقاومت بالا در برابر آتش، انتقال صدا، صرفه جویی در مصرف انرژی، پایداری و دوام دارند، لذا برای کاربری‌های حساس نسبت به حریق، صوت و رطوبت توصیه می‌شود.

۵-۳- مصالح

۵-۳-۱- بتن

بند ۱۱-۳-۲-۱-۲- اسلامپ بتن مصرفی در قطعات بتن پیش‌ساخته نباید بیش از ۱۵۰ میلی‌متر باشد.

بند ۱۱-۳-۲-۱-۳- اندازه بزرگترین سنگ‌دانه مصرفی در قطعات بتن پیش‌ساخته نباید بیش از ۲۵ میلی‌متر باشد.

بند ۱۱-۳-۲-۱-۴- بتن مورد استفاده در این سیستم باید حداقل در رده *C20* مطابق ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد.

۵-۳-۲- مصالح اتصالات

بند ۱۱-۳-۲-۲- اتصالات در سازه‌های بتنی پیش‌ساخته از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. بطور کلی دو نوع اتصال تر و خشک برای قطعات بتنی پیش‌ساخته وجود دارد. در اتصالات خشک عمدتاً از مصالح فولادی با جوش یا پیچ و مهره استفاده می‌شود در حالی که در اتصالات تر از مصالح گروت یا ملات (تر و خشک) استفاده می‌شود.

۵-۴- ویژگی‌های معماری

در طراحی معماری این سیستم، با توجه به پیش‌ساخته بودن قطعات محدودیت چندانی از نظر ابعاد و تناسبات فضاها وجود ندارد. در این روش به دلیل استفاده از تیرهای با مقطع *I* شکل، می‌توان دهانه‌های بزرگ (تا ۱۸ متر) را پوشاند. در نتیجه از نظر معماری انعطاف‌پذیری بسیاری وجود دارد و می‌توان فضاهای داخلی را به نحو دلخواه تقسیم‌بندی کرد.

شکل (۵-۲): ایجاد فرم‌های متنوع در معماری

۵-۵- سیستم سازه‌ای

بند ۱۱-۳-۷-۲-۱- سازه‌های بتنی پیش‌ساخته می‌توانند از انواع مختلف سیستم‌های سازه‌ای از قبیل قاب خمشی، دیوارهای باربر بتنی و سیستم‌های دوگانه (ترکیبی) تشکیل شده باشند. در طراحی این نوع سیستم‌های سازه‌ای رعایت الزامات شکل‌پذیری مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ضروری است.

بند ۱۱-۳-۷-۲-۳- سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی عبارتند از: دیوار برشی، قاب خمشی، ستون‌های T شکل یک سرگیردار و قاب‌های مهاربندی شده.

پایداری و باربری جانبی سازه در این سیستم به یکی از دو روش کلی زیر تأمین می‌شود:

الف- سیستم قاب خمشی با اتصالات گیردار (اتصالات صلب)

ب- سیستم قاب با اتصالات ساده (مفصلی) همراه با مهاربندی یا دیوار برشی

مهاربندی قاب‌های ساده به یکی از روش‌های زیر انجام می‌شود:

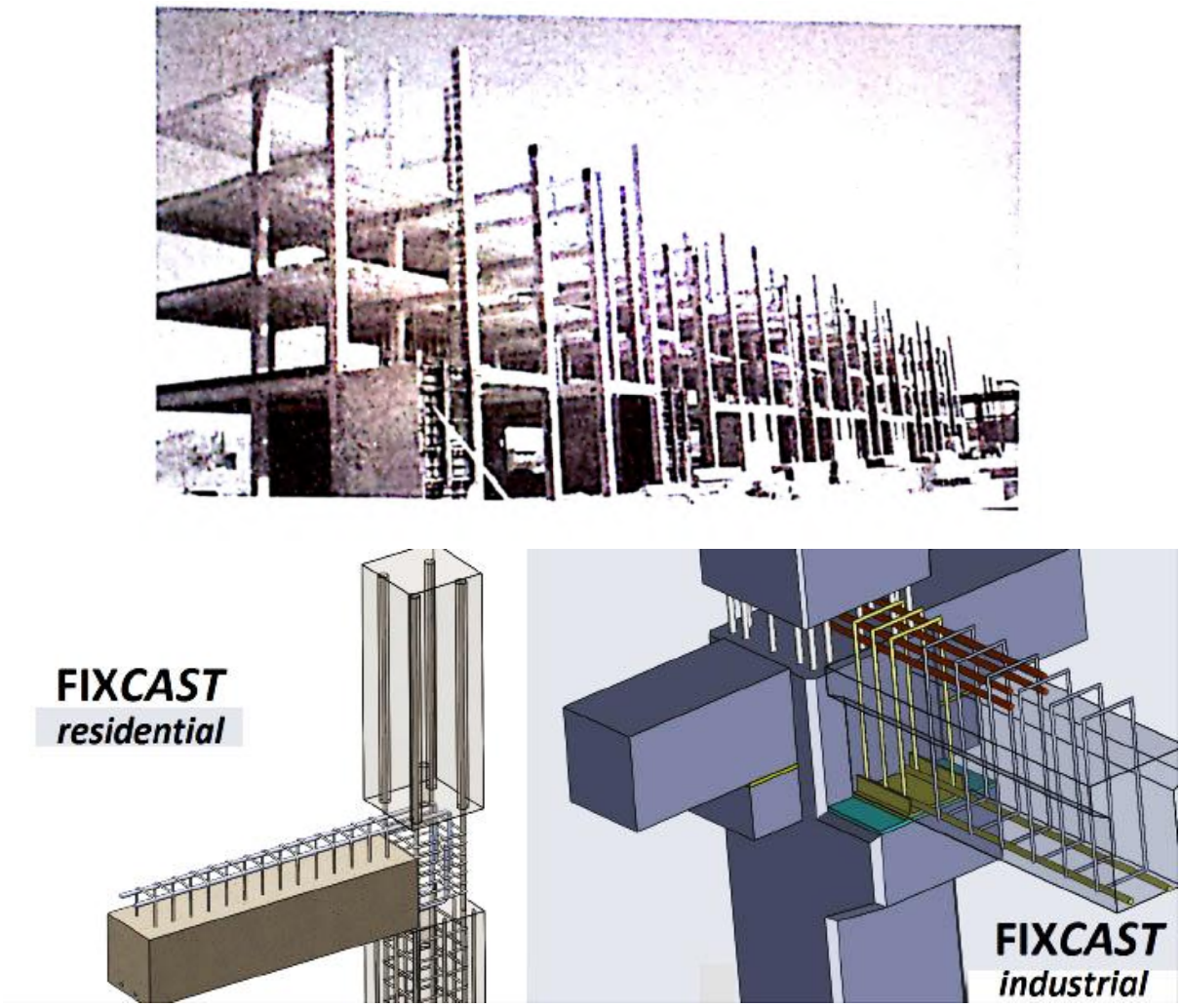
- **مهاربندی فلزی**
- **دیوار برشی پیش‌ساخته**
- **دیوار برشی بتن درجا**

۵-۴-۱- سیستم قاب خمشی با اتصالات گیردار (اتصالات صلب)

در این سیستم قاب خمشی با اتصالات گیردار (صلب) بین تیر و ستون، گیرداری کامل وجود دارد و بین آنها (تیر و ستون) انتقال کامل لنگر صورت می‌گیرد. در نتیجه سختی خمشی تیر نیز در باربری جانبی سازه سهیم بوده و از عوامل اصلی پایداری است. بدین ترتیب تیرها نیز سهم عمده‌ای از باربری جانبی را بر عهده دارند.

به علت صلب بودن اتصالات در این سیستم، هنگام زلزله دو لنگر محرک، در بالا و پایین در محل اتصال تیر و ستون بر روی ستون شکل می‌گیرد، همچنین لنگر خمشی مقاومی بر روی تیرها در دو طرف اتصال پدید می‌آید. این لنگرها باعث ایجاد برش بسیار زیاد در ناحیه اتصال می‌شوند. به همین علت تمامی آئین‌نامه‌ها، میلگردبندی ویژه‌ای را در این ناحیه الزامی می‌دانند. همچنین تجارب به‌دست آمده از زلزله‌های قبلی نشان داده است که یکی از مهم‌ترین نقاط آسیب‌پذیر در

ساختمان‌های بتنی با سیستم خمشی، محل اتصال تیر و ستون است. اکثر ساختمان‌های بتنی که در حال حاضر به روش‌های متداول طراحی و اجرا می‌شوند، دارای سیستم قاب خمشی هستند.

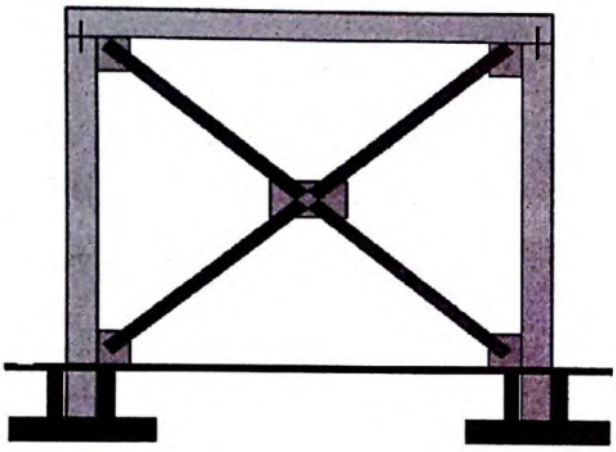


شکل (۵-۳): قاب خمشی با اتصالات گیردار

۵-۴-۲- سیستم قاب با اتصالات ساده (مفصلی) همراه با مهاربندی یا دیوار برشی

الف- مهاربندی فلزی

این روش به طور معمول در قاب‌های فولادی استفاده می‌شود. در این حالت قاب ساده برای بارهای ثقلی طراحی شده و مهاربندی (بادبندهای) فلزی برای پایداری در مقابل بارهای جانبی، استفاده می‌شوند.



شکل (۵-۴): مهاربند فلزی

ب- دیوار برشی پیش‌ساخته

دیوار برشی، یکی از مؤثرترین روش‌ها برای مقاومت در برابر بار جانبی است. دیوار برشی به دلیل دارا بودن سختی زیاد درون صفحه‌ای، می‌تواند بخش عمده بارهای جانبی را جذب و باعث کاهش در ابعاد سایر عناصر خطی شود، شکل (۵-۵).

شکل (۵-۵): دیوار برشی بتنی پیش‌ساخته

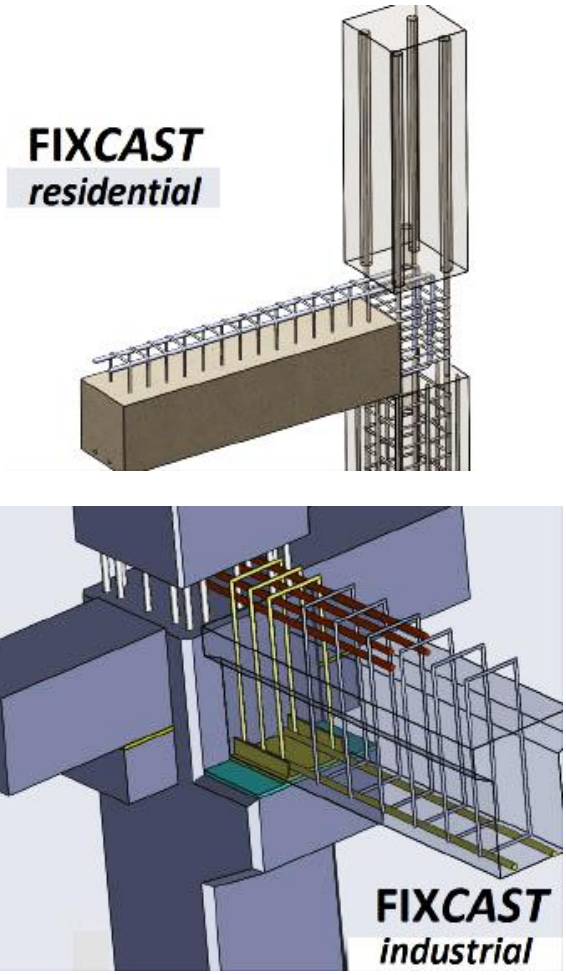
پ- دیوار برشی بتن درجا

در این روش میلگردهای انتظار برای اجرای دیوار برشی بتنی درجا از قبل در پی پیش‌بینی می‌شود و همزمان با نصب قطعات پیش‌ساخته (مانند تیر، ستون و سقف) بتن‌ریزی دیوار برشی به نحوی انجام می‌شود که یکپارچگی کافی بین قاب ساده و دیوار برشی بتن درجا تأمین شود.

۵-۶- انواع اتصالات در سیستم پیش‌ساخته بتنی

۵-۵-۱- اتصالات در سیستم قاب خمشی

در اتصالات صلب، میزان دوران انتهای تیر نسبت به دوران انتهای ستون برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر زاویه‌ی بین تیر و ستون همواره ثابت (و معمولاً برابر ۹۰ درجه) باقی می‌ماند. اجرای اتصالات خمشی (صلب) با پیش‌بینی اجزاء و قطعات مورد نیاز بر روی ستون‌ها و تیرها و تکمیل آن در زمان نصب قطعات و اجرای سیستم سازه‌ی ساختمان، امکان‌پذیر می‌شود.



شکل (۵-۶): جزئیات اتصال در قاب خمشی

۵-۵-۲- اتصالات در سیستم قاب ساده

به طور معمول در سیستم پیش‌ساخته بتنی اتصال تیر به ستون به صورت مفصلی است. در این حالت به وسیله‌ی نبشی‌ها و صفحات فولادی که از قبل در انتهای تیرها و ستون‌ها تعبیه شده‌اند، اتصال اجرا می‌شود. به علت انعطاف‌پذیر بودن، نبشی موجب گیردار شدن (صلب شدن) اتصال تیر

به ستون نمی‌شود، در نتیجه فقط نیروی برشی تیر به ستون منتقل می‌شود و در ستون به عنوان یک نیروی محوری عمل می‌کند. در این سیستم، سختی خمشی تیر، سهمی در باربری جانبی نداشته و پایداری در برابر نیروهای جانبی توسط عناصر دیگری مانند مهاربندی فلزی یا دیوار برشی تأمین می‌شود. همچنین می‌توان از اتصال نیمه صلب در سازه‌ها استفاده کرد. البته به دلیل ایجاد درجات نامعینی بیشتر در سازه، کمتر از این روش استفاده می‌شود.

انواع اتصالات در سازه‌های پیش‌ساخته بتنی در روش قاب با اتصالات ساده را می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف- اتصال ستون به شالوده (دیوار به شالوده)

این اتصال می‌تواند به وسیله‌ی پیچ‌هایی که صفحات فولادی نصب شده در انتهای ستون-های(دیوارهای) بتنی را به پی متصل می‌کنند، اجرا شود. همچنین می‌تواند با قراردادن ستون (دیوار) در حفره‌های درون پی و بتن‌ریزی اطراف آن (و یا روش مته‌ای) اتصال ستون(دیوار) به پی را اجرا کرد.

ب- اتصال ستون به ستون (دیوار به دیوار)

این اتصال می‌تواند به روش کام و زبانه یا با استفاده از صفحات فولادی در طرفین محل اتصال اجرا شود.

پ- اتصال تیر به ستون

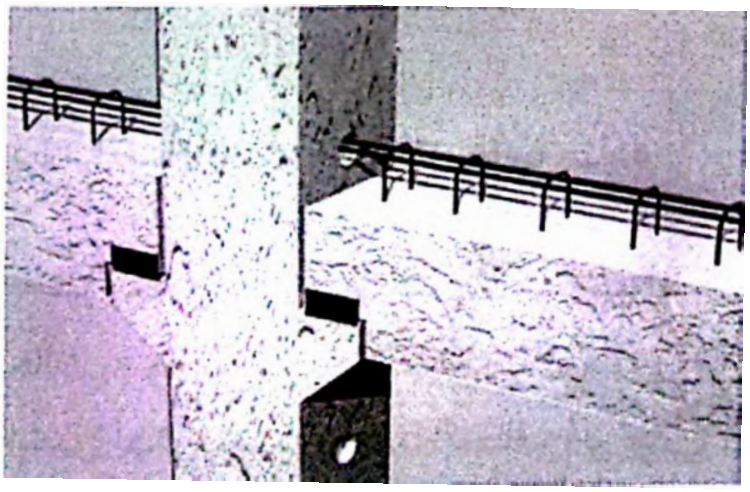
این اتصال می‌تواند با استفاده از نبشی‌ها و صفحات فولادی که از قبل برروی تیرها و ستون‌ها تعبیه شده است و پیچ‌هایی که در محل نصب می‌شوند، اجرا شود، شکل (۵-۷)، و شکل (۵-۸).

ت- اتصال سقف به تیر

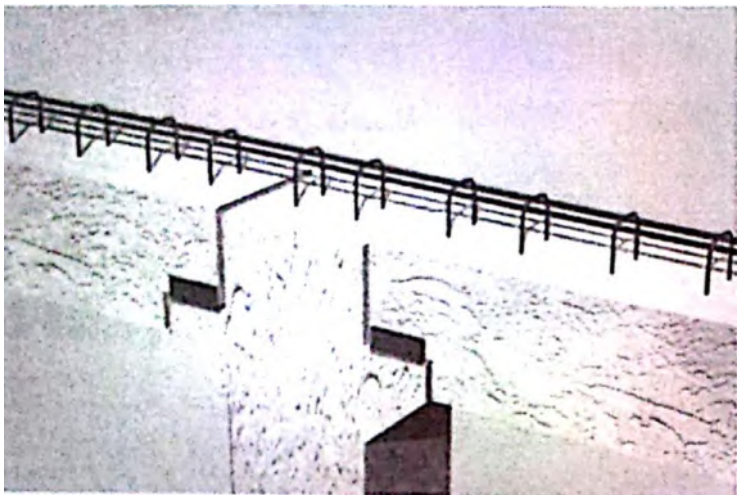
اتصال سقف به تیر به طور معمول به صورت تر و با استفاده از میلگردهایی که از قبل در قطعات سقف و تیر پیش‌بینی شده است، اجرا می‌شود. بدین ترتیب که با اضافه کردن میلگردهای طولی برای به هم پیوستن میلگردهای پیش‌بینی شده در قطعات سقف و تیر و بتن‌ریزی فاصله‌ی بین این دو قطعه، در محل اجرای ساختمان اتصال مورد نظر تکمیل می‌شود، شکل (۵-۹)، و شکل (۵-۱۰).

ث- اتصال سقف به سقف

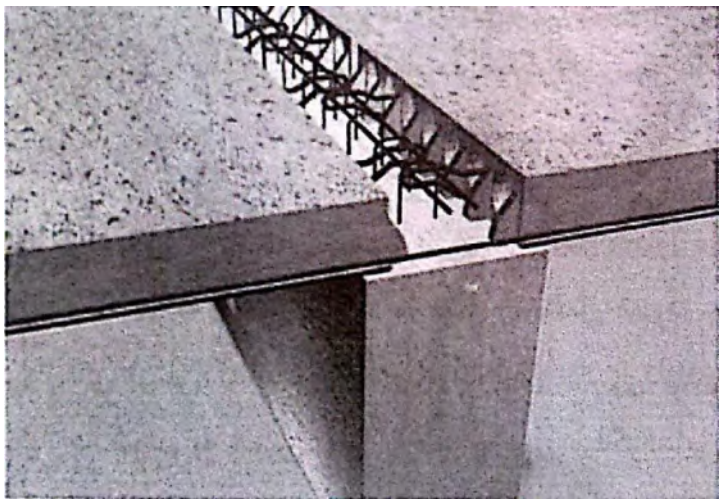
در این روش بتن‌ریزی فاصله‌ی بین قطعات سقف که با استفاده از میلگردهای کلاف کننده در لبه‌ی قطعات و میلگردهای متصل‌کننده انجام می‌شود، امکان یکپارچگی و اتصال قطعات سقف را فراهم می‌کند.



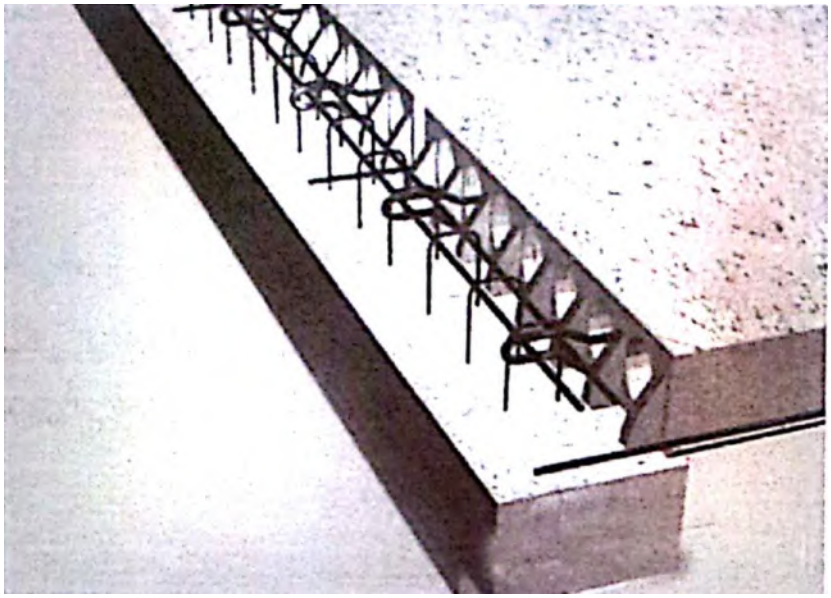
شکل (۵-۷): اتصال تیرهای کوتاه به ستون در طبقات



شکل (۵-۸): اتصال تیرهای کوتاه به ستون در بام



شکل (۵-۹): اتصال سقف به تیرهای بلند میانی



شکل (۵-۱۰): اتصال سقف به تیرهای کوتاه محیطی

ج- اتصال ستون به دیوار برشی

اتصال بین ستون و دیوار برشی بسته به نوع دیوار برشی (دیوار برشی پیش ساخته یا دیوار برشی درجا) به وسیله‌ی تعبیه قطعات و میلگردهای مورد نیاز بر روی ستون‌ها و دیوار برشی و تکمیل آن در محل اجرای پروژه انجام می‌شود.

چ- اتصال سقف به دیوار برشی درجا

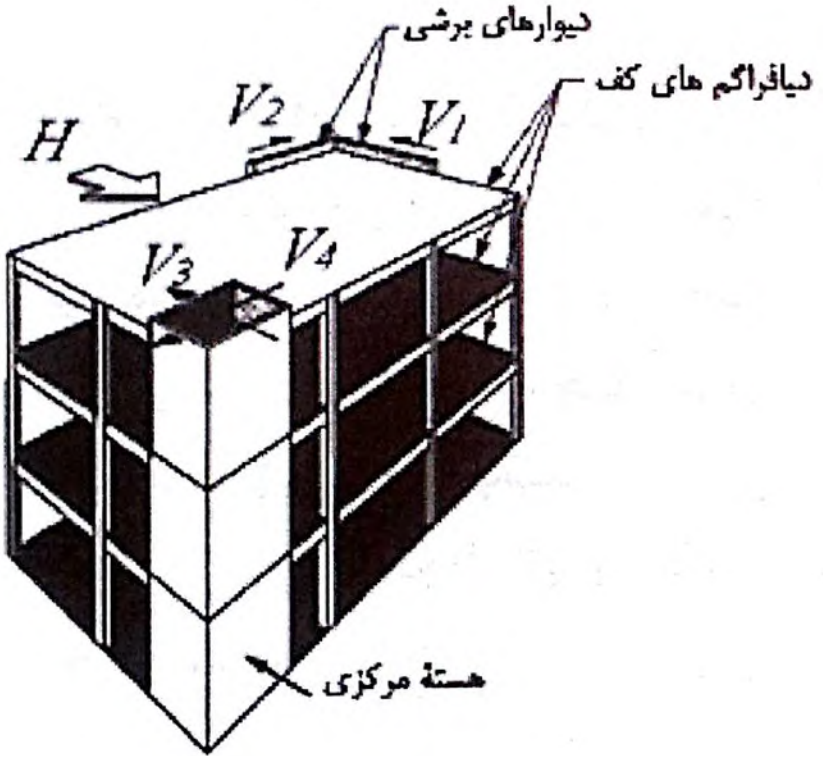
این اتصال با درگیر شدن میلگردهای عمودی و افقی دیوار برشی با میلگردهای کلاف کننده در لبه‌ی قطعات سقف و بتن‌ریزی یکپارچه محل اتصال قابل اجراست.

۵-۷- سازه کف

در ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته، صلبیت لازم برای سازه‌ی کف توسط سقف‌های بتنی توخالی (کف‌های بتنی پیش‌ساخته که به عنوان تیرهای افقی با ارتفاع زیاد عمل می‌کنند) تأمین می‌شود. دیوارهای برشی یا دیگر اجزای مقاوم جانبی، به عنوان تکیه‌گاه‌هایی برای این تیرها و بارهای جانبی وارد بر آن، طراحی می‌شوند، شکل (۵-۱۱).

انواع مختلفی از سقف در سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی قابل اجراست. از آن جمله می‌توان به سقف-های مجوف با عرض ثابت ۱/۲ متر و طول حداکثر ۶/۴ متر (با تغییر طول‌های ۱۵ سانتی‌متر) و ضخامت ۲۱/۵ سانتی‌متر و مقاومت فشاری ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع اشاره کرد، که حدود ۳۰٪ از سقف‌های توپر سبک‌تر است. سرعت ساخت این قطعات بسیار زیاد است، به طوری که با

تکنولوژی‌های موجود و با رعایت آئین‌نامه‌های معتبر، در هر ۱۰ دقیقه یک قطعه سقف قابل تولید است.



شکل (۵-۱۱): نحوه توزیع بارهای وارد بر کف

۵-۸- مراحل ساخت و اجرای سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی

مراحل اصلی ساخت و اجرای سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی عبارتند از:

- تولید قطعات در کارخانه
- حمل قطعات از کارخانه به محل اجرای ساختمان
- نصب قطعات و تکمیل اتصالات

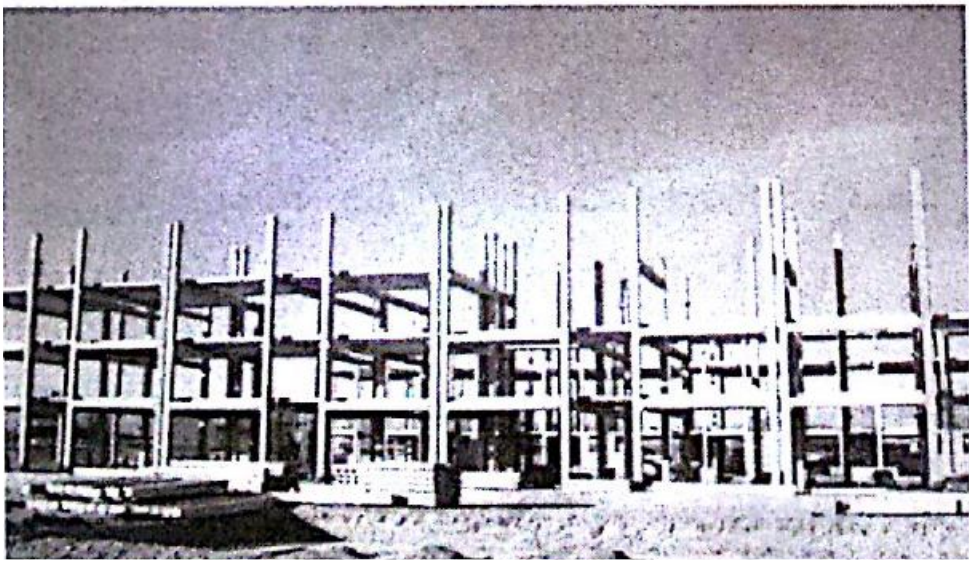
نکته: تولید قطعات بزرگتر، تعداد اتصالات را کاهش می‌دهد و سرعت عملیات را بالا می‌برد، ولی در مقابل حمل و نقل و نصب آن سخت‌تر و اجرای اتصالات آن مشکل‌تر می‌شود. بهتر است وزن قطعات کمتر از ۱۰ تن باشد و تا حد امکان به ۶ تن محدود شود. قطعات مورد نیاز، پس از طراحی و محاسبه و تهیه نقشه‌های اجرایی، در کارخانه تولید و سپس به محل پروژه حمل و به کمک جرثقیل نصب و اجرا می‌شوند.

۵-۹- روش‌های اجرای سیستم پیش‌ساخته بتنی

- روش خطی (تیر و ستون)
- روش دیواری

۵-۹-۱- اجرای ساختمان به روش خطی

در این روش اجزای تشکیل دهنده‌ی سازه ساختمان، شامل پی، شناژ، ستون، تیر و سقف به صورت پیش‌ساخته بوده و اتصالات قطعات آن از نوع تر است. به عبارت دیگر، اتصال قطعات به وسیله‌ی اجرای بتن در فاصله‌ی بین دو قطعه و با استفاده از میلگردهای پیش‌بینی شده در لبه‌ی قطعات و میلگردهای متصل کننده‌ای که قبل از بتن‌ریزی اتصال نصب می‌شوند، صورت می‌گیرد. مقاومت در برابر بارهای جانبی به وسیله مهاربندی فلزی و دیوارهای برشی بتنی به صورت درجا یا پیش‌ساخته، در محل پروژه تأمین می‌شود، شکل (۵-۱۲).



شکل (۵-۱۲): اجرای ساختمان به روش خطی (تیر و ستون)

۵-۹-۲- اجرای ساختمان به روش دیواری

در این روش اجزای تشکیل دهنده‌ی سازه ساختمان، شامل پی نواری، پانل‌های دیوار و سقف به صورت پیش‌ساخته است. اتصالات این روش از نوع پیچ و مهره و در مواردی از نوع اتصالات تر است. کلیه بازشوهای در و پنجره و هر نوع داکت برای عبور تأسیسات و حتی محل کلید پریز و لوله‌های برق، از قبل پیش‌بینی شده و در کارخانه اجرا می‌شوند.

دیوارها به هر فرم دلخواهی قابل تولید هستند، ولی اغلب در دو نوع دیوار جداکننده محوطه و دیوار باربر به ضخامت ۸ الی ۲۰ سانتی‌متر و حداکثر ارتفاع ۳ متر و طول ۸/۲۰ متر تولید می‌شوند. دیوارهای باربر قابلیت اجرا در چندین طبقه را دارند. دیوارهای محوطه به صورت ساده یا طرح‌دار با حداقل ضخامت ۷ سانتی‌متر با انواع نمای برجسته و یا نمای مشبک تولید می‌شوند و قابل نصب بر روی ستون‌های فلزی و یا ستون‌های پیش‌ساخته بتنی هستند.

۵-۱۰- ویژگی‌های سیستم از نظر تأسیسات مکانیکی و الکتریکی

در سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی، جاگذاری اجزای تأسیساتی (لوله‌های آب و فاضلاب، کلید و پریزهای برق، دودکش و کانال‌های تهویه) در درون قالب دیوار و در واقع پیش از قالب‌بندی و بتن‌ریزی انجام می‌شود. این امر سبب حفظ یکپارچگی دیوارها می‌شود و نیاز به عملیات تخریب و ترمیم مجدد دیوارها برای نصب تأسیسات الکتریکی و مکانیکی نیست. البته در صورت نیاز به تعمیر تأسیسات، به دلیل مدفون شدن این بخش‌ها در دیوارهای بتنی که نقش سازه‌ای نیز دارند، مشکلاتی برای بنا ایجاد می‌شود.

۵-۱۱- کاربردهای مناسب سیستم پیش‌ساخته بتنی

سیستم پیش‌ساخته‌ی بتنی برای احداث ساختمان‌هایی با کاربری‌های زیر مناسب تشخیص داده می‌شود:

- ساختمان‌های مسکونی با طبقات محدود
- پارکینگ طبقاتی
- سالن‌های صنعتی
- سالن‌های ورزشی
- کارگاه‌ها، کارخانه‌ها و سالن‌های صنعتی
- دیوارهای محوطه
- پل‌ها و تقاطع‌های غیرهمسطح
- قطعات خاص مانند قطعات پناهگاه
- انواع پی‌ها، کانال‌های آبرو با مقاطع مختلف
- سقف‌های مورد استفاده در سالن‌ها با کاربری‌های مختلف و با دهانه‌های بزرگ

- انواع قطعات نما

۵-۱۲- مزایای استفاده از سیستم پیش‌ساخته بتنی

- در صورت استفاده از تیرهای پیش‌تنیده، ارتفاع تیرها کاهش می‌یابد.
- امکان کنترل کیفی مراحل مختلف از قبیل ریختن بتن و لرزاندن، عمل‌آوری و ....
- به علت باقی ماندن قطعات در کارخانه برای مدتی خاص، بخش عمده‌ای از افت و جمع شدگی بتن در کارخانه رخ می‌دهد.
- عدم اتلاف مصالح و قابلیت اجرا با بتن سبک
- صرفه‌جویی در زمان و هزینه به علت عدم نیاز به قالب‌بندی در کارگاه
- قابلیت اجرا در تمامی شرایط جوی
- سرعت اجرای بالا و بازگشت سریع سرمایه
- قابلیت برنامه‌ریزی مراحل دقیق اجرا
- کاهش ریسک مالی عملیات
- نیاز به نیروی انسانی کمتر به علت پیش‌ساخته بودن قطعات
- کاهش تعداد دفعات تردد (به علت کمتر بودن حجم قطعات پیش‌ساخته)
- سازگاری با شرایط زیست محیطی (به دلیل ساخت قطعات در کارخانه، نخاله زیادی تولید نمی‌گردد).

۵-۱۳- محدودیت‌ها و معایب سیستم پیش‌ساخته بتنی

- مصرف بالای بتن و آرماتور
- هزینه ساخت اندکی بیش از سایر سیستم‌هاست
- نیاز به عایق صوتی و حرارتی (معمولاً از لایه‌های پلاستوفوم در دیوارها استفاده می‌گردد تا مشکل مزبور حل گردد).
- از آنجا که این سیستم، یک روش صنعتی برای تولید ساختمان محسوب می‌شود، در پروژه-های انبوه‌سازی دارای بازدهی بالا از نظر زمان و هزینه است، ولی در مقیاس کوچک دارای توجیه کافی نبوده و به همین علت مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

فصل ششم:

سیستم پانل‌های سه بعدی

(3D Sandwich Panels)

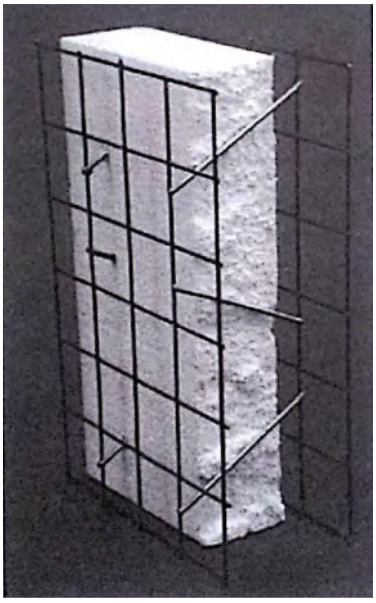
۶-۱- معرفی سیستم

سیستم پانل‌های ساندویچی پیش‌ساخته بتنی اولین بار در سال ۱۹۶۷ میلادی توسط شخصی به نام ویکتور وایزمن در ایالت کالیفرنیای آمریکا به ثبت رسید و در دهه‌ی ۸۰ میلادی با عنوان "پانل-های ساندویچی با روش پاشیدن بتن در محل" به طور گسترده در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفت، شکل (۶-۱).

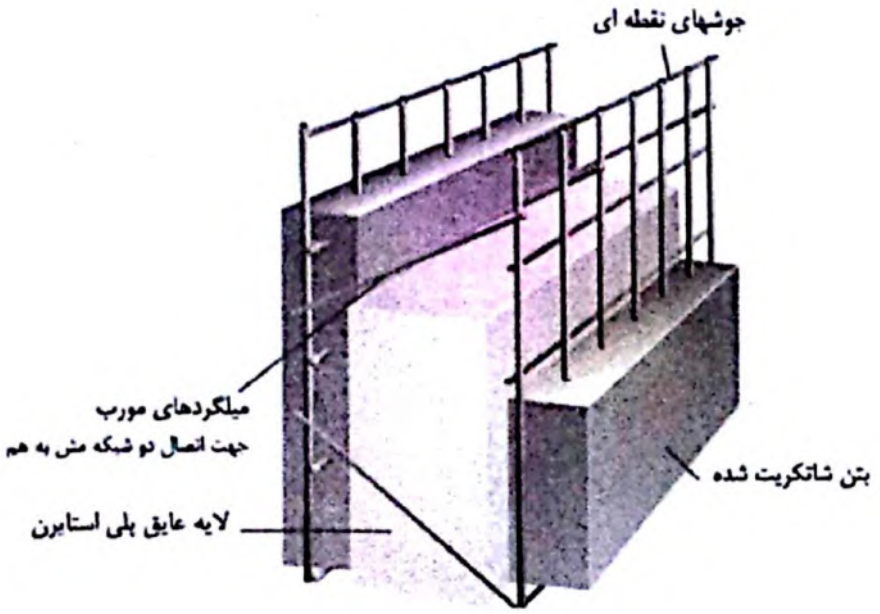
این سیستم از یک لایه عایق پلی استایرن منبسط شده[1] در وسط و دو شبکه‌ی فلزی در طرفین که به وسیله مفتول‌های فلزی به هم وصل شده‌اند، تشکیل شده و پس از نصب در محل مورد نظر، روی شبکه‌های فلزی که در طرفین قرار دارد، بتن پاشیده (شاتکریت[2]) می‌شود، شکل (۶-۲). عناصر اصلی در این سیستم پانل‌های دیواری و سقفی هستند و هیچ گونه عضو باربر خطی مانند تیر یا ستون وجود ندارد. نقش اصلی سازه‌ای (مقاومت در برابر نیروهای ثقلی و جانبی) را پانل‌های دیواری بر عهده دارند و پانل‌های سقفی نیز به صورت صفحات باربر، نیروها را به پانل دیواری انتقال می-دهند.

1 . *Extended Poly Styrene (EPS)*

2 . *Shotcrete*



شکل (۶-۱): سیستم پانل سه بعدی



شکل (۶-۲): اجزای تشکیل دهنده‌ی سیستم پانل سه بعدی

۶-۲- دامنه کاربرد

بند ۱۱-۵-۱-۳- دامنه کاربرد پانل‌های پیش‌ساخته به صورت زیر طبقه بندی می‌شود:

- **به صورت دیوارهای باربر و یا دیافراگم افقی به عنوان سازه باربر ساختمان و یا دیوارهای جداکننده غیرباربر به کار می‌رود.**

- در سازه‌های متعارف بتنی و فلزی به عنوان دیوار برشی جهت باربری جانبی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶-۳- تعاریف و اصطلاحات فنی

۱۱-۵-۱-۳-۱ برش گیر: عضو خرپای فولادی مورب که با آرایش تعیین شده توسط جوش مقاومتی به دو لایه شبکه جوش شده متصل می‌شود.

۱۱-۵-۱-۳-۲ بتن پاششی: بتنی که با طرح اختلاط مخصوص ساخته شده و اجرای آن توسط پاشش با فشار سریع روی سطوح، بدون نیاز به قالب‌بندی، صورت می‌گیرد.

۱۱-۵-۱-۳-۳ پانل دیواری: پانلی است که به صورت قائم در این نوع سیستم سازه‌ای به عنوان عضو باربر افقی یا قائم و یا به عنوان دیوارهای جداکننده غیرباربر به کار برده شود.

۱۱-۵-۱-۳-۴ پانل سقفی: پانلی است که به صورت افقی یا با شیب کم به عنوان تمام یا جزیی از دیافراگم افقی به کار می‌رود.

۱۱-۵-۱-۳-۵ پود: مفتولی است که عمود بر مفتول‌های تار در شبکه جوش شده به کار می‌رود.

۱۱-۵-۱-۳-۶ تار: مفتول طولی به کار رفته در شبکه جوش شده می‌باشد که در خطوطی به موازات صفحات برش گیرها قراردارد.

۱۱-۵-۱-۳-۷ چشمه شبکه: به سطح حاصل از تقاطع دو مفتول تار و پود به صورت متوالی در شبکه جوش شده اطلاق می‌شود.

۱۱-۵-۱-۳-۸ زاویه برش گیر: زاویه‌ای که مفتول برش گیر در مقطع طولی با محور افق (مفتول تار) می‌سازد، زاویه برش گیر نام دارد.

۱۱-۵-۱-۳-۹ سیستم کامل پانلی: سیستم کامل پانلی سیستم سازه‌ای است که فاقد اسکلت جداگانه برای تحمل بارهای قائم وافقی باشد و دیوارهای پانلی بارهای قائم و جانبی را تحمل می‌کنند. همچنین دیافراگم افقی این سیستم با پانل‌های سقفی تامین می‌شود.

۱۱-۵-۱-۳-۱۰ سیستم مختلط پانلی: سیستمی است که در آن دیوار پانلی به عنوان تمام یا بخشی از اجزای باربر قائم یا افقی در ترکیب با سیستم‌های متعارف سازه‌ای به کار می‌رود.

۱۱-۵-۱-۳-۱۱ شبکه جوش شده: ازاتصال مفتول‌های فولادی سرد کشیده شده با آرایش عمود بر هم به صورت جوش مقاومتی به یکدیگر، شبکه‌ای ایجاد می‌شود که شبکه جوش شده خوانده می‌شود. دراین بخش واژه شبکه به جای عبارت شبکه جوش شده به کار می‌رود.

۱۱-۵-۱-۳-۱۲ صفحه برش گیر: صفحه‌ای فرضی عمود بر صفحه هسته عایق می‌باشد که برش گیرها در آن قرار گرفته‌اند و مفتول‌های تار نیز در آن صفحه واقع‌اند.

۱۱-۵-۱-۳-۱۳ مفتول سرد کشیده شده: مفتولی که طی فرآیندهای متوالی کشش، تنش‌زدایی در کشش مجدد که با کاهش قطر همراه است، ساخته شود.

۱۱-۵-۱-۳-۱۴ هسته عایق: صفحه‌ای یکپارچه با ضخامت معین، قرار گرفته به صورت متقارن و محصور با فاصله از شبکه‌های جوش شده پانل قرار می‌گیرد که برش گیر از میان آن عبور داده می‌شود.

۶-۴- اجزای سیستم

مهمترین اجزای تشکیل دهنده‌ی سیستم پانل‌های سه بعدی، دیواره‌ها و سقف‌هایی است که بخشی از آن در کارخانه و بخشی در محل اجرای ساختمان شکل می‌گیرد. این دیواره‌ها تحمل نیروهای قائم و افقی (بارهای ثقلی و بارهای جانبی) را بر عهده دارند. این پانل‌ها که نقش دیوارهای داخلی و خارجی ساختمان را نیز بر عهده دارند، از اجزای زیر تشکیل می‌شوند:

- **عایق (لایه) پلی‌استایرن**
- **شبکه‌ی میلگردها**
- **خاموت‌های برشی**
- **شبکه اتصال**
- **بتن پاشیده شده بر روی شبکه‌ی میلگردها (شاتکریت)**

۶-۵- عایق (لایه) پلی استایرن

۱۱-۵-۲-۳-۱ هسته عایق به کار رفته درسیستم پانلی سه بعدی باید از جنس پلی استایرن قابل انبساط (E.P.S) و مطابق استاندارد ملّی ایران باشد.

۱۱-۵-۲-۳-۲ هسته عایق از جنس پلی‌استایرن منبسط شونده باید دارای حداقل چگالی اسمی $15 kg/m^3$ باشد.

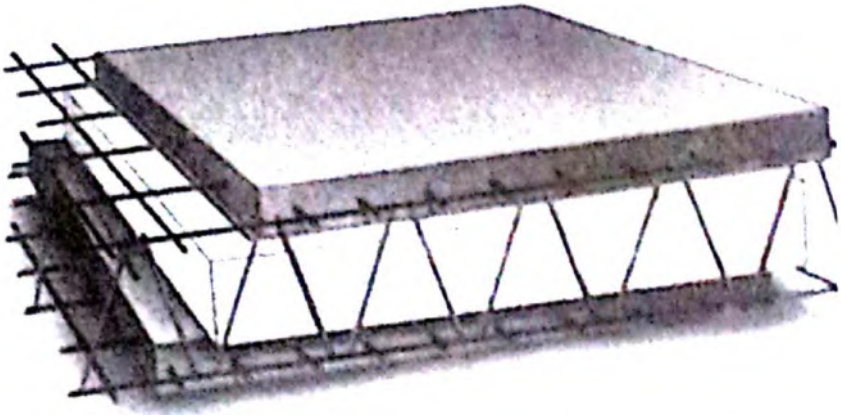
۱۱-۵-۲-۳-۳ ضخامت هسته عایق در پانل‌های دیواری نباید از ۴۰ میلی‌متر کمتر باشد. بر این مبنا فاصله شبکه‌های جوش شده از یکدیگر حداقل ۸۰ میلی‌متر است.

۱۱-۵-۲-۳-۴ ضخامت هسته عایق بر حسب عملکرد پانل سقفی و بارهای وارده نباید کمتر از ۶۰ میلی متر باشد. بر این مبنا فاصله شبکه‌های جوش شده از یکدیگر حداقل ۱۰۰ میلی‌متر است.

۱۱-۵-۲-۳-۵ مشخصات حرارتی هسته عایق باید مطابق ضوابط مبحث نوزدهم مقررات ملّی ساختمان باشد.

۱۱-۵-۲-۳-۶ مشخصات مقاومتی مصالح هسته عایق در برابر آتش‌سوزی باید مطابق ضوابط مبحث سوم مقررات ملّی ساختمان باشد.

نکته: از مهمترین خصوصیات این ماده آن است که هیچ‌گاه به محل رشد و نمو قارچ‌ها تبدیل نشده و قابل تجزیه نیست و از آنجا که یک هیدرو کربن خالص است، با آب تجزیه نشده و متورم نمی‌شود.



شکل (۶-۳): عایق پلی استایرن منبسط شونده

نکته: برای انتخاب عرض و ارتفاع پانل‌ها، از مدول ۳۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود (عرض‌های ۹۰ و ۱۲۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر، و ارتفاع ۲۷۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر). یک صفحه با ابعاد ۳۰۰*۱۵۰ سانتی‌متر، به سادگی توسط یک کارگر قابل حمل و نصب می‌باشد.

شکل (۶-۴): سبکی و سهولت حمل پانل‌ها

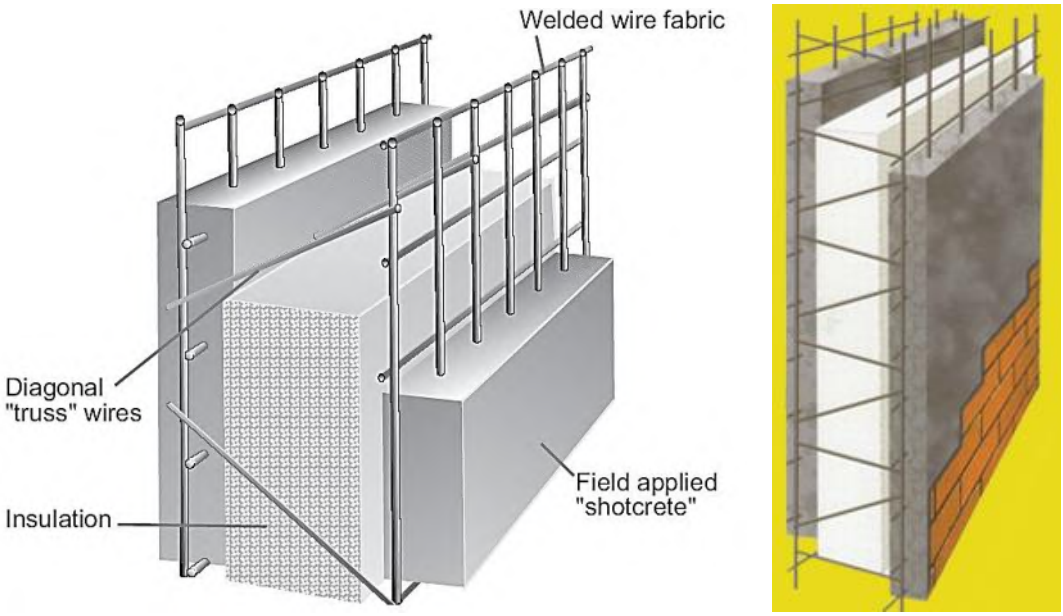
۶-۶- شبکه میلگرد

شبکه‌ی میلگردهای جوش شده با ماشین‌آلات تمام اتوماتیک ساخته می‌شوند. این شبکه متشکل از مفتول‌های طولی (تار) و عرضی (پود) از فولادی با قطر ۶ میلی‌متر ساخته شده است که طی دو مرحله کشش و یک مرحله تنش‌زدایی به قطری حدود ۳ میلی‌متر می‌رسد. در مناطق مرطوب باید از مفتول‌های قطری گالوانیزه استفاده شود. ابعاد چشمه‌های شبکه‌ی میلگردها ۸۰*۸۰ میلی‌متر است.

بند ۱۱-۵-۲-۲-۱- حداقل تنش تسلیم فولاد شبکه مش ۲۴۰ مگاپاسکال بوده و حداقل قطر آن ۳ میلی‌متر است.

۶-۷- خاموت‌های برشی (وادارهای برشی)

خاموت‌های برشی میلگردهایی هستند که دو شبکه‌ی میلگرد در طرفین عایق پلی‌استایرن را به هم متصل کرده و با توجه به زاویه و نحوه قرارگیری این عناصر، عملکرد ۳ بعدی پانل را تأمین می‌کنند.



شکل (۶-۵): خاموت‌های برشی

۶-۸- شبکه اتصال

این شبکه‌ها در محل تقاطع دو دیوار عمود بر هم، دو دیوار کنار هم یا روی هم و در اتصال دیوار به سقف برای تأمین اتصال دو قطعه‌ی قرار گرفته و دارای اشکال متنوعی هستند.

شکل (۶-۶): خاموت‌های برشی

۱۱-۵-۳-۷ نشانه‌گذاری شبکه جوش شده فولادی باید به ترتیب زیر باشد:

شبکه (Φ_1 ،Φ_2 ،S_1 ،S_2) /L_1 ،L_2

Φ_1: قطر مفتول تار بر حسب میلی‌متر

Φ_2: قطر مفتول پود بر حسب میلی‌متر

S_1: فاصله تارها از یکدیگر بر حسب میلی‌متر

S_2: فاصله پودها از یکدیگر بر حسب میلی‌متر

L_1: طول شبکه (تار) بر حسب میلی‌متر

L_2: عرض شبکه (پود) بر حسب میلی‌متر

۶-۹- بتن پاشیده شده روی شبکه‌ی میلگردها (شاتکریت)

شاتکریت (بتن پاششی) بتنی است که روی یک سطح با فشار زیاد پاشیده می‌شود، تا لایه‌ای متراکم، خودنگهدار و باربر ایجاد شود. استفاده از این نوع بتن به تجربه و تأمین لوازم مناسب نیاز دارد و به ویژه پاشیدن آن به صورت مناسب و صحیح نیازمند کارگران ماهر است. مصالح مصرفی این بتن شامل سیمان پرتلند و سنگدانه با قطر محدود است.

شاتکریت بتن به دو روش تر و خشک امکان‌پذیر است. در روش خشک مصالح بتن به صورت خشک و مخلوط نشده با آب داخل لوله حرکت می‌کنند، هنگام پاشیده شدن هوا و آب به این مواد اضافه می‌شود. به همین دلیل به این روش، روش خشک می‌گویند. در روش تر، ملات بتن در مخزن ساخته می‌شود، این ملات تر با فشار هوا روی شبکه‌ی میلگردهای طرفین دیوار پاشیده می‌شود. در اکثر قریب به اتفاق موارد برای اجرای سیستم پانل‌های سه‌بعدی از روش تر استفاده می‌شود.

۶-۱۰- انواع پانل‌ها از نظر عملکرد سازه‌ای

پانل‌های سه بعدی که در این سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند، بر حسب نوع اتصال لایه‌های مختلف آن به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

الف- پانل مرکب کامل:

در این حالت میزان تغییرشکل نسبی در دو قسمت بتنی اطراف عایق یکسان بوده و در واقع مقطع به صورت یکپارچه عمل می‌کند. می‌توان گفت در این حالت برش بین لایه‌ای ناشی از خمش به صورت کامل از یک لایه به لایه دیگر منتقل شده و پانل به طور کامل به صورت مقطع مرکب عمل می‌کند.

ب- پانل نیمه مرکب:

در این نوع پانل، لایه‌های بتنی دو طرف عایق نسبت به یکدیگر به طور محدود تغییرشکل داشته ولی به طور کامل مستقل نیستند. در واقع برش بین لایه‌ای ناشی از خمش در این حالت به صورت کامل از یک لایه به لایه دیگر منتقل نمی‌شود. در این حالت با توجه به درصد انتقال برش بین لایه‌ای میزان درصد عمل مرکب پانل مشخص می‌شود.

پ- پانل غیر مرکب:

در این حالت لایه میانی و برش‌گیرها نمی‌توانند برش بین لایه‌ای ایجاد شده در خمش را بین لایه‌ها منتقل کنند. در این شرایط هر لایه می‌تواند تغییرشکل مستقل داشته باشد. بنابراین پانل کاملاً غیر مرکب عمل می‌کند.

پانل‌های سه بعدی از لحاظ داشتن رفتار مجزا و یا وابسته به سایر سیستم‌ها به دو دسته زیر طبقه-بندی می‌شوند:

۱۱-۵-۱-۳-۹ سیستم کامل پانلی: سیستم کامل پانلی سیستم سازه‌ای است که فاقد اسکلت جداگانه برای تحمل بارهای قائم وافقی باشد و دیوارهای پانلی بارهای قائم و جانبی را تحمل می‌کنند. همچنین دیافراگم افقی این سیستم با پانل‌های سقفی تامین می‌شود.

۱۱-۵-۱-۳-۱۰ سیستم مختلط پانلی: سیستمی است که در آن دیوار پانلی به عنوان تمام یا بخشی از اجزای باربر قائم یا افقی در ترکیب با سیستم‌های متعارف سازه‌ای به کار می‌رود.

۱۱-۶- ملاحظات معماری

۱۱-۵-۵-۱ در سیستم‌های کامل پانلی به دلیل عدم حضور اعضای باربر غیرپانلی درطرح معماری ساختمان، در نظر گرفتن ملاحظات کامل سازه‌ای از جمله عدم تغییر مسیر انتقال بار در ارتفاع، فاصله دهانه‌های باربر، تأمین تقارن در طرح دیوارهای باربر، جلوگیری از تعبیه بازشوهای بزرگ در دیوارها و سقف و نظایر آن الزامی است.

۱۱-۵-۵-۳ در سیستم‌های پانلی کامل، پلان ساختمان باید دارای شکل متقارن یا تقریباً متقارن نسبت به محورهای اصلی بنا باشد.

۱۱-۵-۵-۴ در سیستم‌های پانلی کامل در مسیر انتقال نیروی جانبی از سازه پانلی به زمین، نباید انقطاعی وجود داشته باشد.

۱۱-۵-۵-۵ در سیستم‌های پانلی کامل درهر دیوار پانلی، سطح بازشوها نباید از ۳۳ درصد سطح کامل دیوار بیشتر باشد.

۱۱-۵-۵-۶ در سیستم‌های پانلی کامل فاصله بازشوها تا کناره‌های دیوار باید حداقل ۷۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۱۱-۵-۵-۷ در سیستم‌های پانلی کامل احداث کنسول‌های بیشتر از یک متر مجاز نیست.

۱۱-۵-۵-۸ در کف‌ها با سیستم‌های پانلی کامل ازایجاد بازشوهای بزرگ و مجاور یکدیگر در دیافراگم‌های کف خودداری شود.

۱۱-۵-۵-۱۰ در سیستم‌های پانلی کامل از ایجاد اختلاف سطح در کف‌ها خودداری شود.

۱۱-۵-۵-۱۱ در سیستم‌های پانلی کامل از کاهش یا افزایش مساحت زیربنای طبقات درارتفاع به طوریکه تغییرات قابل ملاحظه‌ای در جرم طبقات ایجاد شود، پرهیز گردد.

۱۱-۵-۵-۱۲ در سیستم‌های پانلی کامل ارتفاع مجاز هر طبقه بدون کلاف میانی به ۴ متر محدود می‌شود. در صورت افزایش ارتفاع از این مقدار لازم است یک کلاف میانی در نظر گرفته شود. در هر حال ارتفاع هر طبقه نباید از۶ متر بیشتر شود.

۶-۱۲- ملاحظات طراحی سازه‌ای

پانل‌های سه بعدی مورد استفاده در این سیستم گرچه در مرحله تولید، حمل و نصب بسیار سبک هستند، ولی پس از پاشیدن بتن، وزن آنها افزایش پیدا می‌کند. با این وجود وزن نهایی آنها از دیوارهای معمولی کمتر است و در صورت اجرای صحیح، یکپارچگی و مقاومت بسیار خوبی در برابر زلزله دارند. لازم به ذکر است که هنگام وقوع زلزله بیشترین صدمات جانی ناشی از ریزش سقف و دیوارهاست، اما در این سیستم به علت پیوستگی اجزای سازه، خطر ریزش به حداقل می‌رسد.

۱۱-۵-۶-۱ در ساختار دیافراگم‌های افقی ساختمان‌های پانلی سه بعدی(3D)، به منظور تامین دهانه بارگیر موردنیاز علاوه بر سقف‌های پانلی، استفاده از انواع دیگر سیستم‌های سقف متداول با در نظر گرفتن ملاحظات بارگذاری بلامانع است.

۱۱-۵-۶-۵ در سیستم‌های پانلی کامل، پانل‌های دیواری باید برای تحمل بارهای محوری، برش داخل صفحه و خمش طراحی گردند.

۱۱-۵-۶-۷ در سیستم‌های پانلی کامل، سقف سازه‌های پانلی می‌تواند دیافراگم متشکل از پانل‌های سقفی، سیستم تیرچه بلوک، تیرچه‌های فلزی و یا سیستم دال بتن آرمه باشد. در هر حال لازم است دیافراگم سقف از نوع صلب باشد.

۱۱-۵-۶-۱۲ در سیستم‌های پانلی کامل در اطراف بازشوها باید حداقل مساحت معادل مفتول‌های قطع شده از پانل، بصورت فولاد متمرکز در دو طرف بازشو در همان راستا قرار داده شود.

۶-۱۳- ملاحظات اجرایی و روش‌های اجرای سیستم پانلی سه بعدی

الف- اجرای پی

پس از آماده‌سازی خاک بستر و ریختن بتن مگر، پی به صورت نواری یا گسترده اجرا می‌شود.

۱۱-۵-۴-۲ شالوده‌های سیستم پانلی کامل باید از نوع شالوده نواری یا گسترده باشد.

۱۱-۵-۷-۱ در سیستم‌های پانلی کامل، آرماتورهای انتظار شالوده باید بین دو شبکه جوش شده پانل نصب شده بر روی شالوده و چسبیده به آنها قرار گیرند. لازم است آرماتورهای انتظار در یک صفحه فرضی عمودی واقع شوند.

۱۱-۵-۷-۲ در سیستم‌های پانلی کامل، میلگردهای انتظار باید کاملا قائم و شاقول بوده و در حین بتن‌ریزی از راستای خود خارج نشوند.

شکل (۶-۷): میلگردهای انتظار در پی

ب- نصب پانل‌های دیوار و اتصالات

۱۱-۵-۷-۳ در ابتدای نصب پانل‌های دیوار باید پانل منتهی‌الیه گوشه دیوار خارجی به عنوان پانل مبنا نصب و شاقول گردد. این پانل به عنوان مبنای نصب دیوارهای هم راستا و عمود بر خود می‌باشد.

۱۱-۵-۷-۵ در محل اتصال دو دیوار عمود بر هم، میلگردهای اتصال U شکل در محل تقاطع باید طوری چسبیده و عمود بر هم قرار گیرند تا تشکیل خاموت بسته دهند. میلگردهای اتصال باید بین شبکه جوش شده و هسته عایق قرارگرفته و به شبکه جوش شده متصل شوند.

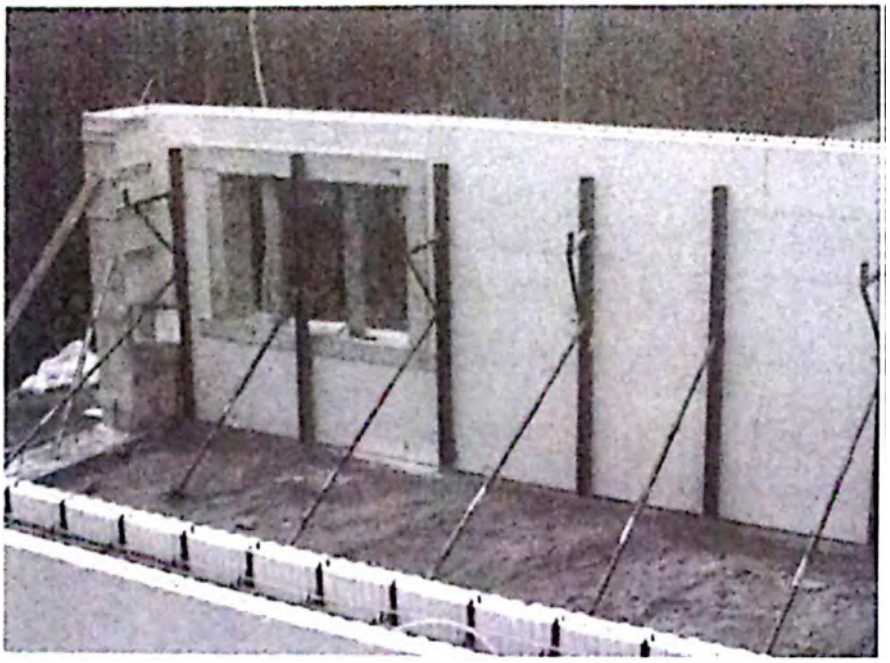
شکل (۶-۸): نصب پانل‌های دیوار و اتصالات

در محل اتصال پانل‌های دیواری با شالوده باید ۵ سانتی‌متر از هسته‌ی عایق برداشته شود. همچنین برای تأمین پایداری قائم پانل‌های دیواری در مرحله‌ی پاشیدن بتن لازم است در فاصله‌ی ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری از بالای دیوار، پشت‌بندهایی با فاصله افقی حداکثر ۳ متر از یکدیگر قرار گیرند، شکل (۶-۹).

پ- اجرای اتصالات بازشوها

۱۱-۵-۷-۷ برای جلوگیری از ایجاد ترک دور بازشوها باید از شبکه میلگرد در محیط بازشو استفاده شود.

۱۱-۵-۷-۸ لازم است چارچوب‌های در و پنجره پیش از بتن پاشی و همراه با نصب پانل در محل خود، به صورت شاقولی، قرار گرفته باشند.



شکل (۶-۹): استفاده از پشت بند برای نگهداری دیوار

ت- نصب لوله‌های تأسیسات الکتریکی و مکانیکی

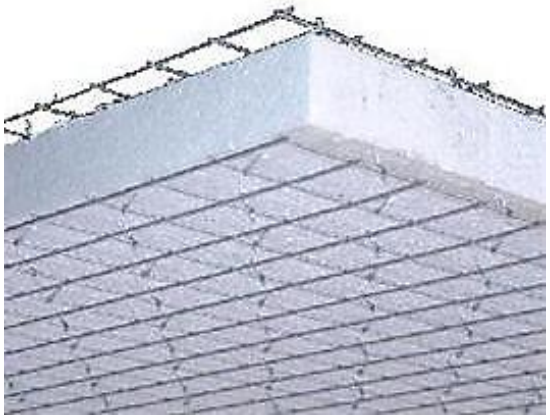
اجرای سیستم تأسیسات مکانیکی در روش پانل‌های سه بعدی به صورت رو کار ترجیح داده می‌شود. درغیر این صورت استفاده از لوله‌ی پلیمری برای تأسیسات مکانیکی و لوله‌ی پولیکا (یا لوله‌ی خرطومی) برای لوله‌کشی برق توکار توصیه می‌شود.

ث- نصب پانل‌های سقف

۱۱-۵-۷-۱۱ اگر از پانل های سقفی استفاده می‌شود، لازم است نصب پانل‌های سقف پیش از اتمام بتن پاشی دیوارها انجام شود.

۱۱-۵-۷-۱۳ در پانل‌های سقفی باید خیز منفی به مقدار نیم درصد طول دهانه در وسط دهانه تیرها رعایت شود.

۱۱-۵-۷-۱۴ فاصله حداکثر برای شمع‌ها در طول تیرچه‌های بین پانل‌های سقف ۱/۵ متر است.



شکل (۶-۱۰): پانل سقفی

شکل (۶-۱۱): پانل سقفی

ج- پاشیدن بتن (شاتکریت)

شکل (۶-۱۲): پوشاندن دو طرف پانل سه بعدی با بتن

شکل (۶-۱۳): دستگاه تمام اتوماتیک اجرای شاتکریت

چ- اجرای نماسازی روی پانل‌های سه بعدی

۶-۱۴- کاربردهای مناسب

سیستم پانل‌های سه بعدی برای ساخت انواع ساختماهای مسکونی ارزان قیمت و ویلاها استفاده می‌شود. همچنین بای اجرای ساختمان‌های صنعتی، دیوارهای محیطی و یا به عنوان پر کننده در سازه‌های فلزی یا سازه‌های بتنی، نیز استفاده می‌شوند. از لحاظ تعداد طبقات پانل‌های سه بعدی برای ساختمان‌های تا دو طبقه کاملاً مطلوب و مناسب است.

الف- خانه‌های ویلایی

ب- ساختمان‌هایی با مسحات کم

پ- اجرای قسمت‌هایی از ساختمان‌های مرتفع

۶-۱۵- مزایای سیستم پانل سه بعدی

- سهولت شکل‌دهی به پانل‌ها برای انطباق آن با طرح‌های معماری متنوع
- ضخامت کمتر دیوارهای خارجی در مقایسه با دیوارهای خارجی متداول. در صورتی که برای جوابگویی به انتظارات صرفه جویی در مصرف انرژی، ضخامت عایق حرارتی افزایش یابد، ضخامت‌ها تقریباً یکسان خواهد بود.
- ایفای نقش جداکننده و عضو سازه‌ای به صرت همزمان توسط دیوارها، در سیستم کامل با پانل‌های سه بعدی
- ایجاد اتصالات خطی در محل تلاقی پانل‌های سقفی به پانل‌های دیواری (به جای اتصالات گره‌ای) در حالت سیستم کامل و در نتیجه توزیع یکنواخت نیروهای اعمال شده در دیوارها و امکان نظارت بهتر بر حسن اجرای اتصالات.
- سهولت و سرعت نصب و آماده‌سازی پانل‌ها برای پاشیدن بتن به دلیل سبک بودن قطعات
- عدم نیاز به امکانات سنگین نصب
- کاهش میزان تلفات ناشی از فروریختن سقف یا ریزش دیوار
- درجه نامعینی بالاتر نسبت به سیستم‌های قابی و توزیع گسترده‌تر نیروها
- عدم خرابی کامل سازه در صورت تشکیل مفصل پلاستیک موضعی در بعضی از سازه
- کاهش تمرکز تنش یا امکان بلندشدن *(uplift)* نسبت به سیستم قابی
- کاهش وزن نسبت به سیستم‌های سنتی و متداول و در نتیجه کاهش اثرات مخرب زمین‌لرزه
- عملکرد سه بعدی، افزایش سختی و رفتار مناسب‌تر
- خاصیت عایق حرارتی پلی‌استایرن

- سرعت اجرایی بالا با توجه به آماده بودن پانل‌ها برای نصب و اجرا
- سهولت نصب پانل‌ها
- مقاومت در برابر آتش‌سوزی در صورت استفاده از پلی استایرن ضد حریق
- کاهش هزینه تمام شده و بازگشت سریع سرمایه نسبت به سایر روش‌ها
- کاهش سطح اشغال شده به وسیله‌ی دیوارها

۶-۱۶- محدودیت‌ها و معایب سیستم پانل سه بعدی

- عدم امکان دسترسی به تأسیسات مکانیکی و برقی در صورت اجرای توکار لوله‌ها و اجزای تأسیسات
- لزوم در نظرگرفتن تمهیدات اضافی برای جوابگویی به انتظارات در زمینه صدابندی
- وجود پل‌های حرارتی به دلیل وجود خاموت‌های برشی (بدین منظور استفاده از پلی استایرن‌های با چگالی بالا یا ضخامت بیشتر پیشنهاد می‌شود)
- عملکرد ضعیف در مناطقی که تغییرات دمای روزانه و فصلی قابل توجه است، به ویژه زمانی که ضخامت لایه‌ی بتنی خارجی کم است.

فصل هفتم:

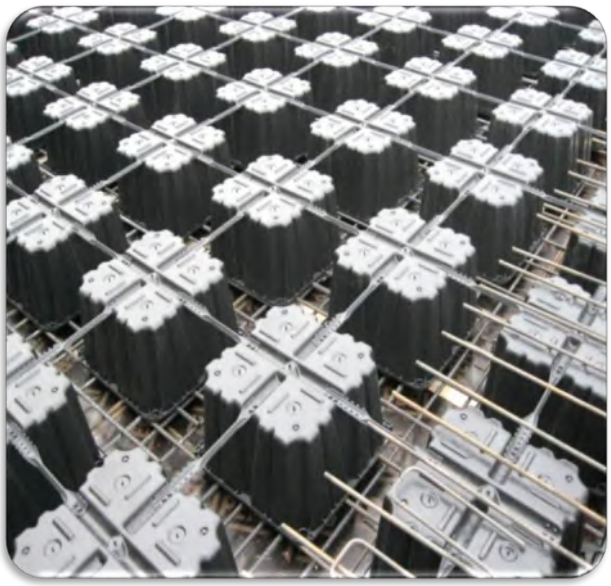
سقف دال مجوف یوبوت (دوپوش)

(U-Boot Systems)

۷-۱- معرفی سیستم

در سال ۲۰۰۲ شرکت دالی فرم (Daliform) ایتالیا با هدف بهینه‌سازی دال‌های مجوف محصول یوبوت را ارائه نمود که در زمانی اندک با استقبال گسترده جامعه مهندسی در اروپا، آفریقا و آسیا مواجه گردید. سقف‌های مجوف بتن مسلح یوبوت، از دولایه بتن مسلح تشکیل شده که در بالا و پایین دال به طور گسترده قرار می‌گیرند، حد فاصل این دو لایه با نوعی بلوک توخالی U-Boot که از جنس پلی‌پروپیلن است، پر شده و جایگزین بتن غیرسازه‌ای وسط سقف می‌شود. از این محصول در سبک‌سازی دال‌های سقف و پی‌های گسترده‌ی بتنی استفاده می‌گردد. در حقیقت، دال‌های یوبوت جزو سیستم‌های دوطرفه مشبک با قالب‌های ماندگار می‌باشند که متشکل از تیرچه های عمود بر هم بوده، و بار را به صورت دو طرفه منتقل می‌کنند.

این سازه در سال ۱۳۸۸ به تایید مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در آمد. در حقیقت، اهداف اصلی طراحی این سیستم، رسیدن به مقاومت مناسب در برابر زلزله، استفاده از دهانه‌های بلند، و همچنین کاهش مصرف آرماتور و بتن می‌باشد.



شکل (۷-۱): سیستم یوبوت

دال‌های با مقطع T شکل در ایران قدمت طولانی دارند و در بسیاری از پل‌های درون شهری و ساختمان‌های عمومی همچون دانشگاه‌ها و سالن‌های همایش و ادارات مورد استفاده قرار گرفته اند. سقف نوین یوبوت با مقطع I شکل، سیستم بهبود یافته‌ی همان دال‌های مجوف T شکل می‌باشد که نقاط ضعف آن، همچون وزن زیاد، مشکلات اجرایی و غیره را برطرف نموده و سبب افزایش سختی مقطع دال می‌گردد.

در دال‌های مجوف، تعداد تیرهای فرعی بسیار بیشتر از روش تیر و دال معمولی است، لذا این خصوصیت باعث افزایش دهانه و همچنین کاهش ضخامت دال می‌شود. به منظور افزایش چشمگیر دهانه سازه و همچنین کم شدن سختی قاب‌ها، چنانچه بخواهیم سقف یوبوت بدون آویز اجرا شود، می‌باید به میزان کافی از دیوار برشی با چینش متقارن استفاده نمود. چنانچه میزان دیوارهای برشی کافی نباشد، تیرهای داخلی سقف آویزدار خواهند بود.

۷-۲- مصالح

در ساخت دال‌های بتن‌آرمه‌ی مجوف یوبوت از مصالح زیر استفاده می‌گردد:

الف- میلگرد

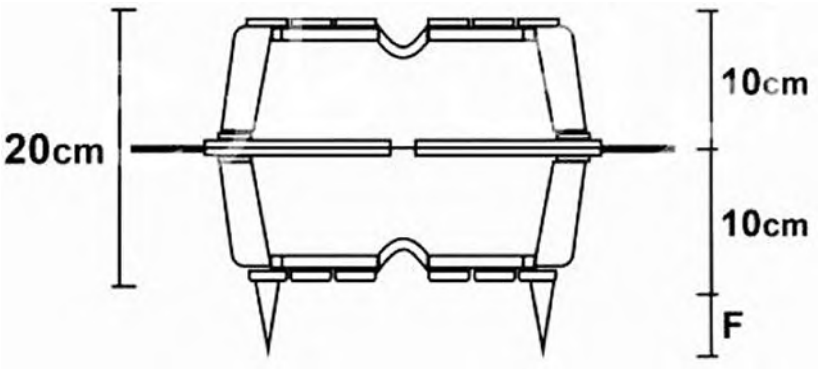
مشخصات میلگرد مورد استفاده در این دال‌ها مانند قسمت‌های دیگر سازه می‌باشد و سایز آن از طراحی سازه بدست می‌آید. معمولاً در این دال‌ها از میلگرد آجدار *A3* استفاده می‌شود.

ب- قالب‌های ماندگار یوبوت

قالب‌های هم‌شکلی هستند که از پلی پروپیلن نو و یا بازیافتی ساخته می‌شوند. این قالب‌ها پاسخی نوآورانه برای ایجاد فضای خالی داخل بتن و کاهش وزن و میزان بتن مصرفی دال می‌باشند.

Polypropylene (PP), also known as polypropene, is a thermoplastic polymer used in a wide variety of applications. Polypropylene is in many aspects similar to polyethylene. It improves mechanical properties and thermal resistance, while the chemical resistance is decreased.

این محصول دارای هندسه مکعبی، اما مجوف می‌باشد که با توجه به نیاز پروژه و محاسبات طراحی، دارای ابعاد مختلفی است.



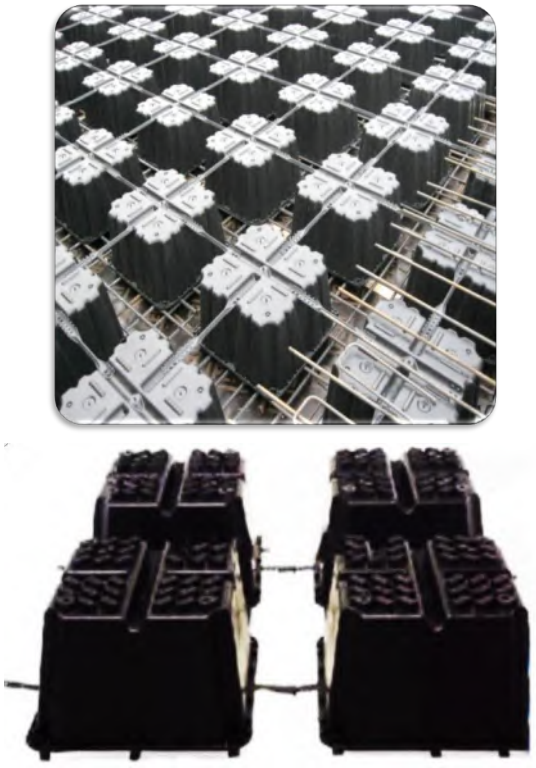
شکل (۷-۲): بلوک‌های ماندگار یوبوت

قالب ماندگار پلیمری یوبوت در ابعاد متفاوت و برای کاربردهای گوناگون تولید می‌گردد. قالب تک آن معمولاً در ابعاد ۱۶، ۲۰، ۲۴ و قالب دوبل آن در ابعاد ۳۲، ۴۰ و ۴۸ سانتیمتری تولید می‌شود. هر کدام از این قالب‌ها بر اساس بار مرده سقف و فاصله دهانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد هر کدام از این قالب‌ها برای بار زنده ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار کف‌سازی متعارف در جدول زیر ارائه شده است.

ارتفاع یوبوت	نوع	ضخامت سقف	دهانه موثر سازه
u-boot 16	تک	*31cm*	*9.5 m*
u-boot-20	تک	*35cm*	*11.5 m*
u-boot 24	تک	*39cm*	*13.5 m*
u-boot 32	دوبل	*47cm*	*15 m*
u-boot 40	دوبل	*55cm*	*17.5 m*
u-boot 48	دوبل	*63cm*	*20 m*

این قالب‌ها دارای ۴ پایه بوده که بین ۵ تا ۷ سانتی‌متر متغیر است. معمولاً پایه پیشنهادی ۷ سانتی-متر می‌باشد.

فاصله قرار گرفتن دو قالب یوبوت بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر است. فاصله پیشنهادی معمولاً ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل (۷-۳): فاصله بین قالب‌های یوبوت

پ- بتن

با توجه به مشخصات این دال‌ها، بتن مورد استفاده باید دارای روانی بیشتری نسبت به اعضای دیگر سازه باشد تا به راحتی زیر قالب‌های یوبوت حرکت کرده و سطحی صاف ایجاد نماید. این روانی بتن معمولاً توسط افزودنی‌های فوق روان‌کننده که باعث ایجاد کاهش مقاومت نمی‌شوند ایجاد می‌گردد.

شکل (۷-۴): بتن‌ریزی سقف یوبوت

۷-۳- مراحل اجرا

۷-۳- الف- بستن قالب تخت زیرین دال

تمام سطح زیرین دال توسط قالب‌هایی با پوشش چوبی پوشیده می‌گردد.

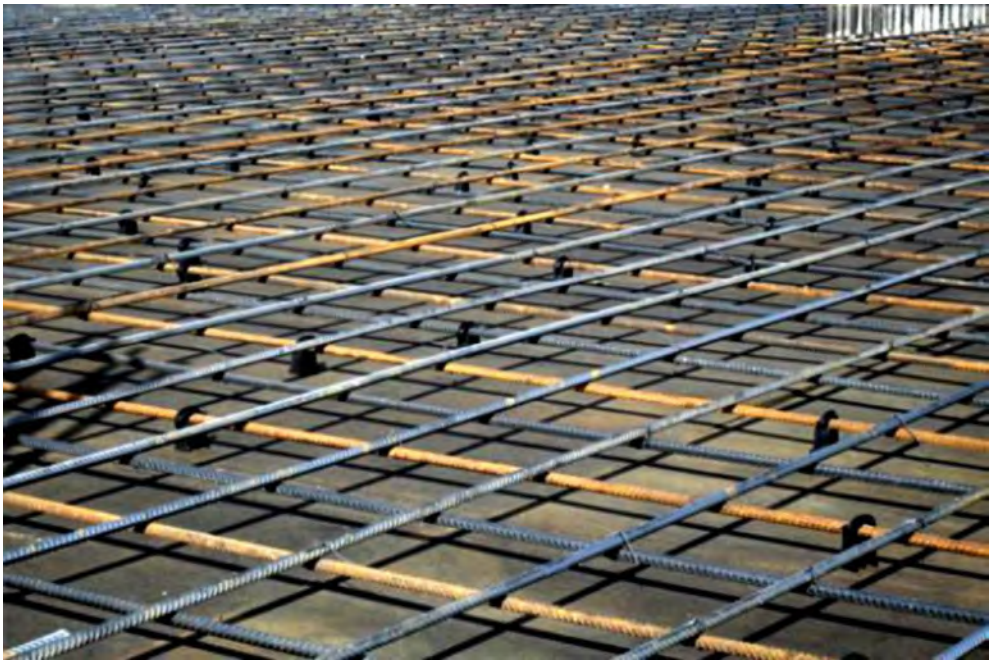
شکل (۷-۵): قالب‌بندی سطح زیرین دال

۷-۳- ب- بستن شبکه آرماتور زیرین دال

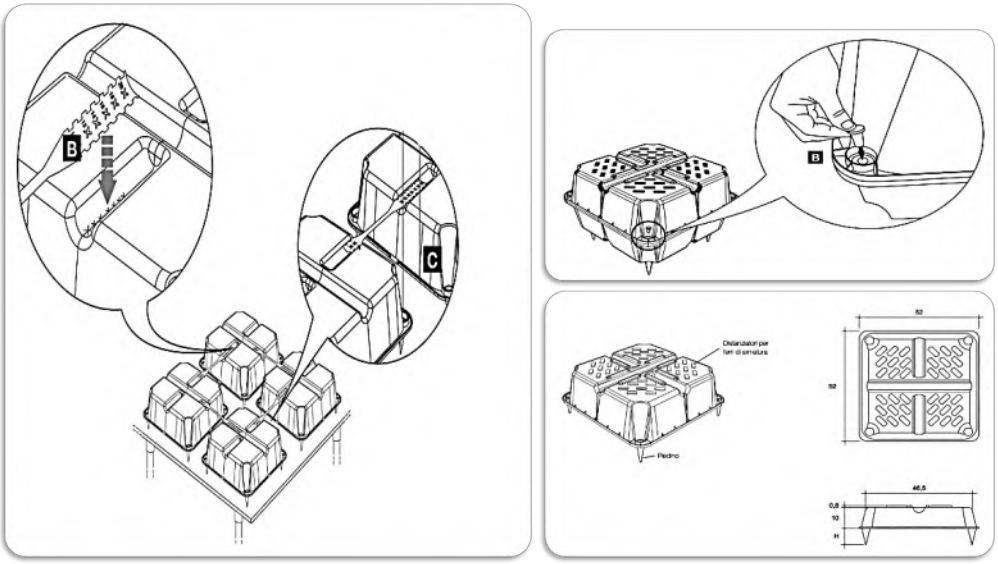
میلگردهای زیرین دال مطابق نقشه‌های اجرایی در دو جهت عمود بر هم قرار داده می‌شوند، شکل (۷-۶).

۷-۳- پ- چیدن قالب‌های یوبوت با توجه به نقشه‌های اجرایی

قالب‌های یوبوت با فواصل مشخص که توسط اتصال‌دهنده‌های افقی تأمین می‌شود در کنار یکدیگر قرار داده می‌شوند. به علت وجود پایه‌های مخروطی در زیر قطعات یوبوت، ضخامت مورد نیاز زیر یوبوت تامین می‌گردد. در صورتی که از قالب‌های یوبوت به صورت دوبل استفاده شود، این قالب‌ها باید قبل از نصب به هم متصل شوند، شکل (۷-۷).



شکل (۷-۶): آرماتورگذاری سفره تحتانی در سقف یوبوت



شکل (۷-۷): چیدن قالب‌های یوبوت

۷-۳- ت- بستن شبکه آرماتور بالای دال

با قرار دادن میلگردهای افقی بالای یوبوت در دو جهت عمود برهم به همراه میلگردهای تقویتی جهت کنترل برش و خمش، مراحل میلگردگذاری به پایان می‌رسد، شکل (۷-۸).

شکل (۷-۸): آرماتورگذاری سفره فوقانی در سقف یوبوت

۷-۳- ث- بتن‌ریزی لایه اول

ریختن بتن باید در دو مرحله انجام پذیرد و برای جلوگیری از شناور شدن یوبوت‌ها، لایه اولیه به عنوان پرکننده فضاهای خالی ضخامت سقف، به صورت عمودی تخلیه می‌شود. مرحله نخست بتن-ریزی با استفاده از فوق روان‌کننده انجام می‌شود. غلظت بتن در حدی است که تمام لایه زیرین را پر می‌نماید و در مرحله دوم پس از گیرش اولیه بتن لایه زیرین، بتن‌ریزی لایه فوقانی انجام می‌شود، شکل (۷-۹).

شکل (۷-۹): بتن‌ریزی لایه اول در سقف یوبوت

۷-۳- ج- تکمیل بتن‌ریزی

در مرحله دوم پس از گیرش اولیه بتن لایه زیرین، بتن‌ریزی لایه فوقانی انجام می‌شود، شکل (۷-۱۰).

شکل (۷-۱۰): بتن‌ریزی تکمیلی در سقف یوبوت

۷-۳- چ- باز کردن قالب‌های کف

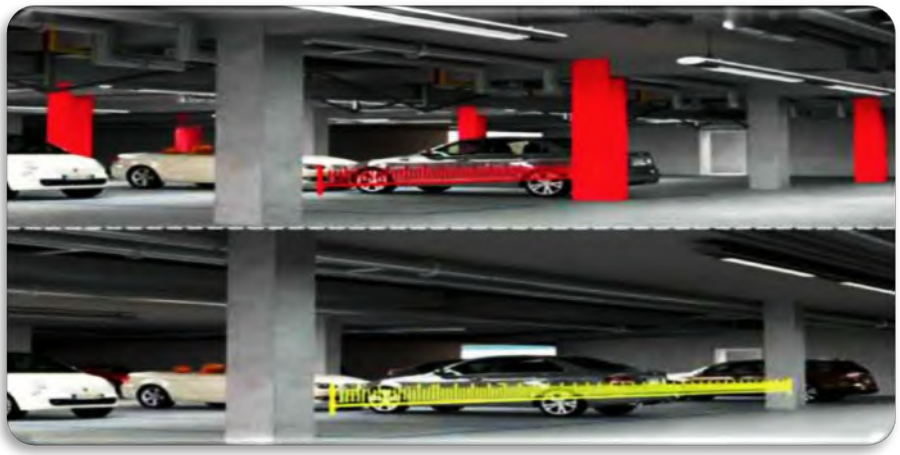
پس از طی زمان گیرش بتن (مطابق آیین نامه بتن) قالب از زیر سقف خارج و سطحی کاملا صاف و صیقلی تحویل می‌گردد، شکل (۷-۱۱).

شکل (۷-۱۱): باز کردن قالب‌های کف

۷-۴- مزایای سیستم یوبوت

❖ ایجاد دهانه‌های بزرگتر و کنسول‌های بلندتر

استفاده از این تکنولوژی باعث می‌گردد تا علاوه بر کاهش وزن سقف، سختی آن نیز افزایش یابد که این امر ایجاد دهانه‌های بزرگتر و کنسول‌های بلندتر را امکان‌پذیر می‌نماید. این افزایش دهانه باعث آزادی عمل بیشتری در طرح معماری و ایجاد فضاهای خلاقانه، فضای باز تجاری، تأمین پارکینگ بیشتر و .... می‌گردد.



شکل (۷-۱۲): دهانه‌های بزرگ در سیستم یوبوت

❖ **کاهش میزان انتقال صوت، حرارت و لرزش**

با استفاده از این تکنولوژی و به دلیل وجود حفره‌های خالی و هوایی میانی در سقف، انتقال صوت و حرارت به نحو چشم‌گیری کاهش می‌یابد. این کاهش انتقال صدا در مراکز آموزشی، مذهبی، سالن‌های اجتماعات و ... بسیار پراهمیت است. بعلاوه با توجه به افزایش سختی دال در این سیستم، لرزش این نوع سقف‌ها نسبت به دال‌های بتن‌آرمه معمولی کمتر بوده و باعث اطمینان خاطر بیشتر برای ساکنین می‌گردد.

❖ **امکان حذف تیرها و ایجاد دال تخت**

با استفاده از این تکنولوژی می‌توان تیرهای موجود در سازه را در صورت وجود دیوار برشی در سازه‌های بیشتر از ۳ طبقه و یا ۱۰ متر، حذف نمود. حذف تیرها باعث ایجاد مزایای زیر می‌گردد:

- افزایش ارتفاع مفید طبقات
- کاهش میزان عملیات قالب‌بندی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی به نسبت دال بتنی معمولی
- عبور راحت‌تر تأسیسات از زیر سقف
- امکان حذف سقف کاذب در صورت هماهنگی با تأسیسات

با بهره‌گیری از عملکرد دوطرفه سقف و توزیع متوازن نیروها بین تکیه‌گاه‌ها، آویز تیرها حذف می‌گردد.

❖ بهبود عملکرد لرزه‌ای سقف

سقف دال مجوف یوبوت به دلیل داشتن تیرچه‌های متعامد I شکل، ممان اینرسی بسیار بالایی را برای سقف نسبت به سیستم‌های دال تخت و پیش‌تنیده ایجاد می‌نماید. بر همین اساس سقف صلبیت بسیار زیادی خواهد داشت و انتقال نیرهای زلزله را به عنوان دیافراگم صلب به خوبی انجام می‌دهد.

❖ امکان ایجاد بازشوهای بزرگ و نامنظم در سقف

با توجه به حذف تیرها و افزایش سختی سقف، آزادی عمل بیشتری در ایجاد اشکال و بازشوهای بزرگ و نامنظم روی سقف وجود دارد. البته باید توجه داشت که شکل و ابعاد این بازشوها در طراحی سازه لحاظ گردد، شکل (۷-۱۳).

شکل (۷-۱۳): بازشو در سیستم یوبوت

❖ امکان ستون‌گذاری نامنظم

برخلاف سازه‌های بتنی معمولی که ستون‌گذاری معمولاً از آکس‌بندی منظم پیروی می‌کند، در این سیستم امکان ستون‌گذاری به صورت نامنظم وجود دارد که در طرح‌های معماری حائز اهمیت است.

شکل (۷-۱۴): ستون‌گذاری نامنظم

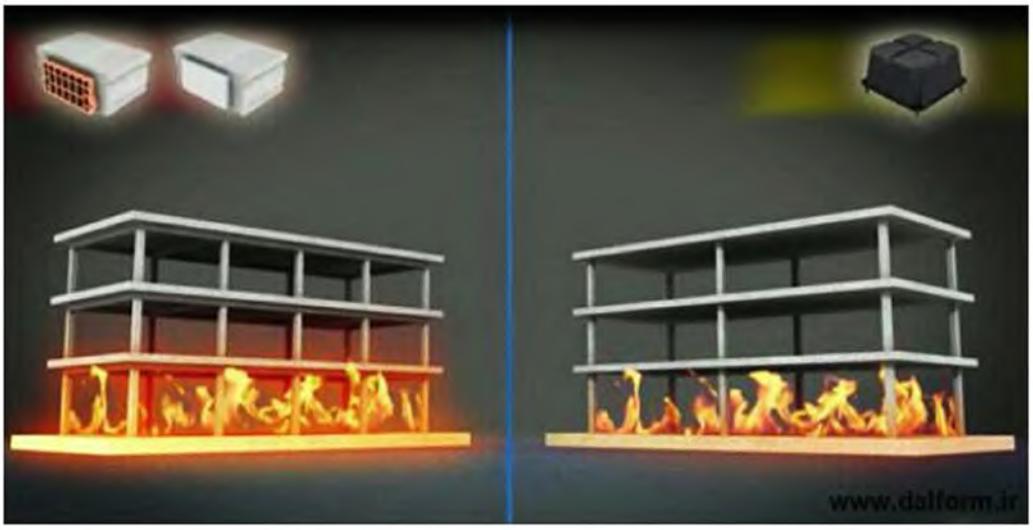
❖ افزایش تعداد پارکینگ

یکی از عمده مشکلات در طرح معماری، تأمین پارکینگ‌های مورد نیاز در هر ساختمان می‌باشد. سیستم دال مجوف یوبوت با حذف ستون‌های میانی، علاوه بر تأمین پارکینگ‌های بیشتر، امکان حرکت و گردش راحت‌تر ماشین‌ها در پارکینگ را فراهم می‌کند.

شکل (۷-۱۵): افزایش تعداد پارکینگ

❖ مقاومت در برابر آتش

سیستم دال مجوف یوبوت به دلیل ایجاد فضاهای حفره‌ای خالی در میان دال، انتقال حرارت از طبقه‌ای به طبقه دیگر را کاهش می‌دهد که این امر در آتش‌سوزی و کنترل انتقال آن در طبقات بسیار مؤثر است.



شکل (۷-۱۶): مقاومت سقف یوبوت در برابر آتش

❖ کاهش هزینه‌ها

استفاده از دال مجوف یوبوت علاوه بر کاهش میزان بتن و آرماتور مصرفی در دهانه مشابه، به دلیل رفتار دوطرفه سقف و توزیع متوازن نیروها در دو جهت طولی و عرضی ساختمان و حذف بتن ناکارآمد، هزینه‌های حین اجرا نظیر قالب‌بندی تیرها و کتیبه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. سیستم دال مجوف یوبوت با حذف تیرهای آویزدار بیرون زده از زیر سقف، علاوه بر کاهش ارتفاع کلی ساختمان و مصالح مصرفی آن، نیاز سقف کاذب را در ساختمان مرتفع می‌سازد و در اجرای تأسیسات ساختمان بسیار تأثیرگذار می‌باشد که این خود کاهش هزینه‌ای مضاعف را برای ساختمان به ارمغان می‌آورد.

۷-۵- کاربردهای مناسب

۱- مراکز درمانی
۲- مراکز تجاری
۳- مراکز اداری
۴- مراکز آموزشی
۵- مراکز فرهنگی، مذهبی
۶- مجتمع‌های صنعتی
۷- پارکینگ‌های طبقاتی

۷-۶- مقایسه سقف یوبوت با سایر سیستم‌ها

سیستم سازه ای	بتنی			
سیستم سقف	تیرچه بلوک* با دهانه ۷.۵	تیر - دال با دهانه ۱۰	پیش تنیده با دهانه ۱۲	یوبوت** با دهانه ۱۲
وزن میلگرد بر متر مربع (kg)	55	65	50	50
حجم بتن بر متر مربع (m^3)	0.35	0.4	0.6	0.45
ضخامت سقف سازه ای(cm)	30	50	40	35
هزینه نسبت به یوبوت	0.95	1.10	1.25	1.00

سیستم سازه ای	فولادی			
سیستم سقف	کرمیت* با دهانه ۷.۵	تیرچه بلوک* با دهانه ۷.۵	کامپوزیت با دهانه ۱۰	عرشه فولادی با دهانه ۱۲
وزن اسکلت(kg)	70	70	70	70
وزن سقف(kg)	15	15	20	25
حجم بتن بر متر مربع (m^3)	0.15	0.15	0.15	0.15
ضخامت سقف سازه ای(cm)	30	30	40	50
هزینه نسبت به یوبوت	1.07	1.19	1.27	1.34

	یوبوت	پیش تنیده
امکان پوشش دهانه بلند	دارد	دارد
مقاومت در برابر انتقال صوت	زیاد	متوسط
نیاز به اجرای سقف کاذب	ندارد	دارد
سرعت اجرا	دارد	ندارد
تیرهای آویزدار و کتیبه های بیرون زده	دارد	ندارد
مقاومت در برابر آتش	دارد	ندارد
هزینه اجرا	متوسط	زیاد
ارتعاش و خیز سقف	ندارد	دارد
وزن اسکلت	متوسط	زیاد
نیاز به تجهیزات و اکیپ خاص جهت اجرا	ندارد	دارد

	یوبوت	تیرچه بلوک
امکان پوشش دهانه بلند تا ۲۰ متر	دارد	ندارد
مقاومت در برابر انتقال صوت	زیاد	متوسط
نیاز به اجرای سقف کاذب	ندارد	دارد
سرعت اجرا	دارد	دارد
سهولت اجرا	دارد	دارد
مقاومت در برابر آتش	دارد	ندارد
هزینه اجرا دهانه کمتر از ۸ متر	متوسط	کم
هزینه اجرا دهانه بیشتر از ۸ متر	متوسط	زیاد
ارتعاش سقف	ندارد	کم
تیرهای آویزدار	ندارد	دارد
صلبیت سقف	زیاد	کم
ضخامت سقف	کم	زیاد

	یوبوت	دال و تیر
امکان پوشش دهانه بلند	دارد	دارد
مقاومت در برابر انتقال صوت	زیاد	متوسط
نیاز به اجرای سقف کاذب	ندارد	دارد
سرعت اجرا	متوسط	کم
سهولت اجرا	متوسط	کم
تیزهای آویزدار	ندارد	دارد
هزینه اجرا	متوسط	متوسط
ارتعاش وخیز سقف	ندارد	ندارد

	یوبوت	تیرچه کرمیت
امکان پوشش دهانه بلند تا ۲۰ متر	دارد	ندارد
مقاومت در برابر انتقال صوت	زیاد	متوسط
نیاز به اجرای سقف کاذب	ندارد	دارد
سرعت و سهولت اجرا	متوسط	زیاد
مقاومت در برابر آتش	دارد	ندارد
هزینه اجرا	کم	زیاد
ارتعاش سقف	ندارد	دارد
تیرهای آویزدار	ندارد	دارد
ضخامت سقف	کم	متوسط

	یوبوت	عرشه فولادی
امکان پوشش دهانه بلند	دارد	دارد
مقاومت در برابر انتقال صوت	زیاد	کم
نیاز به اجرای سقف کاذب	ندارد	دارد
سرعت و سهولت اجرا	متوسط	زیاد
مقاومت در برابر آتش	دارد	ندارد
هزینه اجرا دهانه کمتر از ۸ متر	کم	زیاد
هزینه اجرا دهانه بیشتر از ۸ متر	کم	بسیار زیاد
ارتعاش سقف	ندارد	دارد
صلبیت سقف	زیاد	کم
ضخامت سقف	کم	زیاد

۷-۷- ساختمان‌های احداث شده با سیستم سقف یوبوت

الف- ساختمان مسکونی یزدی نژاد

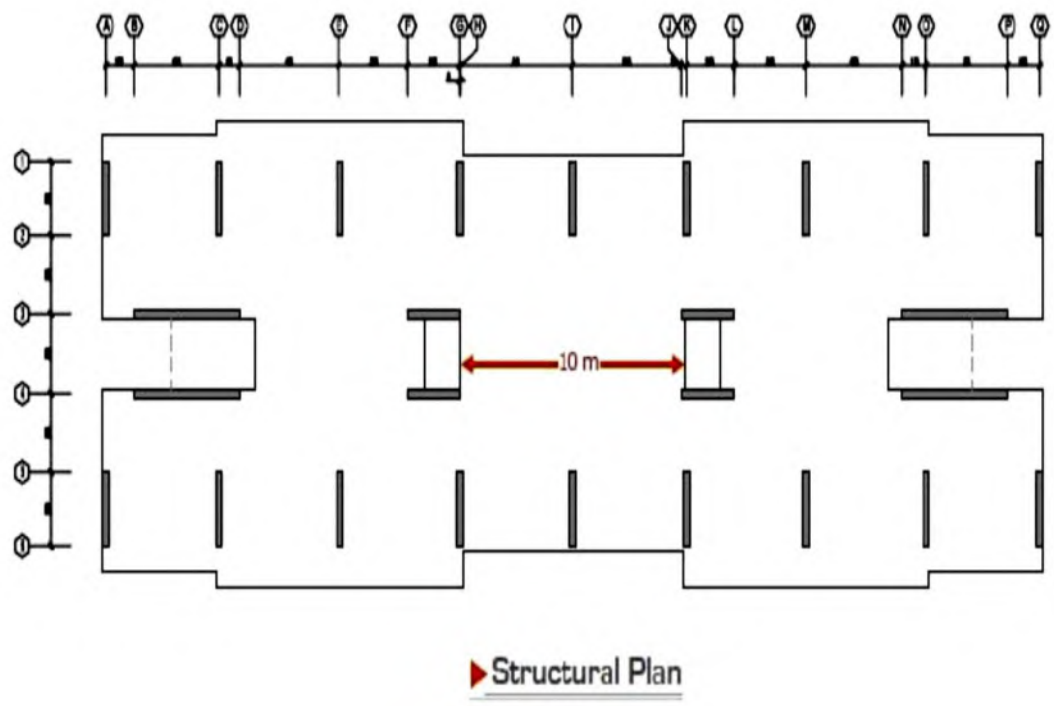
این ساختمان با معماری منحصر بفرد خود توسط شرکت آلتون سازه طراحی شده و در دل طبیعت زیبای گیلاوند قرار دارد. برای پوشش دهانه بزرگ آن به عرض ۱۰ متر و کنسول بلند ۳/۵ متری، از تکنولوژی دال مجوف دوپوش استفاده شده است. یکی دیگر از دلالیل استفاده از این تکنولوژی ایجاد شکل منحنی لبه دال و بازشو بزرگ با شکل نامنظم می باشد. دال تخت ایجاد شده در این سیستم باعث ایجاد آزادی عمل بیشتر برای معمار در طراحی دکوراسیون داخلی و نورپردازی شده است. ضخامت تمام شده دال در این پروژه ۳۵ سانتی متر بوده و در آن از قالب ماندگار یوبوت با ارتفاع ۲۴ سانتی متر استفاده شده است.

شکل (۷-۱۷): ساختمان یزدی نژاد در حال ساخت

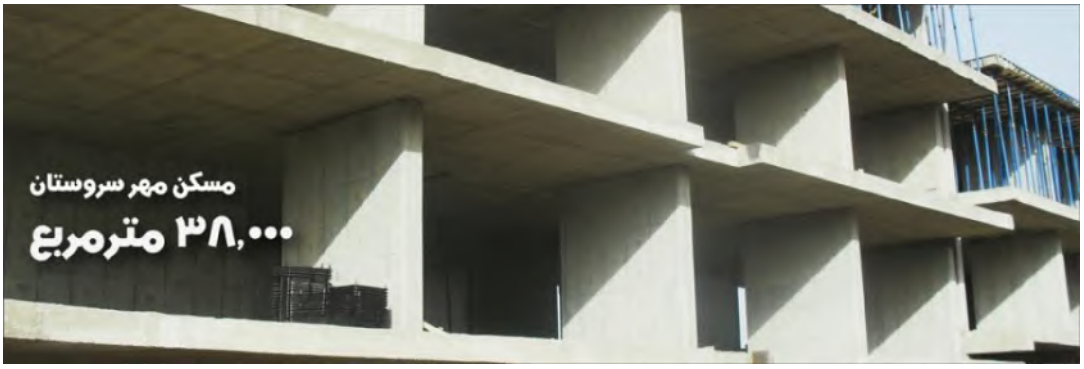
شکل (۷-۱۸): نشیمن ساختمان یزدی نژاد

ب- مسکن مهر سروستان

این پروژه با انگیزه افزایش کیفیت ساخت و کاهش هزینه‌های اجرایی با مساحتی حدود ۳۸۰۰۰ مترمربع در ۱۳ بلوکِ ۶ طبقه ساخته شده است. ایجاد دال تخت در این پروژه با بهره‌گیری از تکنولوژی دال مجوف دوپوش، باعث کاهش هزینه‌های نازک‌کاری و حذف قسمت اعظمی از سقف-های کاذب شده است. در این پروژه از دیوارهای باربر بتنی به جای ستون استفاده شده و طراحان سازه جهت پوشش دهانه‌های بزرگ میانی به طول ۱۰ متر از دال مجوف دوپوش به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر استفاده نموده‌اند.



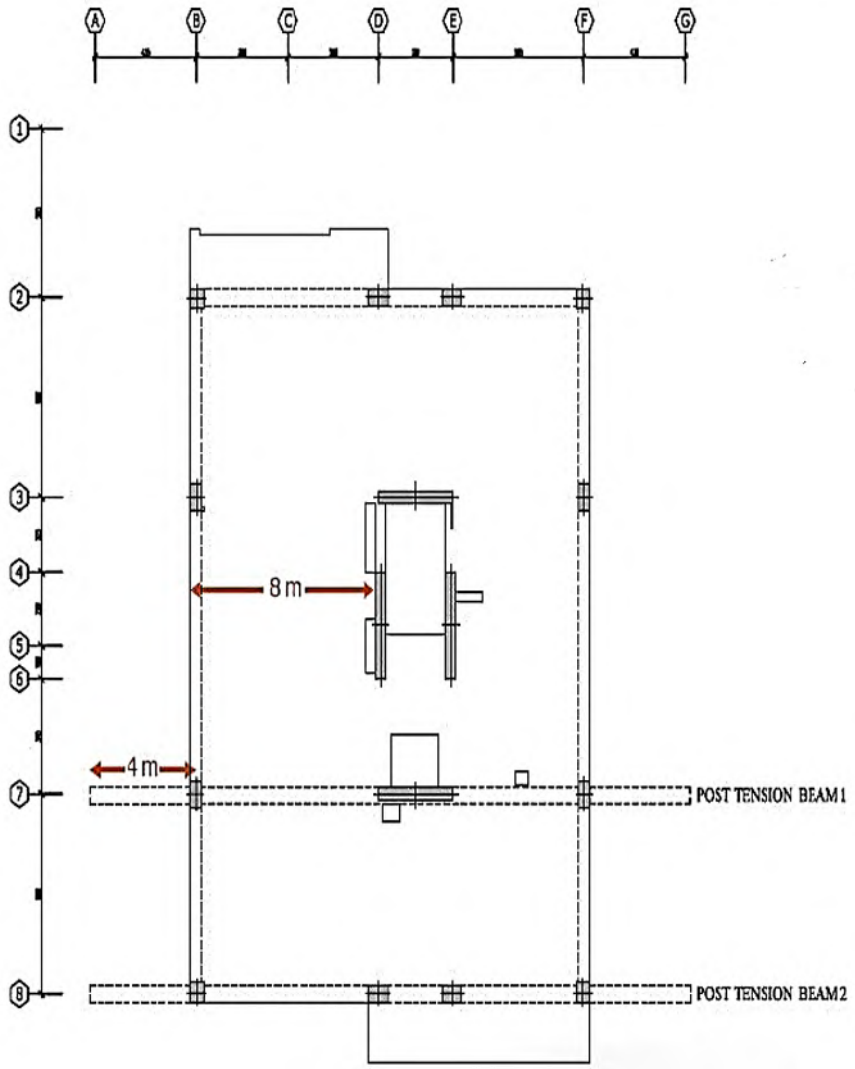
شکل (۷-۱۹): پلان سازه‌ای مسکن مهر سروستان



شکل (۷-۲۰): مسکن مهر سروستان در حال احداث

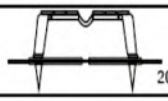
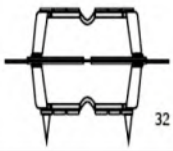
پ- ساختمان مسکونی نمایندگان مجلس شورای اسلامی

این پروژه با مساحتی حدود ۵۴۰۰۰ متر مربع در ۱۸ بلوک ۸ طبقه در ضلع جنوبی مجلس شورای اسلامی و برای اسکان نمایندگان این مجلس طراحی شده است. با توجه به اهمیت این ساختمان ها، برای بالا بردن کیفیت ساخت و همچنین پوشش دهانه بزرگ میانی به عرض ۸ متر از دال مجوف دوپوش استفاده شده است. در این پروژه جهت اجرای کنسول های بلند ۵/۴ متری از ترکیب تکنولوژی دال مجوف دوپوش و پیش تنیدگی با همکاری شرکت سازه های پیش تنیده آرمه بن استفاده شده است. ضخامت تمام شده سقف ها در این پروژه ۳۰ سانتی متر می باشد.



شکل (۷-۲۱): پلان ساختمان نمایندگان مجلس

شکل (۷-۲۲): ساختمان نمایندگان مجلس در حال احداث

پروژه	موقعیت	تعداد طبقات	متراژ	بزرگترین دهانه	کاربری	ارتفاع یوبوت
مجتمع مسکونی نمایندگان مجلس شورای اسلامی *	تهران	۸ طبقه	۵۴،۰۰۰ متر	۸ متر	مسکونی	16 Single
مسکن مهر سروستان	شهرضا	۶ طبقه	۳۸،۰۰۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
مجتمع تجاری و پارکینگ ایستگاه مترو صدر	تهران	۶ طبقه	۲۶،۰۰۰ متر	۹ متر	تجاری	
مسکن مهرگیان	نهاوند	۳ طبقه	۲۵،۰۰۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
مجتمع مسکونی محمودیه	تهران	۱۲ طبقه	۷،۵۰۰ متر	۱۱ متر	مسکونی	
مجتمع مسکونی سعادت پژوه	تهران	۱۲ طبقه	۶،۰۰۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
پارکینگ دارایی	مشهد	۳ طبقه	۳،۱۲۵ متر	۸ متر	پارکینگ	
مجتمع مسکونی برومند	گنبد کاووس	۶ طبقه	۱،۵۰۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
مجتمع مسکونی فیروزفرد	کیش	۳ طبقه	۷۵۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
مجتمع مسکونی بینایی	یاسوج	۳ طبقه	۶۰۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
مجتمع مسکونی جورابیان	اهواز	۶ طبقه	۳،۳۰۰ متر	۹ متر	مسکونی	
مجتمع مسکونی کاظمی	گنبدکاووس	۶ طبقه	۲،۰۰۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
مجتمع مسکونی کوثر ۲	ورامین	۶ طبقه	۳۶،۰۰۰ متر	۹ متر	مسکونی	 20 Single
مجتمع مسکونی شیرازی	تهران	۶ طبقه	۱،۶۵۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	
مسجد نگین شهر	گنبدکاووس	۲ طبقه	۱،۲۰۰ متر	۱۴ متر	مذهبی	 32 Double
امامزاده فریزی	مشهد	۱ طبقه	۱،۰۰۰ متر	۱۲ متر	مذهبی	
ساختمان تاسیساتی دانشکده پیراپزشکی *	گرگان	۱ طبقه	۶۰۰ متر	۱۲ متر	آموزشی	
مدرسه ستوده	تهران	۱ طبقه	۲۰۰ متر	۱۲ متر	آموزشی	
مجتمع مسکونی یزدی نژاد	دماوند	۳ طبقه	۶۵۰ متر	۱۰ متر	مسکونی	24 Single
مجتمع ورزشی منوچهری	دماوند	۱ طبقه	۲۰۰ متر	۱۱ متر	ورزشی	
* ترکیب با تکنولوژی پیش تنیدگی						

فصل هشتم: سقف کوبیاکس

(Cobiax)

۸-۱- معرفی سیستم

مطالعات در زمینه سبک‌سازی و حذف بتن ناکارآمد از سال ۱۹۸۵ در دانشگاه‌های آلمان، و مجموعه شرکت‌های گروه فناوری‌های کوبیاکس در سال ۱۹۹۷ با همراهی مهندسین و متخصصینی از سوئیس و دیگر کشورهای اتحادیه اروپا پایه‌ریزی و تأسیس شده است. این دانش از سال ۱۳۸۷ به صورت انحصاری در ایران و تعدادی از کشورهای منطقه در اختیار کوبیاکس ایران است.

این نوع سقف از لحاظ سازه‌ای شبیه به دال دو طرفه است که البته تفاوت‌هایی با آن دارد. بدین ترتیب که در ضخامت دال گوی‌های توخالی سبکی را به صورت منظم قرار می‌دهند تا در واقع از پر شدن آن قسمت‌ها توسط بتن جلوگیری شود. کاری که این گوی‌های سبک توخالی انجام می-دهند شبیه به کاری است که بلوک‌های پرکننده (فوم پلی استایرن) در سقف تیرچه بلوک انجام می‌دهند. یعنی از پر شدن بتن در فضایی که بتن نیازی نیست جلوگیری می‌کنند.

شکل ظاهری این گوی‌ها شبیه به یک توپ فوتبال کم باد است که با دست از بالا و پایین آن را فشار داده باشند. این گوی‌ها در فضای بین شبکه آرماتور بالا و پایین قرار می‌گیرند. برای اینکه گوی‌ها با یک نظم و ترتیب مشخص و به صورت ردیفی در کنار یکدیگر قرار گیرند، آنها را در یک قفس فلزی که بصورت خرپایی ساخته می‌شوند، قرار می‌دهند، سپس بین شبکه آرماتور بالا و پایین جای می‌دهند.

شکل (۸-۱): سقف کوبیاکس

۸-۲- نحوه‌ی عملکرد سقف کوبیاکس

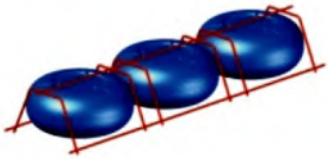
اساس طراحی تکنولوژی *Cobiax* مبتنی بر سقف‌های سازه‌ای با عملکرد " دال دو طرفه" است با این تفاوت که هسته بتن مرکزی در محل‌هایی که کاربرد سازه‌ای ندارد با گوی‌های توخالی جایگزین می‌گردد. جنس این گوی‌ها پلی اتیلن بازیافتی یا پلی پروپیلن می‌باشد، بدین صورت که این گوی‌ها در حد فاصل مش‌های میلگردی بالا و پایین قرار می‌گیرند. در فناوری *Cobiax* با حذف بار مرده غیرسازه‌ای خاصیت باربری دو محوره همچنان حفظ می‌گردد. همچنین با شکل‌گیری غشای بتنی مستحکم در قسمت فوقانی و تحتانی دال به همراه شکل‌گیری شبکه تیرچه‌های داخلی در دو امتداد عمود بر هم، در اثر قرارگیری گوی‌ها در سرتاسر فضای میانی دال بتنی می‌توان باربری مناسبی را برای این دال متصور شد.

۸-۳- اجزای تشکیل دهنده‌ی سیستم کوبیاکس

- مدول قفسه‌ای (متشکل از گوی‌های پلاستیکی به همراه خرپای فولادی)
- دال بتن‌آرمه

در سیستم *Cobiax* اعضای دال سقف شامل: بتن، آرماتور، توپ‌های توخالی پلاستیکی، و قفسه مسلح می‌باشد. توپ‌های توخالی در هسته مرکزی قفسه مسلح قرار گرفته و یک قفسه مدولار مسلح ایجاد می‌کند. این قفسه مسلح مابین دو لایه آرماتور زیرین و رویین دال قرار گرفته و با حذف بتن غیرباربر از درون دال موجب سبک‌سازی آن می‌شود. در این سازه، سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی شامل ترکیب دال و ستون (و دیوار برشی بتنی) می‌باشد.

۸-۴- مشخصات قفسه کوبیاکس



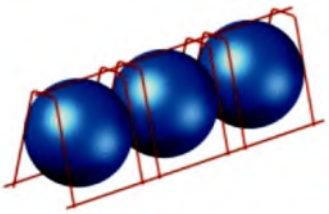
CBCM-S "SLIM-LINE"

Void former made from recycled Polyethylene
h=100, 140, 160 and 180 mm

Positioning cage mage from reinfocement steel, l=25o cm

For Slab Thickness
Between 20 and 30 cm

Incurred Load Reduction
1.3 to 2.5 KN/m²



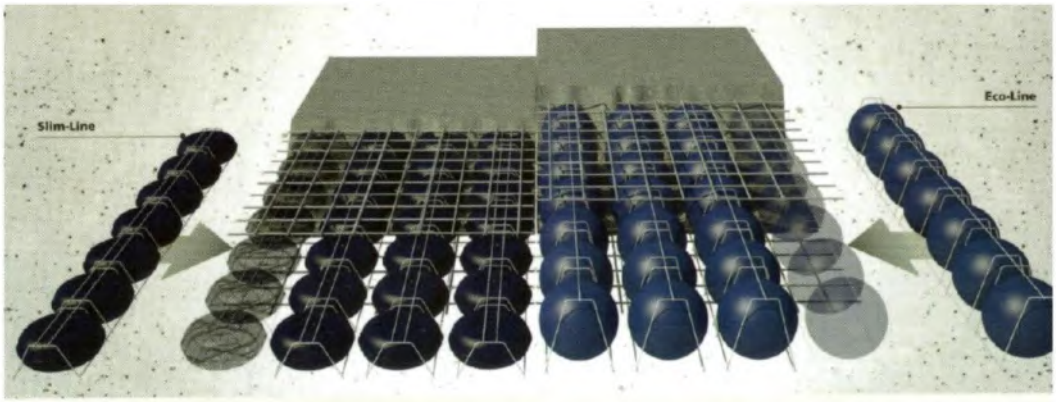
CBCM-E "ECO-LINE"

Void former made from recycled Polyethylene
h=225, 270, 315, 360, 405 and 450 mm

Positioning cage mage from reinfocement steel, l=25o cm

For Slab Thickness
Between 35 and 60+ cm

Incurred Load Reduction
2.4 to 4.8 KN/m²



گوی تخت	گوی کروی
قالبهای ماندگار از جنس پلی اتیلن بازیافتی h = ۱۰۰ ،۱۴۰ ،۱۸۰ ،۲۰۰ ،۲۲۰ mm جنس سبدهای نگهدارنده از فولاد A۲ ، ℓ = ۲۴۵ cm	قالبهای ماندگار از جنس پلی اتیلن بازیافتی h = ۱۸۰، ۲۲۵، ۳۱۵، ۳۶۰، ۴۰۵، ۴۵۰ mm جنس سبدهای نگهدارنده از فولاد A۲ ، ℓ = ۲۵۰cm
بازه ضخامت دال	بازه ضخامت دال
بین ۲۰ و ۳۵ سانتی متر	بین ۳۰ و ۶۰+ سانتی متر
میزان کاهش بار مرده	میزان کاهش بار مرده
۱/۴-۲/۸ KN/m²	۲/۳-۴/۸ KN/m²

۸-۵- قابلیت‌های دیگر کوبیاکس

کوبیاکس قابلیت انطباق با هر گونه معماری را داراست. نحوه چیدمان گوی‌های توخالی، اندازه و شکل دال بتنی بر اساس مقتضیات پروژه تعیین می‌گردد. کوبیاکس را می‌توان همراه با تکنیک‌های ساختمانی از قبیل پس کشیدگی و یا سازه‌های مرکب در دهانه بلندتر از ۱۸ متر مورد استفاده قرار داد. اجرای تأسیسات برقی و مکانیکی مشابه روش‌هاس سنتی است.

شکل (۸-۲): نحوه‌ی اجرای تأسیسات مکانیکی و برقی

۸-۶- برآورد ملزومات سقف کوبیاکس

دهانه(m)	کاربری	ضخامت تقریبی(cm)	وزن(kg/m^2)	مصرف مصالح	تعداد طبقات ۵	۷	۹	۱۱
۵	مسکونی	۲۰	۳۹۰	بتن	۰،۴۱	۰،۴۱	۰،۴۲	۰،۴۲
				میلگرد	۴۱	۴۵	۴۶	۴۷
	تجاری	۲۰	۳۹۰	بتن	۰،۴۱	۰،۴۱	۰،۴۲	۰،۴۲
				میلگرد	۴۵	۵۰	۵۱	۵۲
۷	مسکونی	۲۵	۴۸۰	بتن	۰،۴۵	۰،۴۵	۰،۴۶	۰،۴۶
				میلگرد	۴۳	۴۷	۴۸	۴۹
	تجاری	۲۵	۴۸۰	بتن	۰،۴۵	۰،۴۵	۰،۴۶	۰،۴۶
				میلگرد	۴۷	۵۱	۵۲	۵۳
۹	مسکونی	۳۰	۵۷۵	بتن	۰،۴۹	۰،۴۹	۰،۵	۰،۵
				میلگرد	۴۶	۴۸	۵۰	۵۱
	تجاری	۳۰	۵۷۵	بتن	۰،۴۹	۰،۴۹	۰،۵	۰،۵
				میلگرد	۴۹	۵۱	۵۳	۵۴
۱۱	مسکونی	۳۵	۶۶۰	بتن	۰،۵۳	۰،۵۳	۰،۵۴	۰،۵۴
				میلگرد	۴۹	۵۱	۵۲	۵۳
	تجاری	۳۵	۶۶۰	بتن	۰،۵۳	۰،۵۳	۰،۵۴	۰،۵۴
				میلگرد	۵۶	۵۸	۵۹	۶۰

-برآورد فوق بر اساس شرایط خاک نرمال تهیه گردیده و لذا بسته به شرایط خاک پروژه ممکن است مشخصات فونداسیون و به تبع آن مقادیر کلی مصرفی مصالح تغییر یابد.

-با عنایت به آنکه بر اساس استانداردهای مقررات ملی ساختمان ایران می بایست دیوار برشی جهت کنترل نیروی زلزله در ساختمان های گروه دال تخت تعبیه گردد، لذا مقادیر مصالح فوق با فرض کفایت دیوار برشی و جانمائی مناسب آن در هر دو جهت طولی و عرضی ساختمان برآورد گردیده است.

-جدول فوق با فرض ساختمان های روی سطح زمین تهیه گردیده و چنانچه در ساختمانی بدلیل حضور طبقات منفی نیاز به دیوار حایل بتنی باشد، هزینه آن می بایست جداگانه محاسبه گردد.

-میزان میلگرد مصرفی بر مبنای کیلوگرم بر متر مربع زیربنا و بتن مصرفی متر مکعب بر متر مربع زیربنا می باشد.

۸-۷- روش اجرای سقف کوبیاکس

الف- قالب‌بندی

ب- اجرای مش‌بندی تحتانی

پ- قرارگیری توپ‌ها بر روی مش‌بندی تحتانی

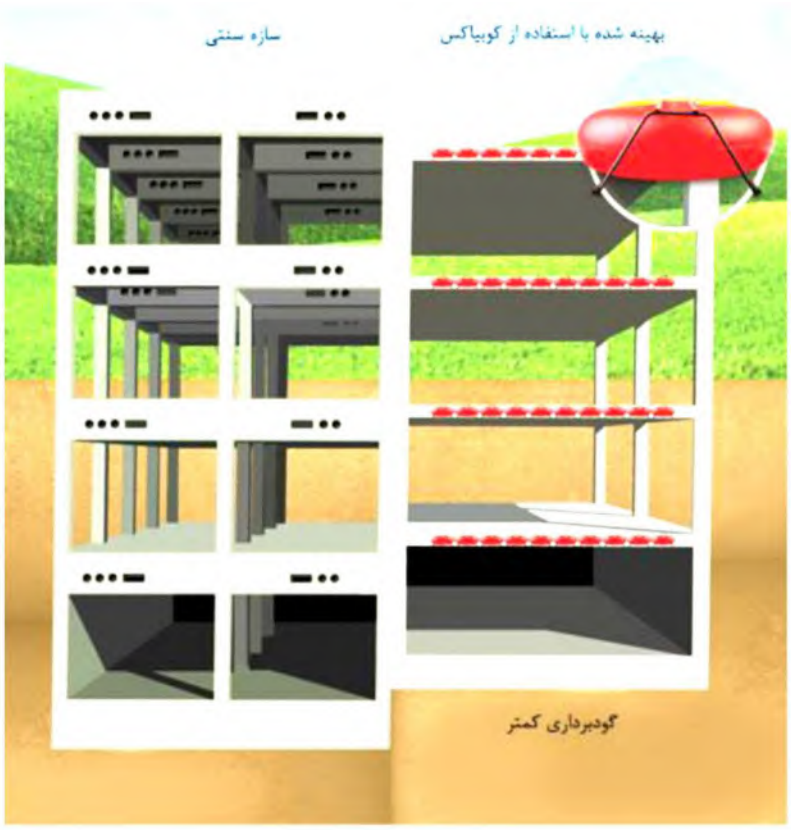
ت- اجرای مش‌بندی فوقانی

ث- بتن‌ریزی و ویبره

ث- باز کردن قالب

۸-۸- مزایای فنی سقف کوبیاکس

- قابلیت باربری دو طرفه
- بهینه‌سازی المان‌های عمودی مانند ستون‌ها و دیوارهای برشی (ستون‌هایی با سطح مقطع کوچکتر، کاهش حدود ۴۰ درصدی حجمی و عددی ستون‌ها)
- بهینه‌سازی دال و فونداسیون (کاهش بارهای وارد بر پی، دال‌های تا ۳۰ درصد سبکتر)
- کاهش ارتفاع کلی سازه (بهینه سازی ارتفاع سقف)
- کنترل بهتر خیز
- حذف تمام تیرهای اصلی



۸-۹- مزایای معماری سقف کوبیاکس

- انعطاف‌پذیری در پلان معماری (کاهش عددی ستون‌ها)
- قابلیت پذیرش کاربری‌های گوناگون
- امکان اجرای کنسول تا ۷ متر
- امکان ایجاد بازشو در هر شکل و اندازه در سقف
- افزایش فضای مفید (قابلیت اجرای دهانه تا ۱۸ متر بدون اجرای ستون)

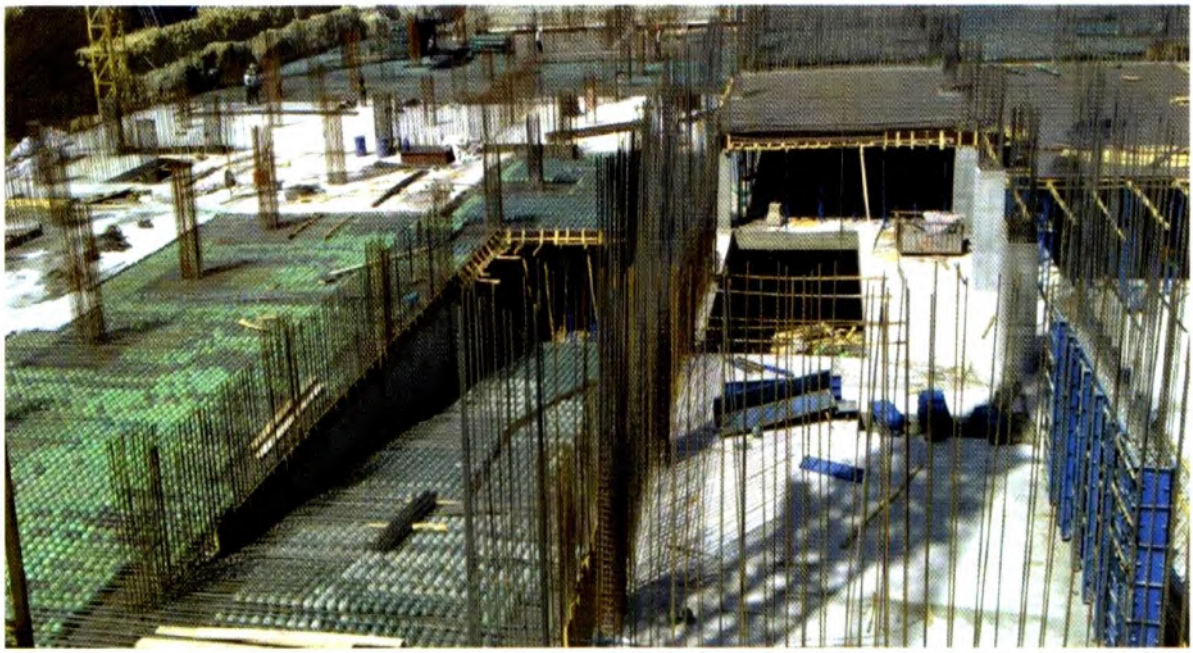
۸-۱۰- مزایای اقتصادی سقف کوبیاکس

- کاهش مصرف بتن
- کاهش المان‌های سازه‌ای
- کاهش مصرف آرماتور
- کاهش زمان ساخت
- کاهش هزینه‌های اجرای تأسیسات (حذف تیرها و مشکلات ناشی از آویز تیرها)

۸-۱۱- محدودیت‌های سقف کوبیاکس

- لزوم در نظرگرفتن تمهیدات اضافی برای جوابگویی به انتظارات در زمینه صدابندی
- نداشتن قابلیت بازیافت مصالح مصرفی
- نیاز به کارگران آموزش دیده

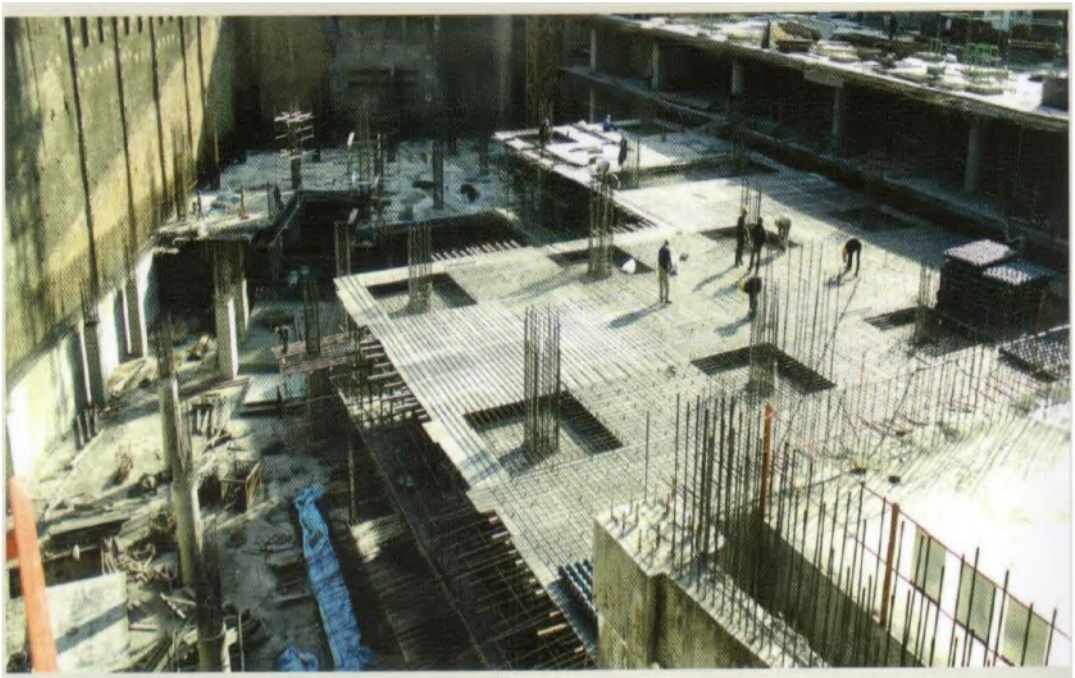
۸-۱۲- چند نمونه پروژه اجرا شده با استفاده از سقف کوبیاکس



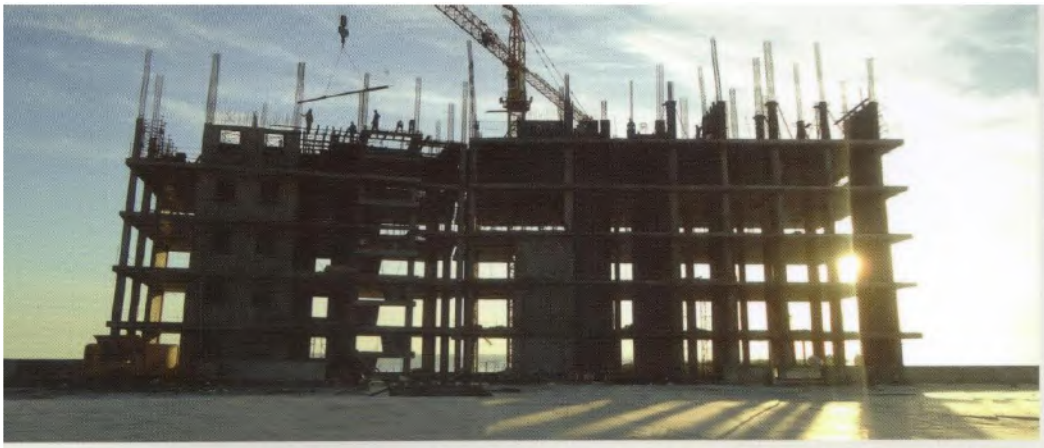
مرکز تجارت جهانی فرش محل پروژه: تبریز بلندترین دهانه: ۱۱ متر ضخامت دال: ۳۰ و ۳٤ سانتی متر زیربنا: ۸٤۰۰۰ متر مربع

پارکینگ طبقاتی کارستان محل پروژه: تهران بلندترین دهانه: ۱۱/۵ متر ضخامت دال: ۳۲ سانتی متر زیربنا: ٤۲۵۰۰ متر مربع

مجتمع تجاری تفریحی تهران مال **محل پروژه:** تهران، منطقه ۲۲ **بلندترین دهانه:** ۱۶ متر **ضخامت دال:** ۳۵- ۴۰- ۶۰ سانتی متر **زیربنا:** ۱۴۰۰۰۰ متر مربع



مجتمع تجاری شهریاران **محل پروژه:** شهریار **بلندترین دهانه:** ۸ متر **ضخامت دال:** ۳۰ سانتی متر **زیربنا:** ۴۲۵۰۰ متر مربع



هتل و آپارتمان سیتی سنتر قشم **محل پروژه:** جزیره قشم **بلندترین دهانه:** ۷/۵ متر **ضخامت دال:** ۲۷ سانتی متر **زیربنا:** ۱۰۰۰۰۰ متر مربع

مجتمع تجاری سالاریه **محل پروژه:** شهر قم **بلندترین دهانه:** ۱۱ متر **ضخامت دال:** ۴۰ سانتی متر **زیربنا:** ۴۵۰۰۰ متر مربع

تعاونی مسکن بیمارستان رجایی

محل پروژه: استان قزوین
بلندترین دهانه: ۹ متر
ضخامت دال: ۳۲ سانتی متر
زیربنا: ۸۰۰۰ متر مربع

هتل پنج ستاره پالاس

محل پروژه: جزیره کیش
بلندترین دهانه: ۹/۹۰ متر
ضخامت دال: ۲۳ سانتی متر
زیربنا: ۲۵۰۰۰ متر مربع

پروژه مسکونی دیباجی

محل پروژه: تهران، خیابان دیباجی
بلندترین دهانه: ۱۰ متر
ضخامت دال: ۳۰ سانتی متر
زیربنا: ۸۷۵۰ متر مربع

پروژه مسکونی اقدسیه

محل پروژه: تهران، خیابان اقدسیه
بلندترین دهانه: ۱۱ متر
ضخامت دال: ۳۵ سانتی متر
زیربنا: ۸۲۰۰ متر مربع

فصل نهم:

روش‌های بهسازی و مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌ها

۹-۱- مقدمه

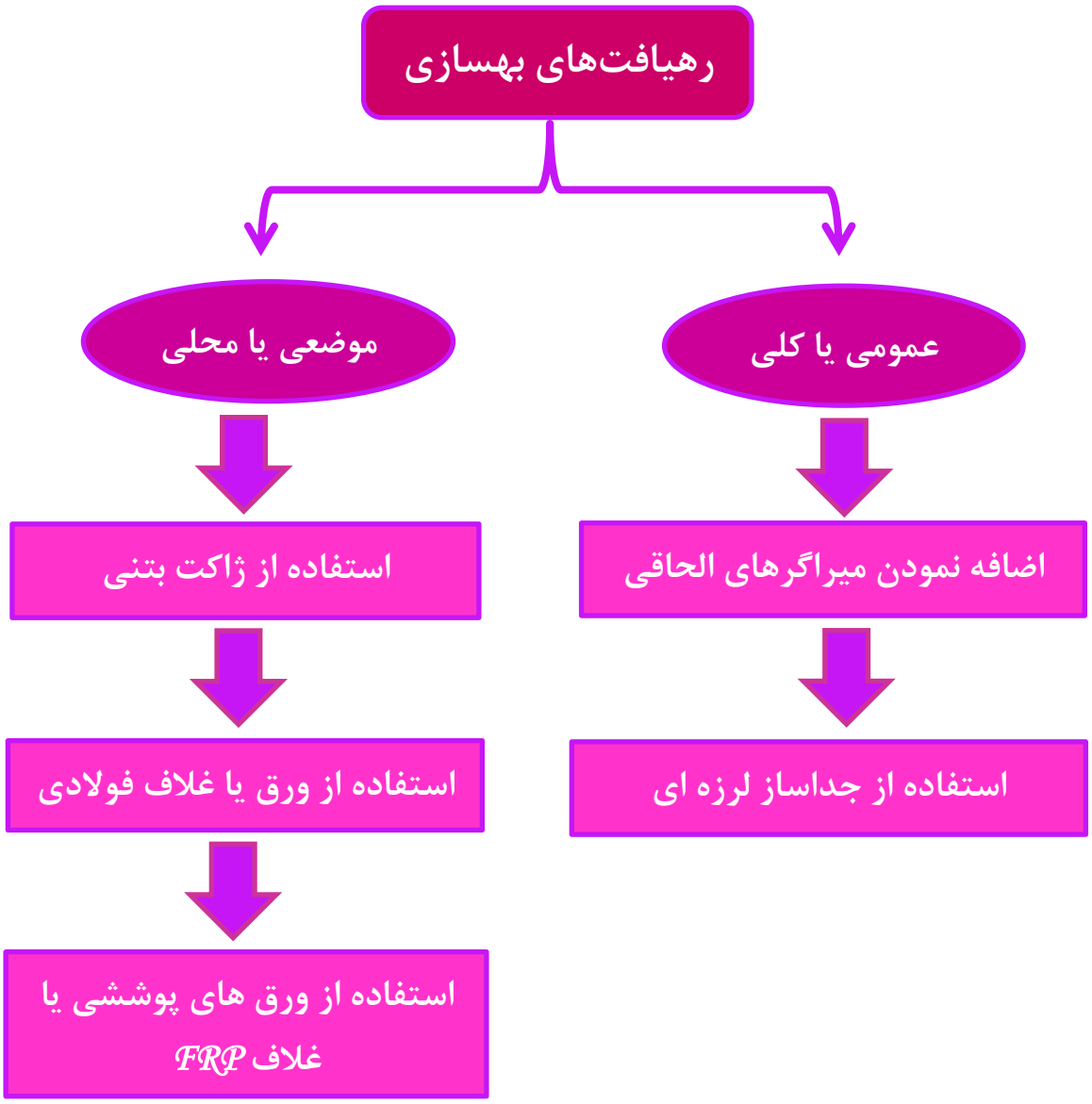
ایران از نظر لرزه‌خیزی در منطقه‌ی فعال جهان قرار دارد. در سال‌های اخیر به طور متوسط هر پنج سال یک بار یک زمین‌لرزه با خسارات مالی و جانی زیاد، در نقطه‌ای از کشور رخ داده است، گرچه جلوگیری از خسارات ناشی از زلزله‌های شدید بسیار دشوار است اما با آموزش همگانی و ترویج ایمنی، شناسایی و بررسی وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و ایمن‌سازی و مقاوم‌سازی صحیح و اصولی آن، می‌توان تا حد مطلوب تلفات و خسارات ناشی از زلزله‌های آتی را کاهش داد. از این رو یکی از برنامه‌های در حال اجرا، مطالعه و اجرای بهسازی ساختمان‌ها با استفاده از مصالح ساختمانی ویژه و به کارگیری فناوری‌های نوین است.

۹-۲- روش‌های بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها

شیوه‌های بهسازی که برای ساختمان به‌کار گرفته می‌شوند همانطور که در شکل (۹-۱) مشاهده می‌شوند، به دو دسته‌ی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف- کلی یا عمومی

ب- موضعی یا محلی



شکل (۹-۱): شیوه‌های بهسازی

۹-۲- الف- بهسازی کلی یا عمومی

هنگامی که سیستم باربر جانبی مناسب وجود نداشته و یا در برابر نیروهای جانبی وارده ضعیف باشد، بهسازی کلی مطرح می‌گردد. رایج‌ترین رهیافت بهسازی یک سازه، افزایش سختی و مقاومت آن با محدودیت شکل‌پذیری سازه است. از جمله روش‌های بهسازی کلی که شامل اضافه کردن سیستم باربر جانبی است در گذشته مورد مطالعه قرار گرفت، مانند : استفاده از بادبندهای هم

محور یا برون محور فولادی، استفاده از دیوارهای برشی فولادی یا بتنی و همچنین استفاده از دیوارهای پرکننده. اما راه حل دیگری برای بهبود رفتار سازه در برابر زلزله نیز وجود دارد. در حقیقت در این حالت به جای افزایش سختی، مقدار میرایی سازه افزایش داده شده و یا از سیستم جداساز لرزه‌ای استفاده می‌گردد.

۹-۲- ب- بهسازی موضعی یا محلی

گاهی اوقات کلیت سازه از مقاومت جانبی کافی برخوردار می‌باشد، اما بخشی از اعضا توانایی حمل بارهای اعمالی و ارائه عملکرد مناسب را ندارند. در چنین مواقعی از بهسازی موضعی یا محلی استفاده می‌گردد. با ترمیم و تقویت موضعی، به عنوان مثال استفاده از پوشش بتنی، ژاکت فولادی، روکش *FRP* برای تیرها و ستون‌هایی که نسبت تنش موجود یا تقاضا به ظرفیت بیشتر از یک بوده و نیازمند تقویت هستند، به مقاوم سازی آنها پرداخته می‌شود. به طور کلی در اعضای ناکارآمد هدف افزایش ظرفیت تغییرشکل نهایی آنها با تقویت موضعی است درحالیکه در تقویت کلی، هدف افزایش مقاومت جانبی سازه موجود می‌باشد.

۹-۳- تعریف میراگر

اصولاً همهٔ موادی که در طبیعت وجود دارند دارای خصوصیتی ذاتی، به نام میرایی می‌باشند. با توجه به آنکه میرایی داخلی (که به جنس ماده بستگی دارد) در جامدات تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر تأثیرات حرارتی، پدیده خستگی و پدیده باوشینگر تغییر می‌کند، برای آنکه بتوان مصالحی با میرایی معلوم داشت، بایستی تأثیرات این عوامل در مصالح مورد نظر به حداقل برسد. روش‌های مختلفی برای تولید مصالح دارای میرایی معلوم که اصطلاحاً میراگر نامیده می‌شوند، وجود دارد که در ادامه به بررسی انواع این روش‌ها و نشان دادن انواع میراگرهای تولید شده توسط این روش‌ها پرداخته خواهد شد. البته با توجه به آنکه میراگرها به عنوان عوامل اتلاف انرژی زلزله در سازه‌ها استفاده می‌شوند، لازم است ابتدا توضیح مختصری پیرامون انواع کلی سیستم‌های اتلاف انرژی داده شود.

۹-۴- انواع میرایی

۹-۴-۱- میرایی خارجی ویسکوز(لخت): نوعی از میرایی است که توسط هوا، آب و شرایط محیطی اطراف سازه به وجود می آید.

۹-۴-۲- میرایی داخلی ویسکوز(لخت): این میرایی حاصل خاصیت ویسکوزیته(لختی) ماده بوده و متناسب با سرعت است، به نحوی که نسبت میرایی متناسب با فرکانس طبیعی ساختمان افزایش می یابد (معروفترین نوع میرایی).

۹-۴-۳- میرایی اصطکاکی: این میرایی که میرایی کلمب هم نامیده می‌شود به علت وجود اصطکاک در اتصالات و یا نقاط تکیه‌گاهی پدید می‌آید. بسته به مقدار جابجایی به دو نحو با آن برخورد می شود، اگر مقدار جابجایی‌ها کوچک باشد، به عنوان یک میرایی داخلی لخت و اگر مقدار جابجایی بزرگ باشد به عنوان یک میرایی هیسترزیس در نظر گرفته می‌شود. یک مثال در مورد این میرایی راجع به دیوارهای با مصالح بنایی میانقاب است که در هنگام ترک‌خوردن دیوار، اصطکاک جسمی زیاد شده و مقاومت مؤثری در مورد ارتعاشات به وجود می‌آید.

۹-۴-۴- میرایی هیسترزیس: این میرایی هنگامی اتفاق می‌افتد که ماده تحت بار رفت و برگشتی در محدوده غیر الاستیک قرار می‌گیرد، مساحت چرخه‌ی هیسترزیس در واقع بیانگر مقدار انرژی تلف شده در هر سیکل از بارگذاری است.

۹-۴-۵- میرایی تششعی

۹-۵- انواع سیستم های کنترلی سازه ها

۹-۵-۱- سیستم کنترل غیر فعال

غیر فعال بودن این سیستم‌های کنترلی بدین معناست که عامل کنترل‌کننده تا پیش از تحریک سازه غیرفعال است. با شروع تحریک سازه، سیستم فعال شده و شروع به فعالیت کنترلی خود می‌نماید و پس از خاتمه تحریک، دوباره به حالت غیرفعال باز می‌گردد. این سیستم‌ها مجهز به وسایلی هستند که مشخصات سازه‌ای مانند شکل‌پذیری، مقاومت و غیره را اصلاح می‌کنند. بنابراین طی این عمل، ارتعاشات سازه کنترل می‌گردد (کاهش می‌یابد). این سیستم‌ها احتیاج به وسایلی با مشخصات ویژه (سختی، مقاومت، رفتار چرخه‌های هیسترزیس و غیره) دارند، به طور کلی می‌توان این وسایل را به دو گروه کلی ((جداسازها)) و ((میراگرها)) تقسیم نمود. هر کدام از این موارد شامل انواع مختلفی (بر حسب رفتار مکانیکی یعنی رابطه نیرو- تغییر مکان) هستند.

۹-۵-۲- سیستم های کنترل فعال

مفهوم سیستم‌های کنترل فعال ابتدا توسط *Korbori* در سال ۱۹۶۰ و سپس به طور جدی در سال ۱۹۷۲ توسط *Yao* مطرح گردید. در چنین سیستم‌هایی وسایل خاصی، توسط یک محرک خارجی و به واسطه عملکردی هوشمند سبب کاهش پاسخ ارتعاشی سازه می‌شوند. چنین سیستم‌هایی به تجهیزاتی ویژه مانند عملگرهای هیدرولیکی (به عنوان محرک خارجی) و سیستم‌های دقیق کنترل یعنی گیرنده‌های حساس و تجهیزات سخت افزاری و نرم افزاری احتیاج دارند. به همین دلیل هزینه‌های نصب و نگهداری آنها بیشتر از سیستم‌های کنترل غیرفعال است. این سیستم‌ها بر خلاف کنترل غیرفعال، همواره برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاشات سازه آماده هستند و به همین دلیل به نام سیستم‌های کنترل فعال معروفند و در واقع حالت فعال آنها جایگزین حالت ثابت و منفعل کنترل غیرفعال می‌شود. یک سیستم کنترل فعال، ابتدا نسبت به شناسایی وضعیت موجود سازه اقدام نموده و سپس در صورت نیاز با اعمال نیروهایی وضعیت سازه را به حالت مطلوب‌تر تغییر می‌دهد. این عملیات به روشی کنترل شده و طی زمانی کوتاه انجام می‌پذیرد.

۹-۵-۳- سیستم‌های کنترل نیمه فعال

مقایسه بین عملکرد سیستم‌های کنترل فعال و غیرفعال، سبب پیدایش سیستم کنترل جدیدی تحت عنوان نیمه‌فعال گردید. وسایل کنترل نیمه فعال دارای خواصی هستند که در هر لحظه قابل تنظیم هستند ولیکن قادر به اعمال انرژی به سازه کنترل شده نمی‌باشند. این وسایل را می توان به عنوان میراگرهای غیرفعال قابل کنترل نیز تلقی نمود. از آنجایی که این وسایل بدون نیاز به منابع قوی نیروی خارجی، قابلیت ارائه کنترل فعال را دارا می‌باشند، در سالهای اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته اند.

۹-۵-۴- سیستم کنترل دوگانه

اصولاً در صورتی که در مهاربندی از دو سیستم فعال و غیرفعال به صورت همزمان استفاده می-گردد، سیستم دوگانه بوجود می‌آید. در نگاه اول، این سیستم از همهٔ سیستم‌هایی که تاکنون معرفی شده بهتر است اما با دقت بیشتر می‌توان دریافت که مثلاً در صورتی که سیستم کنترل فعال، نیرویی را در جهتی که به پایداری سازه کمک می کند، به سیستم وارد کند و انرژی این نیرو توسط سیستم غیر فعال اتلاف شود، تضادی در سیستم پدیدار می‌شود.

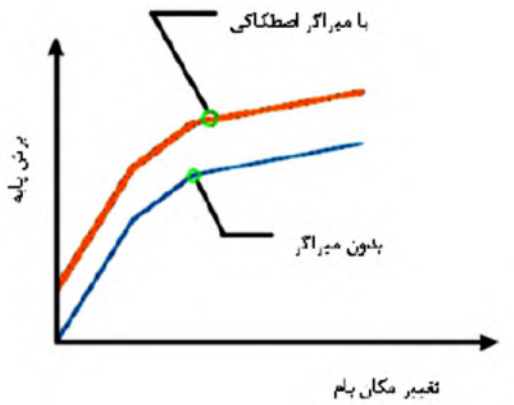
۹-۶- انواع میراگر به عنوان عامل اتلاف انرژی غیرفعال

میراگرها بر اساس عملکرد آنها به انواع اصطکاکی، فلزی(جاری‌شونده)، ویسکوز مایع، ویسکوالاستیک، آلیاژهای حافظه‌دار شکلی(*SMA*) و میراگرهای هماهنگ شدهٔ جرمی و سیال دسته‌بندی می‌گردند.

۹-۶-۱- میراگرهای اصطکاکی

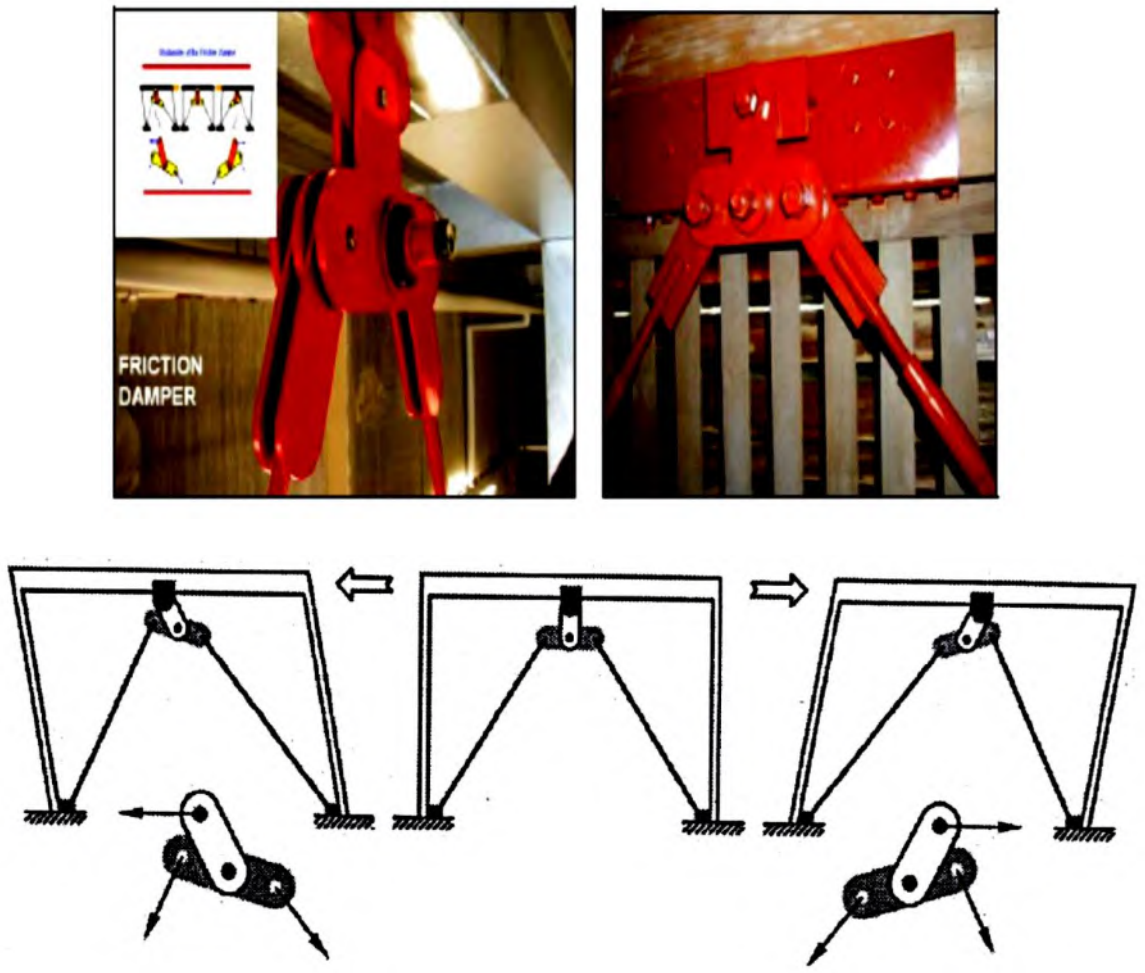
با تحقیقات نسبتاً خوبی که در سال ۱۹۸۰ توسط پال و همکاران صورت گرفت طرحی جدید که بیانگر نسل جدید سیستم‌های اتلاف انرژی غیرفعال بود، ارائه شد. در این سیستم، میرایی توسط اصطکاک خطی موجودِ میان ورقه‌های فلزی روی هم سوار شده، بوجود می‌آید. این نوع میراگرها به دلیل آنکه به خصوصیات درونی ماده بستگی ندارند، حالتی ایده‌آل می‌باشند که با دانستن فاکتور اصطکاک خطی موجود میان سطوح مختلف، می‌توان ضرایب میرایی میراگرها را تعیین نمود. به عنوان اولین میراگر سازه‌ای تجارتی، شرکت‌های آمریکایی اقدام به طراحی و ساخت انواع مختلف این میراگرها نمودند که بسته به تقاضای مشتری در نقاط دلخواه از سازه قابل نصب می‌باشند. این دسته از میراگرها به دلیل اینکه طول عمری تقریباً برابر با اعضاء سازه دارند، مشکل تعویض و خرابی را نیز تا حدود قابل قبولی مرتفع کرده‌اند.

در این نوع میراگر، انرژی زلزله صرف غلبه بر اصطکاک موجود در سطح تماس قطعات می‌شود. این میراگرها به موازات مهاربندها نصب می‌شوند. در حقیقت می‌توان گفت که مهمترین ویژگی میراگرهای اصطکاکی آن است که می توان توسط آنها انواع دیگر میراگر را شبیه‌سازی نمود.



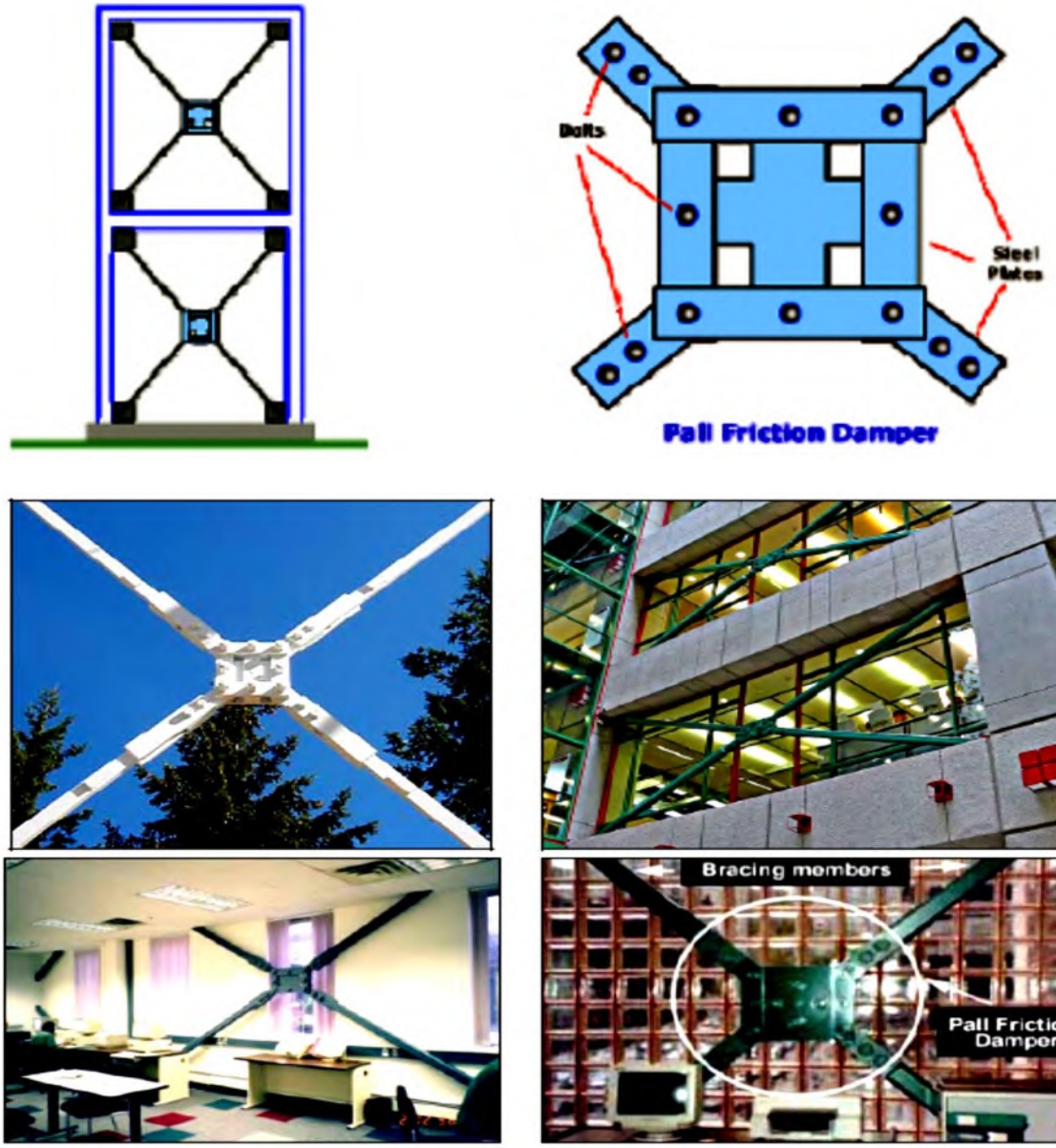
شکل(۹-۲): تأثیر استفاده از میراگرهای اصطکاکی بر منحنی ظرفیت سازه

در شکل زیر میراگرهای اصطکاکی چرخشی نشان داده شده است. به علت رفتار بسیار ساده و سهولت در نصب و ساخت، این نوع میراگر به یکی از انواع متداول در میراگرهای اصطکاکی تبدیل شده است.



شکل(۹-۳): استفاده از میراگرهای اصطکاکی چرخشی در مقاوم سازی

نوع دیگر میراگر اصطکاکی، میراگر پال *(pall)* می‌باشد. این میراگر شامل یک بادبند و چند سری ورق فولادی به همراه پیچ‌های اصطکاکی می‌باشد که در بخش میانی بادبند نصب می‌شوند. ورقهای فولادی توسط پیچ‌های پُرمقاومت به یکدیگر متصل شده که نسبت به یکدیگر تحت نیروی مشخصی لغزش می‌کنند.



شکل(۹-۴): استفاده از میراگرهای اصطکاکی پال *(pall)* در مقاوم‌سازی

مزایای استفاده از میراگر اصطکاکی

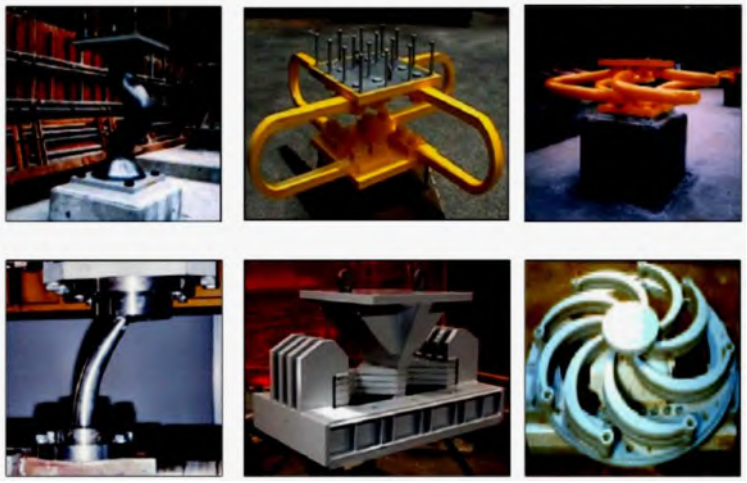
- طول عمر زیاد
- عدم نیاز به مراقبت
- عملکرد قابل پیش بینی در دماهای مختلف
- کاهش برش پایه و تغییرمکان نسبی سازه
- بدلیل عدم فعال شدن در بارهای بهره‌برداری، مشکل خستگی در آنها رخ نمی‌دهد
- عدم وابستگی به سرعت بارگذاری

۹-۶-۲- میراگرهای تسلیم شوندهٔ فلزی

با دانستن ساختمان کریستالی فلزات مختلف، می‌توان رفتار میرایی این فلزات را در شرایط بارگذاری تناوبی بررسی نموده و خواص میرایی آنها را در محدوده قبل از تنش تسلیم *(Yield Point)* مشاهده نمود. در حقیقت می‌توان با فرم دادن یک قطعه فلزی به حالتی که در بارگذاری دینامیکی سازه، رفتار میرایی را از خود نشان دهد (عموماً به شکل مثلث متساوی الساقین) و قرار دادن آن در سازه از این خاصیت به نحو مطلوب در اتلاف و پراکنده‌سازی انرژی زلزله استفاده نمود. بایستی جنس، شکل و محل استفاده این دسته از میراگرها طوری انتخاب شود که در طول عمر سازه، خواص میرایی آنها تحت عوامل مختلف تأثیرگذار، دچار اختلال نگردد.

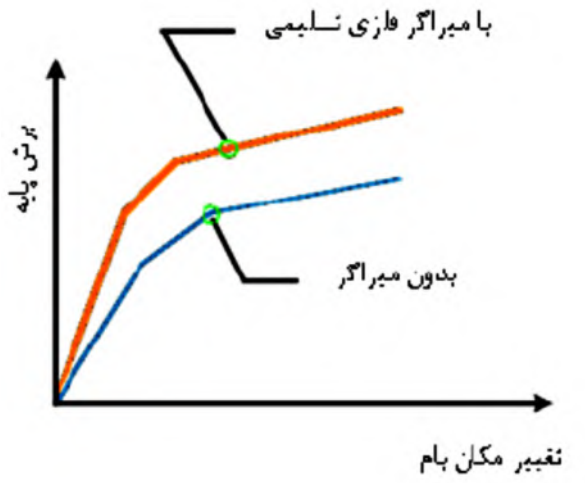
فلزی که برای ساخت اینگونه میراگرها به کار می‌رود، عموماً بایستی دارای رفتار مناسب تغییرشکل هیسترزیس، دامنه خستگی بالا، استحکام نسبی بالا و عدم حساسیت زیاد نسبت به تغییرات درجه حرارت باشد. اصولاً در میراگرهای فلزی، میرایی با تکیه بر تغییر شکلهای غیرالاستیک فلزی و همچنین اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک داخلی کریستال‌ها، حاصل می‌شود.

در این میراگر، انرژی منتقل شده به سازه صَرف تسلیم و رفتار غیرخطی در قطعات به کار رفته در میراگر می‌شود. در این میراگرها از تغییر شکل غیرالاستیک فلزاتِ شکل پذیری مانند فولاد و سرب جهت اتلاف انرژی استفاده می‌شود. در تمام سازه های معمولی اتلاف انرژی بر شکل‌پذیری اعضای فولادی پس از تسلیم متکی است. اما اینطور به نظر می‌رسد که استفاده از اینگونه میراگرها در سازه به عنوان تنها سیستم مهاربندی دارای ریسک زیاد باشد اما به عنوان یک سیستم تکمیلی در تعامل با سیستم‌های مهاربندی معمول می‌توانند مفید واقع شوند.



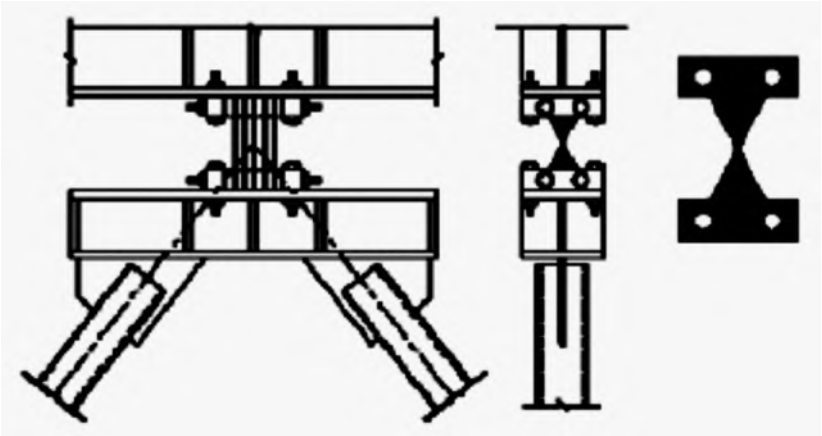
شکل(۹-۵): نمونه‌هایی از انواع میراگرهای تسلیم شوندهٔ فلزی

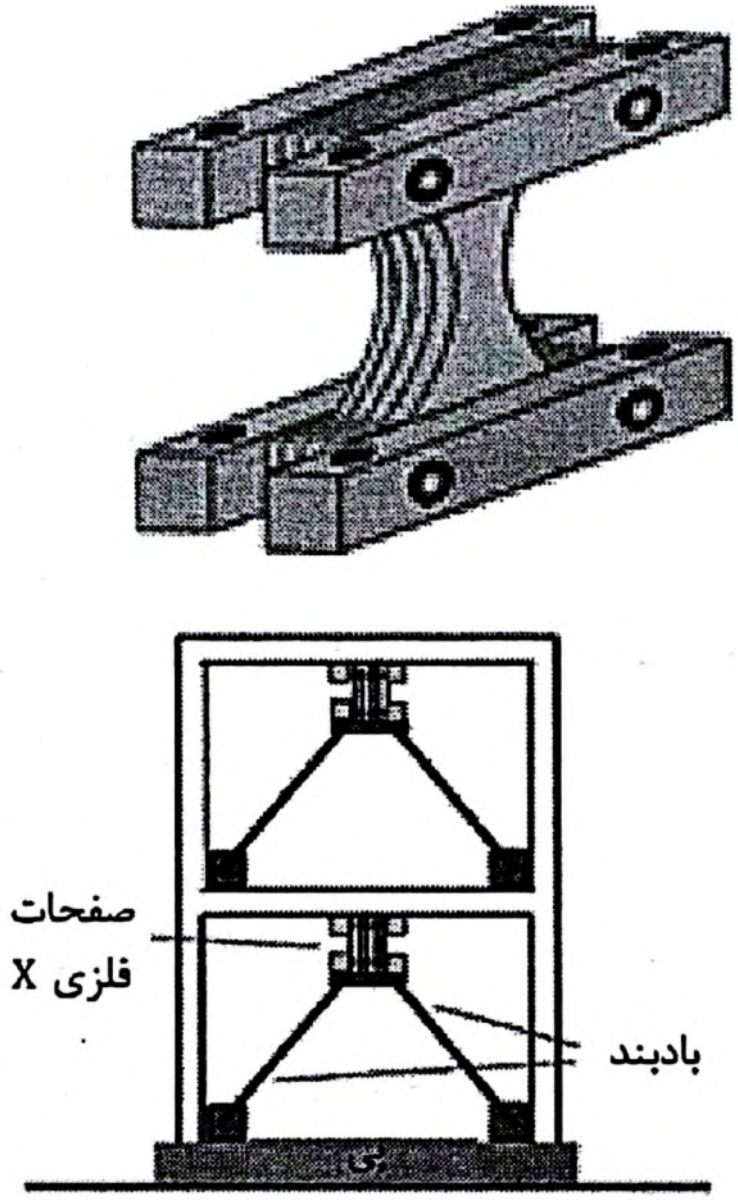
استفاده از میراگرهای فلزی تسلیمی در بادبندها متداول‌تر می‌باشد. این نوع میراگرها اغلب از چند ورق فولادی موازی تشکیل می‌شوند و در ترکیب با یک سیستم بادبندی، نقش جذب و اتلاف انرژی را به عهده می‌گیرند. این قسمت از مهاربند به عنوان یک فیوز در سازه عمل نموده و با تمرکز رفتار غیر خطی در خود، مانع از بروز رفتار غیرخطی و آسیب در سایر اجزا اصلی و فرعی سازه می‌گردد.



شکل(۹-۶): تأثیر استفاده از میراگرهای فلزی تسلیمی بر منحنی ظرفیت سازه

میراگرهای فلزی χ شکل، از کارائی قابل توجهی برخوردار می‌باشند. این میراگرها ضمن تأمین میرایی، از سختی جانبی بالایی برخوردار بوده و به همین جهت با عنوان میرایی و سختی افزوده *(ADAS=Added Damping Added Stiffness)*، نامگذاری شده است. این میراگرها معمولاً بین رأس مهاربندهای جناقی و تیر طبقه نصب می‌شوند. با پیش بینی اتصالات مناسب، این میراگرها در قابهای بتنی نیز قابل نصب می‌باشد.





شکل (۹-۷): نحوه استقرار میراگر *X-ADAS* درقاب

مزایای استفاده از میراگر تسلیم شوندهٔ فلزی

- تسلیم گسترده در تمام حجم فولاد
- تأمین میرایی هیسترتیک
- اتلاف انرژی فوق العاده
- سازگار با استفاده در بادبندها

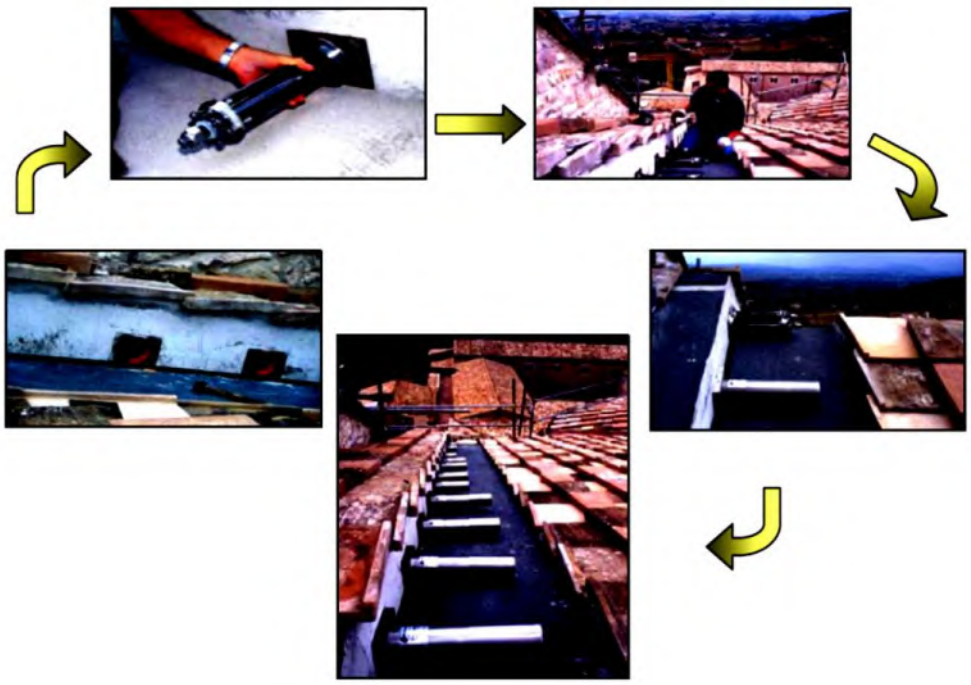
۹-۶-۳- میراگرهای آلیاژی حافظه‌دار شکلی

میراگرهای آلیاژی *SMA (Shape Memory Alloy)*، از فلزاتی ساخته می‌شوند که دو خاصیت زیر را دارا باشند:

۱. انعطاف‌پذیری آنها مشابه با انعطاف‌پذیری قطعه لاستیکی باشد.

۲. پس از اعمال تغییرشکل‌های زیاد در آنها، در اثر حرارت به حالت اولیه خود باز گردند.

آلیاژ نیکل و تیتانیوم ضمن دارا بودن این خواص از مقاومت خوبی در برابر خوردگی نیز بر خوردار هستند.



شکل(۹-۸): ترمیم سقف کلیسای فرانسیس(ایتالیا) با میراگرهای *SMA*

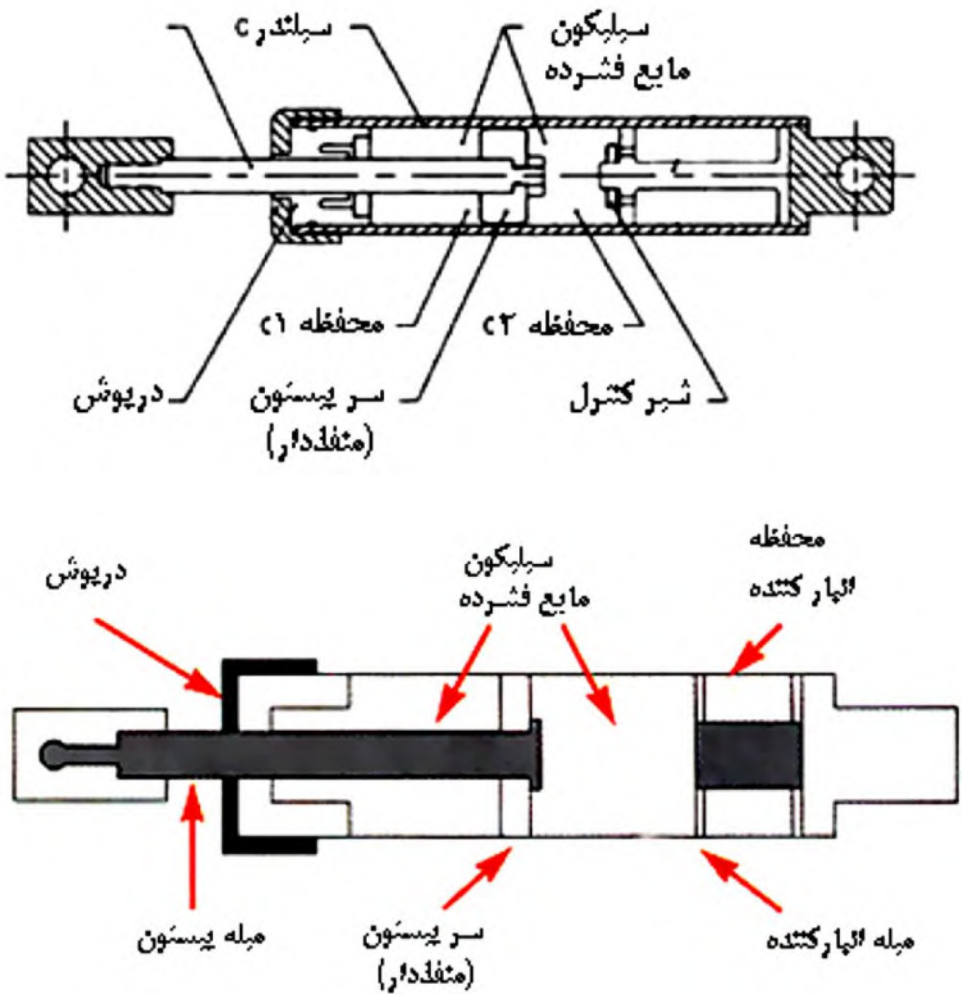
۹-۶-۴- میراگرهای ویسکوز مایع[۱]

یکی از مکانیزم‌های مناسب برای جذب انرژی انتقال یافته به سازه در تحریک‌های خارجی مانند زلزله یا ارتعاشات ناشی از ماشین‌آلات، میراگرهایی هستند که از سیالات ویسکوز استفاده می کنند. ویژگی‌های نسل جدید این میراگرها و طراحی آنها به صورتی است که نیاز به نگهداری و مراقبت نداشته و نسبت به نمونه‌های دیگر دارای هزینه کمتری می‌باشند. از این نوع میراگر می‌توان علاوه بر استفاده در ساخت سازه‌های جدید، در بازسازی ساختمان‌های موجود نیز استفاده نمود.

---

۱. *Fluid Viscous Dampers*

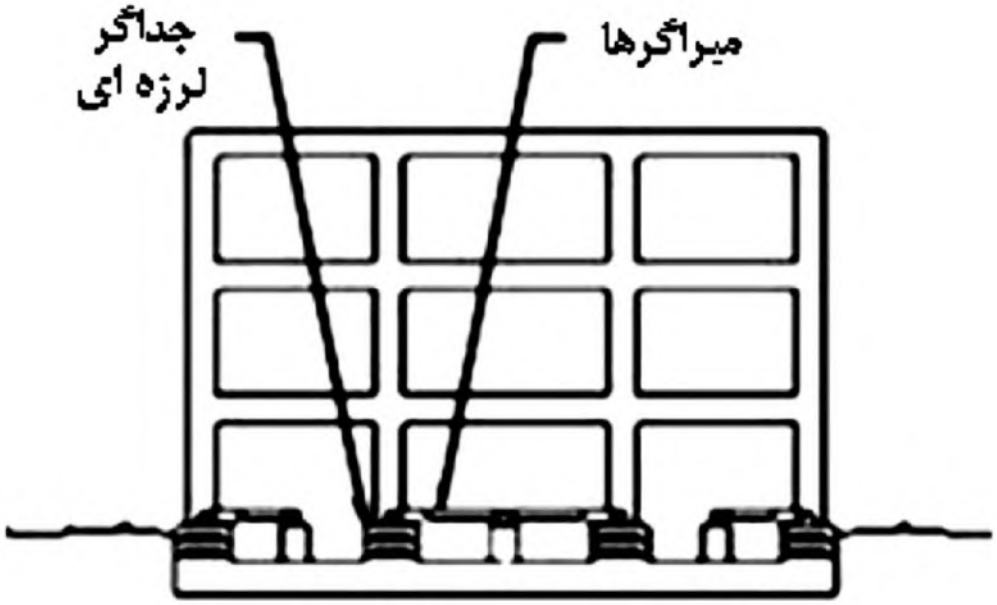
مدل سازه‌ای این نوع میراگر، مدل *Maxwell* می‌باشد که مشتمل بر یک فنر و یک میراگر خطی است که بصورت سری قرار گرفته‌اند. تا کنون این میراگرها در ساختمان‌های زیادی بکار برده شده-اند. ایده این دسته از میراگرها نیز همانطور که ایده میراگرهای اصطکاکی از ترمز اتومبیل گرفته شده است از اتومبیل سرچشمه می‌گیرد. اگر ستون‌های یک سازه به عنوان فنر در نظر گرفته شوند، در واقع با ایجاد کمک فنر (میراگر) در کنار آنها می‌توان انرژی وارده به سازه را اتلاف نمود. ساختمان میراگرهای مایع لزج عموماً از یک پیستون و یک سیلندر تشکیل شده است. مایع لزج داخل سیلندر توسط پیستون فشرده می‌شود، با توجه به اینکه درون پیستون، سیلندر دیگری وجود دارد که بوسیلهٔ سوراخ‌های ریزی می‌تواند مایع را به درون پمپ کند، با اعمال فشار به سیستم مایع لزج با سرعت کمی بین دو سیلندر مبادله می‌شود و مقدار زیادی انرژی را اتلاف می‌کند.



شکل(۹-۹): جزئیات سیستم میراگر ویسکوز مایع

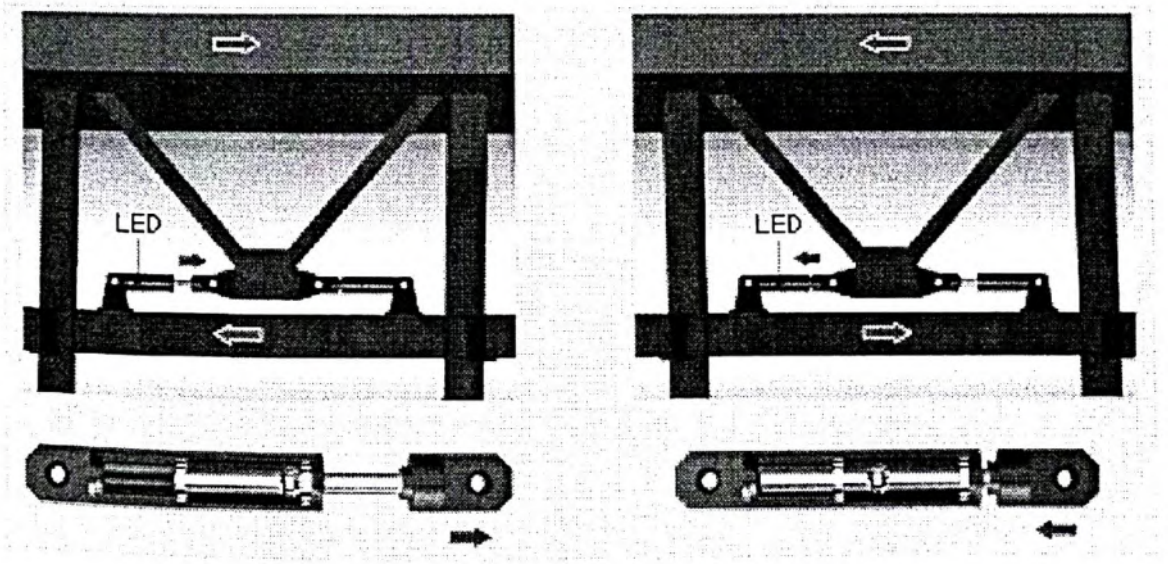
این نوع میراگرها به سه روش زیر به سازه متصل می گردند:

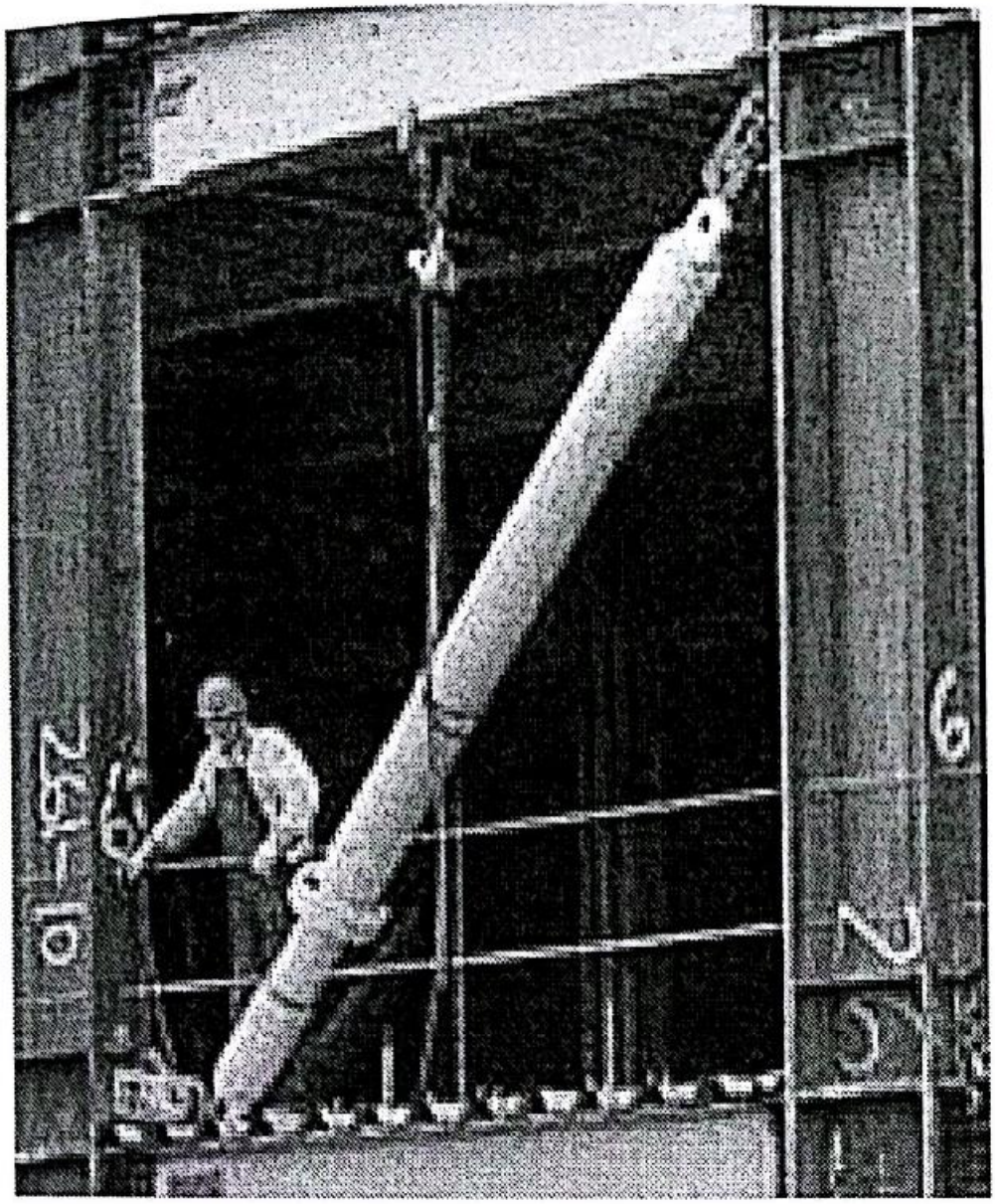
۱. نصب میراگرها به کف و یا فونداسیون‌ها (در روش جداسازی لرزه‌ای)
۲. اتصال میراگرها در بادبندهای جناغی
۳. نصب میراگرها در بادبندهای قطری



ترکیب میراگر و جداگر لرزه ای

شکل(۹-۱۰): اتصال میراگرهای ویسکوز مایع در کف و فونداسیون سازه‌ها





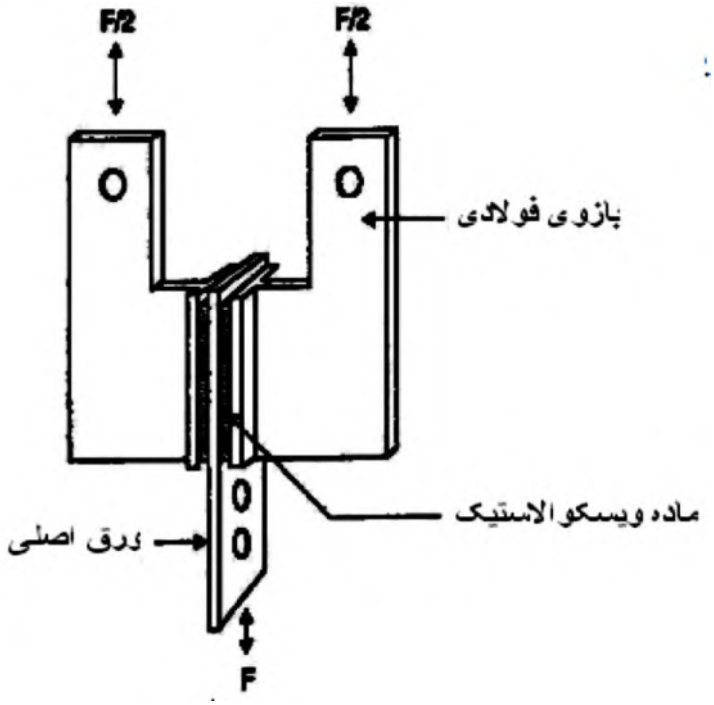
شکل(۹-۱۱): تعبیه میراگر ویسکوز مایع در ساختمان

مزایای استفاده از میراگر ویسکوز مایع

- کاهش چشمگیر تغییرمکان نسبی طبقات
- کاهش چشمگیر برش پایه
- عمر طولانی
- عدم نیاز به مراقبت
- قابلیت نصب آسان به عنوان مهاربند قطری یا سیستم جداساز پایه

۹-۶-۵- میراگر ویسکو الاستیک

این گونه میراگرها از نظر عاملیت میرایی دقیقاً مانند میراگرهای فلزی عمل می‌کنند، با این تفاوت که به دلیل ساختمان کوپولیمری یا کریستالی خود و خواص ایزوتروپیکی که دارند در بارگذاری‌های مختلف، از طریق تغییرشکل‌های برشی باعث اتلاف انرژی می‌شوند. اینگونه میراگرها را عموماً طوری در سیستم نصب می‌کنند که تنش‌های وارد به آنها از نوع برشی باشد تا خاصیت میرایی خود را نشان دهند.کاربرد عمومی این گونه میراگرها در سازه پل‌های بلند می‌باشد. این میراگرها باعث جلوگیری از ایجاد پدیده مخرب تشدید در ساختمان پل شده و مانع از تخریب پل در اثر بارهای باد می‌شوند. این گونه میراگرها مانند اکثر میراگرهای دیگر به دلیل تأثیرگذاری عوامل مختلف روی میزان میرایی، از تاریخ مصرف برخوردارند و در پایان تاریخ مصرف‌شان بایستی تعویض شوند. ممکن است در طول عمر مفید یک سازه، چندین بار تعویض میراگرها صورت گیرد که بزرگترین نقطه ضعف این گونه میراگرها همین می‌باشد.

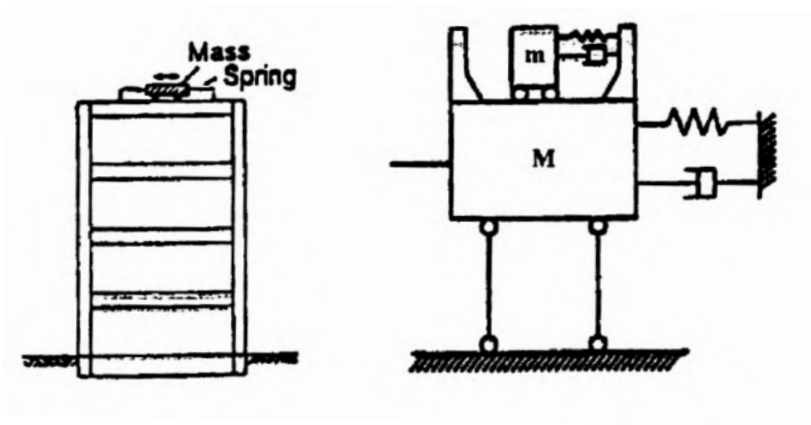


شکل(۹-۱۲): ساختمان میراگر ویسکوالاستیک

۹-۶-۶- میراگر جرم هماهنگ شده

این میراگر که در سال ۱۹۰۹ برای اولین بار توسط *Frahm* در ایالات متحده مطرح گردید را می‌توان به صورت سیستمی متشکل از یک جرم و فنر شبیه‌سازی نمود. شکل (۹-۱۳) نحوهٔ بکارگیری و

مدل‌سازی یک *TMD* را نشان می‌دهد. این میراگر در کنترل ارتعاشات دستگاه‌های مکانیکی، پی ماشین‌آلات و نیز در سازه‌های بلند برای کاهش ارتعاشات ناشی از باد کاربرد گسترده‌ای یافته است. در این گونه موارد یک جرم اضافی (در حدود ۱ تا ۲ در صد جرم کل سازه) در بالاترین تراز نصب می شود و فرکانس ارتعاش آن با فرکانس مود اول سازه هماهنگ می‌شود. *TMD* ها تنها در محدودهٔ کوچکی در اطراف فرکانس تشدید خود کارائی دارند و از اینرو به شدت به فرکانس تحریک ورودی حساس هستند.

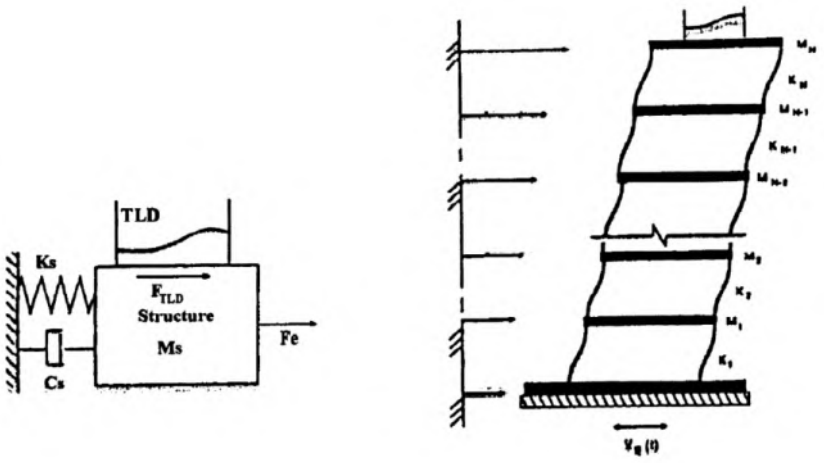


شکل (۹-۱۳): سیستم یک درجه آزادی ایده آل دارای *TMD*

۹-۶-۷- میراگر مایع هماهنگ شده

ایده میراگر جرم هماهنگ شده سبب پیدایش سیستم کنترل غیرفعال دیگری یعنی میراگر مایع هماهنگ شده یا *TLD* گردید. اساس کار *TLD* مبتنی بر استهلاک انرژی ورودی به سازه، به واسطه تلاطم مایع کم عمق درون تعدادی مخزن است. نیروی اینرسی مایع سبب می‌شود که مایع با یک اختلاف فاز نسبت به مخزن و سازه، که ارتعاش مشابهی دارند، حرکت کند.

این حرکت سبب ایجاد تفاوت در رقوم سطح آزاد مایع در جداره‌های انتهایی مخزن می‌شود. اختلاف فشار هیدرودینامیکی ناشی از این تفاوت، نیروی برشی ایجاد می‌کند که از طریق کف مخزن به سازه وارد می‌شود (نیروی کنترل‌کننده). شکل (۹-۱۴) نحوهٔ بکارگیری و مدل‌سازی این میراگرها را در ساختمان‌های برشی نشان می‌دهد.



شکل(۹-۱۴): مدلسازی TLD در سازه‌ها

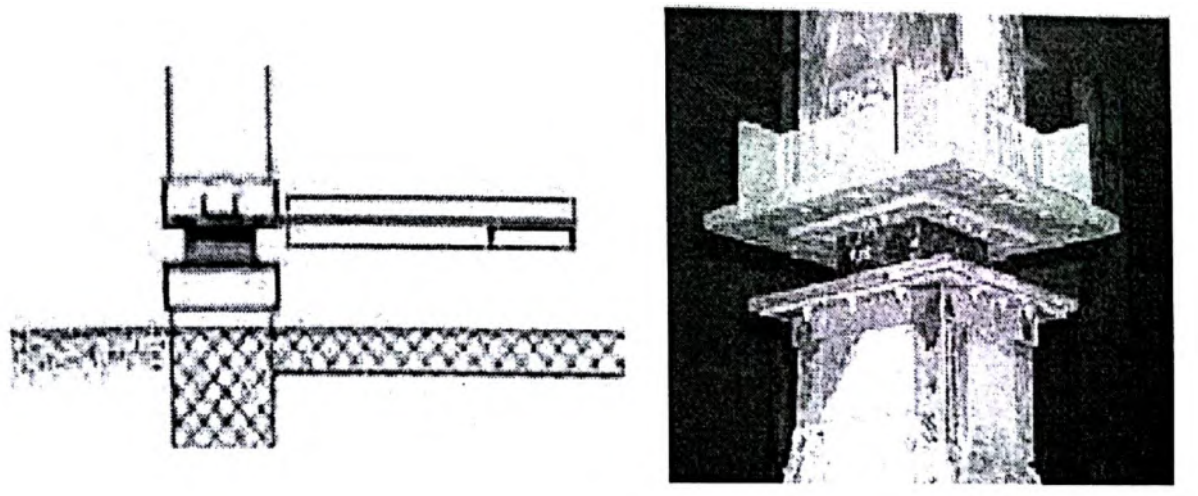
برای دستیابی به میرایی بیشتر، فرکانس طبیعی تلاطم مایع با فرکانس سازه هماهنگ می‌شود تا TLD به صورت مؤثرتری در کنترل ارتعاشات عمل کند. نامگذاری این نوع میراگر به نام TLD نیز از همین موضوع ناشی می‌شود. مهمترین عوامل مؤثر بر کارایی سیستم TLD عمق و لزجت مایع، زبری کف مخزن، شکل و ابعاد مخزن و نیز نسبت جرم مایع به جرم سازه می‌باشد که برای دستیابی به میزان استهلاک بهینه تنظیم می‌گردد.

۹-۷- جداگرهای لرزه‌ای

هدف اصلی در این روش جلوگیری از انتقال مستقیم نیروی زلزله از پی به سازه است. در این روش بار اعمالی به دلیل جدایی بین سازه و زمین، در حین زلزله کاهش می‌یابد. با ایجاد انعطاف‌پذیری در پایه‌ی سازه یا در طبقات و استقرار عناصر مستهلک‌کننده‌ی انرژی جداسازی پی صورت می-گیرد. لایه‌ی جداگر معمولاً پریود طبیعی بالاتری نسبت به پریود طبیعی تکیه‌گاه ثابت دارد که این افزایش پریود منجر به کاهش شتاب طیف لرزه‌ای می‌شود.

جداگرهای لرزه‌ای از یک نشیمن استوانه‌ای شکل با ارتفاع کم که دارای یک یا تعدادی سوراخ است و همچنین مقادیر متغیر لایه‌های پلاستیکی فشرده، تشکیل شده‌اند. این نشیمن‌های لایه‌لایه که عامل ارتباط بین کف سازه و فونداسیون هستند، در برابر بارهای قائم بسیار سخت و محکم بوده ولی در مقابل بارهای جانبی بسیار انعطاف‌پذیر هستند. از آنجا که خاصیت میرایی طبیعی پلاستیک کم است، غالباً لازم است از یک‌سری میراگرهای اضافی تحت عنوان میراگرهای مکانیکی در کنار این نوع سیستم استفاده شود. نوع دوم جداگرهای لرزه‌ای سیستم‌هایی هستند که با کمک یک

سری المان‌های لغزشی بین فونداسیون سازه و کف سازه جای می‌گیرند. در این نوع سیستم با نگه داشتن ضریب اصطکاک در حد پایین مطابق شرایط کاربردی آن، برشی که توسط لغزش درون جداگر القاء می‌شود، در سطح تماس با کف سازه‌ای به حداقل ممکن رسیده و کاهش می‌یابد. به منظور دسترسی به تأثیر مطلوب جداگرهای لرزه‌ای لازم است اصطکاک موجود به اندازه‌ی کافی مقاوم بوده که توانایی استقامت در برابر زلزله‌های خفیف و بادهای شدید را داشته باشد.



شکل(۹-۱۵): جداگر لرزه‌ای

در این روش چون نیروی زلزله به سازه وارد نمی‌شود و یا سهم اندکی از آن به سازه منتقل می‌شود، نتایج زیر را می‌توان انتظار داشت:

- کاهش تغییرمکان طبقات و تغییرمکان‌های نسبی طبقات
- کاهش قابل ملاحظه در شتاب طبقات
- کاهش خسارت سازه‌ای و نیز خسارت غیرسازه‌ای به مقدار محسوس
- ایجاد انعطاف‌پذیری مناسب در سازه
- کاهش فرکانس ارتعاش سازه و کاهش نیروهای طراحی زلزله
- اشغال مساحت کمتری از ساختمان برای اجرای این طرح تقویت
- مزاحمت کمتر برای ساکنان و عدم نیاز به تخلیه‌ی ساختمان

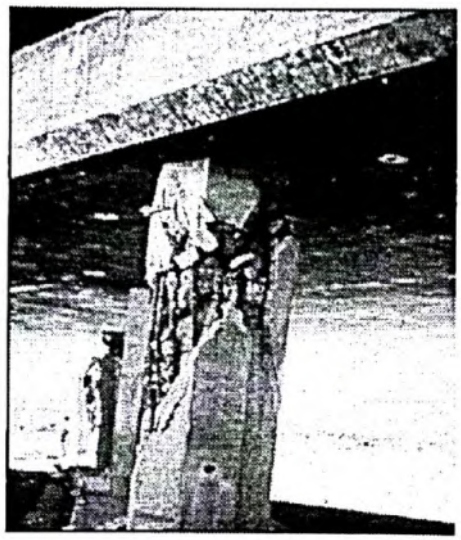
با توجه به مزایای برشمرده شده، این روش در ساختمان‌های کوتاه و متوسط مرتبه، پل‌ها، نیروگاه-های هسته‌ای و بسیاری از ساختمان‌های صنعتی کاربرد دارد.

۹-۸- بهسازی موضعی

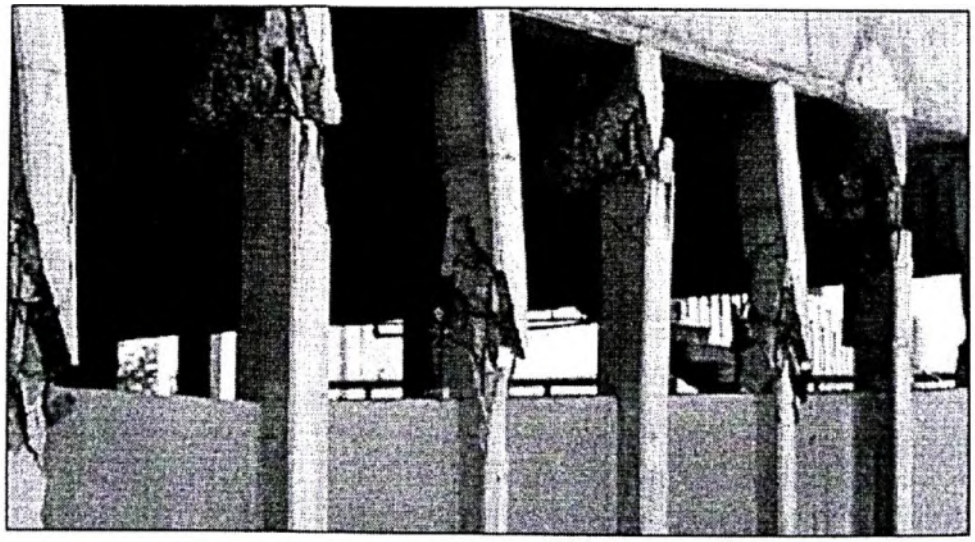
در سازه‌های با قاب خمشی، ستون‌ها علاوه بر انتقال بارهای ثقلی به فونداسیون باید بارهای جانبی ناشی از زلزله را نیز تحمل نمایند. ستون‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که بر اثر زلزله دچار کمترین آسیب ممکن شوند. عدم خرابی ستون‌ها پس از زلزله نشان‌دهنده‌ی پایداری کلی سازه است. در طراحی همواره سعی برآن است که هیچ گونه آسیبی به ستون‌ها وارد نشود و خرابی به تیرها و یا بادبندها منتقل شود. بر اساس نوع ستون (بتنی یا فولادی) و معایب آن روش‌های متعددی برای بهسازی ستون‌ها وجود دارد که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

بهسازی ستون‌های بتنی به منظور افزایش مقاومت خمشی و برشی صورت می‌پذیرد. این امر همچنین برای افزایش ظرفیت تغییرشکل ستون در نزدیکی محل اتصال به تیر و مقاوم نمودن محل وصله‌های ضعیف نیز صورت می‌پذیرد. در ستون‌های بتن مسلح خرابی‌های ناشی از زلزله مربوط به شکست‌های ناشی از طول وصله‌ی ناکافی، شکست‌های ناشی از برش، شکست خمشی به علت عدم شکل‌پذیری کافی و گسیختگی‌های ناشی از کمانش میلگردهای طولی است.

شکست برشی ستون‌های بتنی به دلیل ماهیت ناگهانی آن بدترین نوع شکست است. به همین دلیل همواره سعی بر آن است که مکانیسم کنترل‌کننده‌ی خرابی ستون به صورت خمشی باشد و ستون نباید به عنوان عضوی ضعیف در قاب سازه‌ای عمل نماید. در شکل زیر نمونه‌ای از عملکرد نامناسب و شکست برشی ستون دیده می‌شود.



شکل(۹-۱۶): نمونه‌ای از شکست برشی ستون بتنی



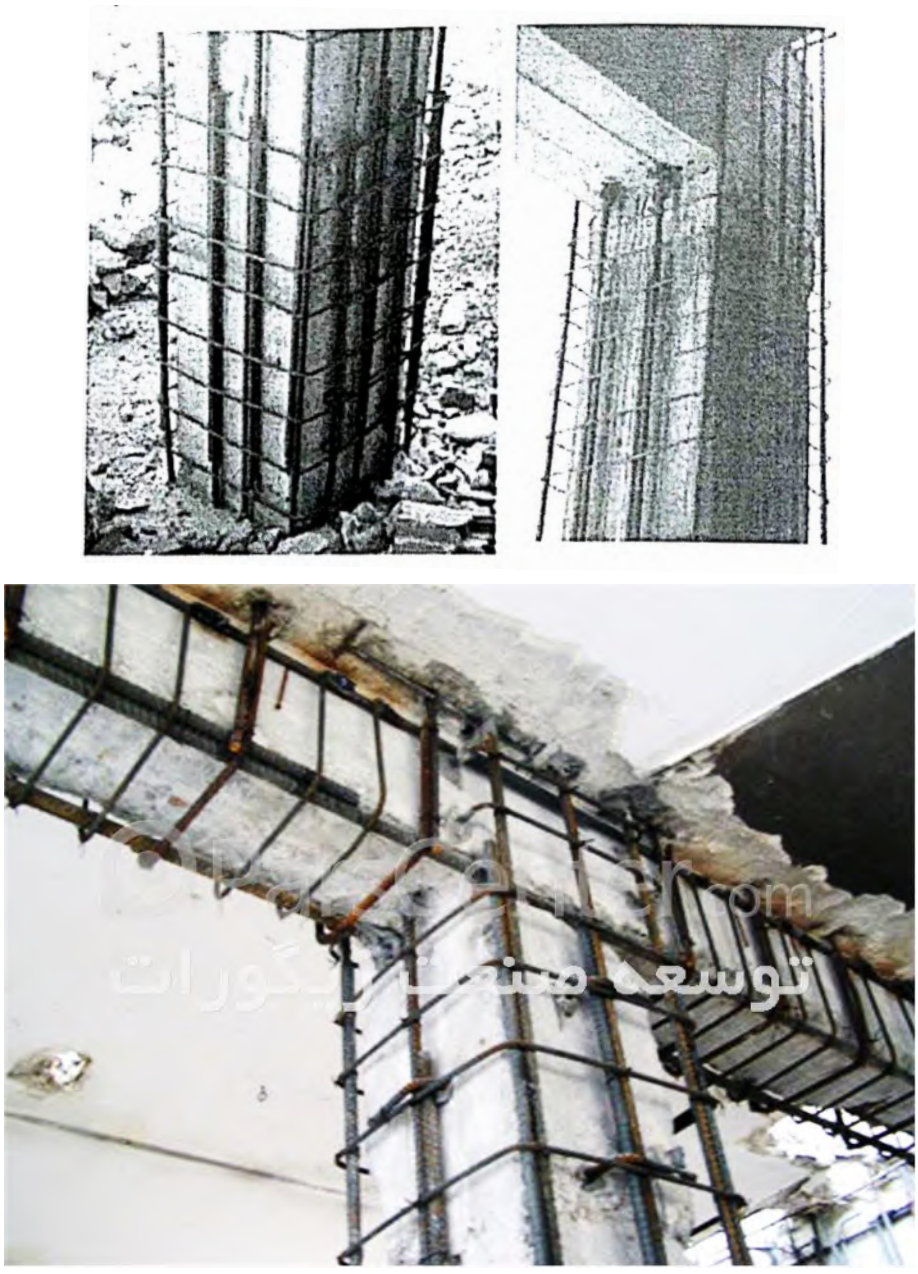
شکل(۹-۱۷): مکانیسم خرابی ستون‌ها به علت عملکرد نامناسب تیر قوی- ستون ضعیف

در ستون‌های بتنی طی چند سیکل ابتدایی خمش غیرارتجاعی، ظرفیت باربری ستون به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای بهبود ظرفیت خمشی، برشی و شکل‌پذیری ستون‌ها توسط افزایش دورگیری جانبی ناحیه‌ی مفصل پلاستیک ارائه شده است که عملکرد مناسبی طی زلزله‌های مختلف داشته‌اند.

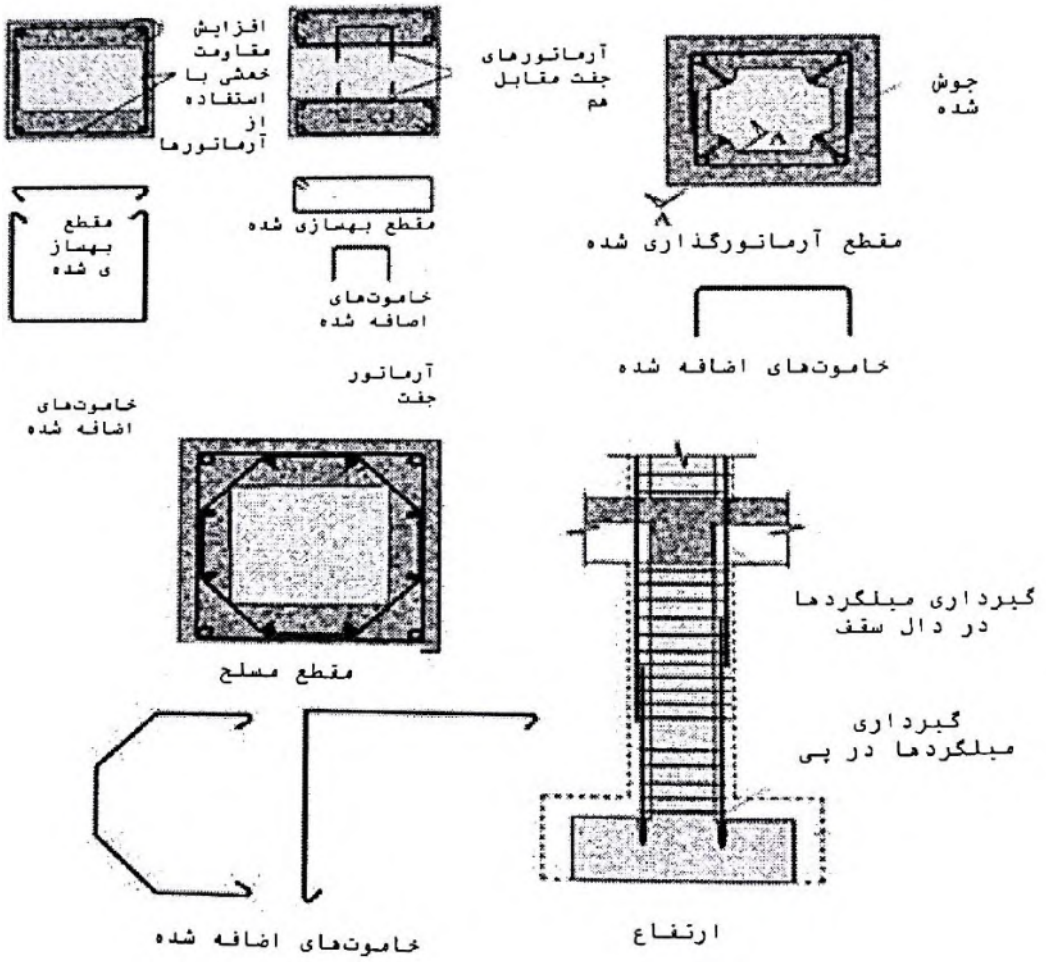
۹-۸-۱- استفاده از ژاکت بتنی

ژاکت بتنی شامل لایه‌ای از بتن، میلگردهای طولی و خاموت‌های بسته است. ژاکت بتنی مقاومت خمشی و برشی ستون را افزایش می‌دهد و نیز افزایش شکل‌پذیری ستون در این حالت کاملاً مشهود است. ژاکت بتن مسلح در مواردی که میزان شدت آسیب‌های وارده به ستون زیاد باشد و یا ستون از ظرفیت کافی در برابر نیروهای جانبی برخوردار نباشد، به کار گرفته می‌شود. این سیستم بهسازی بسته به شرایط می‌تواند دور تا دور ستون و یا در یک وجه آن اجرا شود مناسب بودن طرح ژاکت بتنی به پیوستگی آن با عضو بستگی دارد. اگر ضخامت ژاکت بتنی کم باشد، افزایش سختی در ستون بهسازی شده، محسوس نیست. ژاکت بتنی باعث افزایش ابعاد ستون می‌شود که علاوه بر مسائل معماری وزن ساختمان را نیز افزایش می‌دهد. گاهی عملکرد مرکب بتن قدیم و ژاکت صرفاً از طریق چسبندگی بین آنها (با توجه به زبر بودن سطح بتن قدیمی) تأمین می‌شود که می‌توان برای ایجاد اتصال قوی‌تر بین بتن قدیم و ژاکت از آرماتور خمیده‌ای که به میلگردهای قدیمی و جدید جوش می‌شوند، استفاده نمود. البته در شرایطی که ابعاد ستون بهسازی شده بزرگ

باشد و دورگیری تمام میلگردهای جدید به صورت حداقل یک در میان امکان‌پذیر نباشد، استفاده از تنگ‌های متصل‌کننده به منظور جلوگیری از کمانش میلگردهای طولی، ضروری خواهد بود. افزایش خاموت در ژاکت بتنی منجر به افزایش مقاومت برشی ستون می‌شود. خاموت‌ها را به علت وجود ستون نمی‌توان با یک میلگرد منفرد اجرا نمود و برای اجرای آنها استفاده از حداقل دو میلگرد که به آرماتورهای طولی متصل شده باشند، ضروری است. خم خاموت‌ها باید دارای طول کافی بوده و حداقل زاویه‌ی آنها ۱۳۵ درجه باشد.



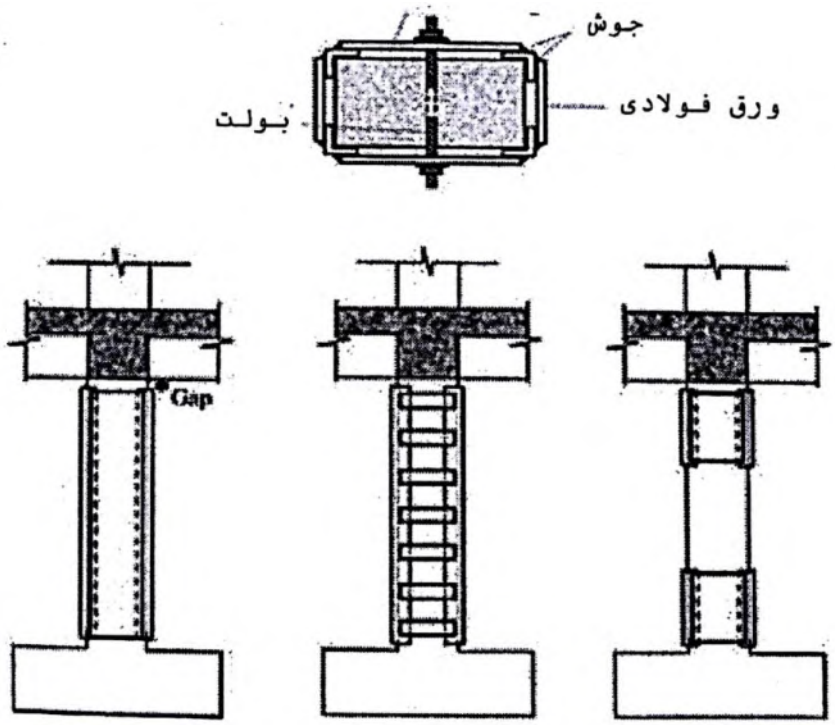
شکل(۹-۱۸): استفاده از ژاکت بتنی جهت بهسازی ستون‌ها



شکل(۹-۱۹): نحوه‌ی ایجاد اتصال مناسب بین بتن جدید و قدیم

۹-۸-۲- استفاده از ژاکت فولادی

محصور نمودن ستون‌های بتنی با پوشش فلزی (ژاکت فلزی) از دیگر روش‌های بهسازی لرزه‌ای ستون‌های بتنی است. در این روش، افزایش ناچیزی در ابعاد ستون به‌وجود می‌آید. مؤثر بودن این روش منوط به سختی مناسب ژاکت در برابر تغییرشکل‌های جانبی بتن است. ورق‌های فولادی ژاکت در تمامی طول خود به هم جوش می‌شوند و فضای اندک بین ژاکت و ستون توسط ملات منبسط شونده پر می‌شود. برای بهبود عملکرد مجموعه می‌توان از کاشت میلگرد برای انتقال برش بین ورق و بتن استفاده نمود. استفاده از ژاکت فولادی می‌تواند به عنوان روشی موقت برای بهسازی ستون‌هایی که پس از زلزله دچار آسیب شده‌اند، بکار گرفته شوند. ژاکت فولادی نه تنها مقاومت برشی ستون، بلکه تا حدودی دورگیری آن را نیز افزایش می‌دهد. نمونه‌ای از ژاکت فولادی که استفاده از آن منجر به افزایش مقاومت برشی می‌شود در اشکال زیر نشان داده شده است.



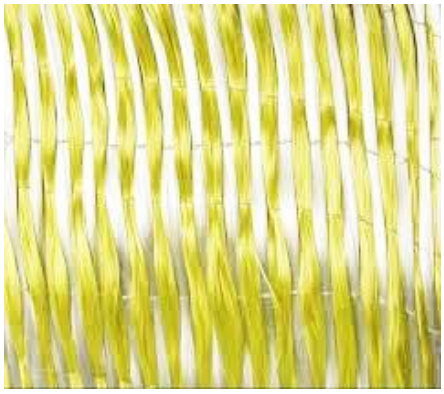
شکل(۹-۲۰): استفاده از ژاکت فولادی در بهسازی ستون بتنی

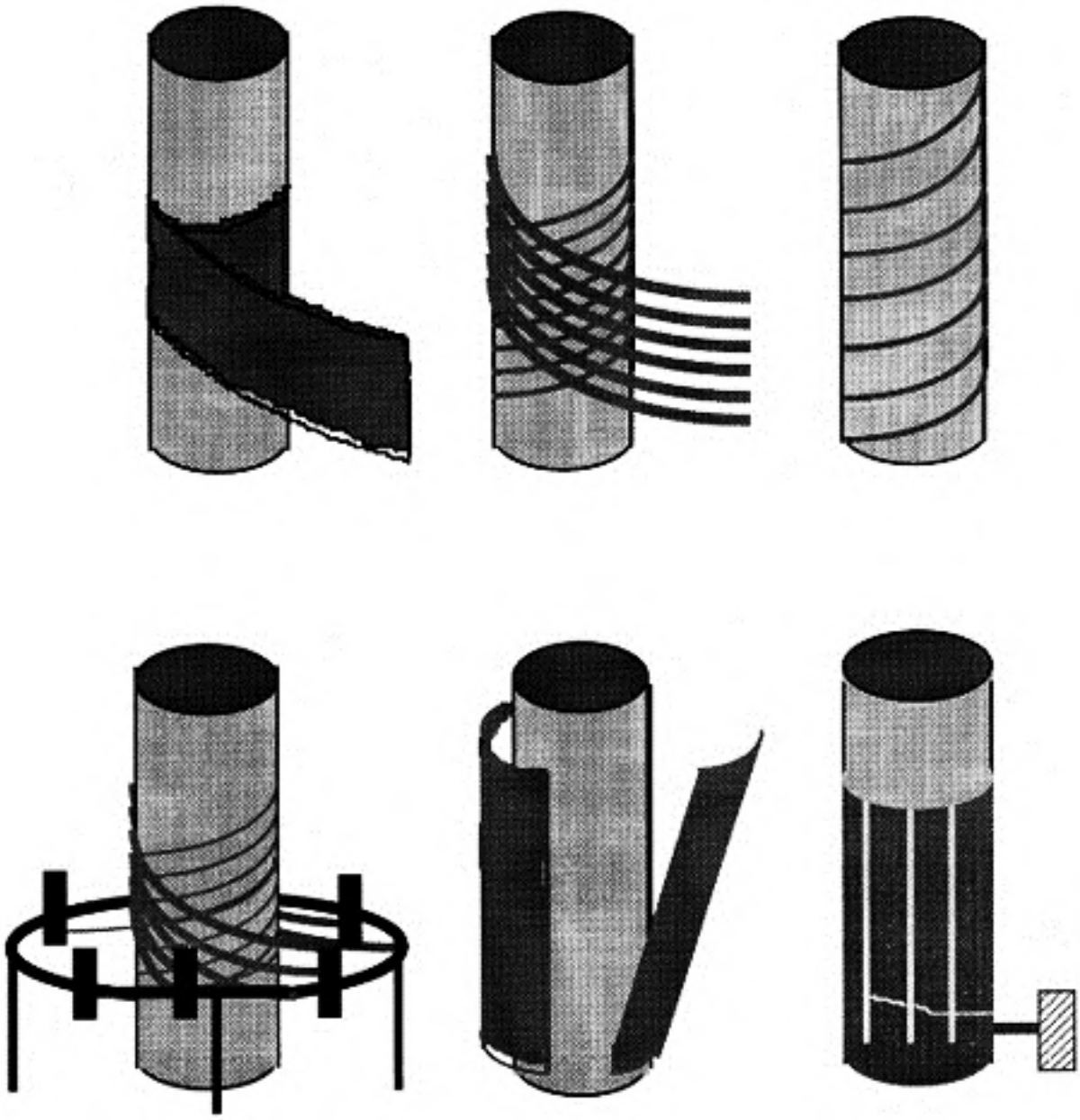
۹-۸-۳- استفاده از الیاف FRP

بیش از صد سال است که در صنعت ساختمان از میلگردهای فولادی برای تقویت اعضای بتنی استفاده می‌شود. به طور کلی فولاد، کاربری مناسب از خود نشان داده اما در شرایط محیطی خشن به سبب مسأله خوردگ فولاد، زوال سازه سریع و مصیبت بار است. برای رویارویی با این مطلب، تلاش‌های گسترده‌ای از قبیل استفاده از میلگردهای با پوشش اپوکسی و حفاظت کاتدی، صورت گرفته است. در نهایت بهره‌گیری از آرماتورهای FRP راه مناسبی در حل این معضل شناخته شده، زیرا مصالح FRP حتی در محیط‌های نامناسب هم خورده نمی‌شوند.

بهسازی اعضای بتنی با مصالح کامپوزیتی FRP روش نسبتاً جدیدی به شمار می‌رود. مصالح FRP خواص فیزیکی مناسبی دارند که می‌توان به مقاومت کششی بالا، ضخامت و وزن کم، و خستگی کم‌تر FRP نسبت به فولاد اشاره نمود. در ستون‌های بتنی استفاده از FRP ضمن افزایش ظرفیت برشی ستون، مد گسیختگی آن را از حالت برشی به خمشی تغییرداده و شکل‌پذیری را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. دورپیچی اعضای فشاری با الیاف FRP، باعث افزایش مقاومت فشاری آنها می‌شود. این امر همچنین باعث افزایش شکل‌پذیری اعضا تحت ترکیب نیروهای محوری و خمشی می‌شود. برای محصور کردن عضو بتنی لازم است راستای الیاف تا حد امکان عمود بر محور طولی عضو باشد. در این وضعیت، الیاف حلقوی مشابه تنگ‌های بسته یا خاموت‌های مارپیچ فولادی عمل می‌کنند. در محاسبه‌ی مقاومت فشاری محوری عضو باید از سهم الیاف موازی با راستای طولی صرف‌نظر شود.

کشور ایران نیاز بسیار گسترده‌ای به استفاده از کامپوزیت‌ها در قالب آرماتورهای کامپوزیتی دارد. هم اکنون بسیار از سازه‌های بنا شده در محیط‌های خورنده‌ی مناطق مختلف کشور مانند پل‌های دریاچه‌ی ارومیه و یا ساختمان‌های جنوب کشور دچار معضل خوردگی هستند که استفاده از کامپوزیت‌ها می‌تواند پاسخ‌گوی مشکل این قبیل سازه‌ها باشد.



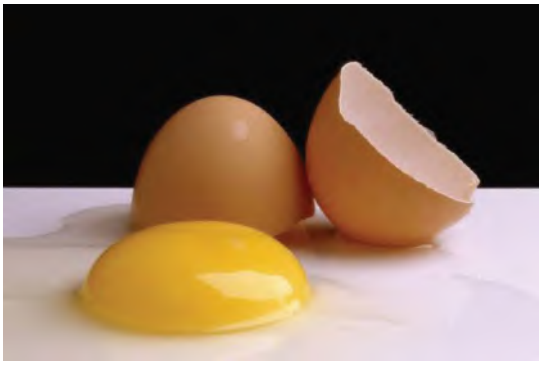


شکل(۹-۲۱): استفاده از الیاف و آرماتورهای *FRP* در بهسازی اعضای سازه‌ای

فصل دهم:
سازه های پوسته ای

مقدمه

پوسته ها یکی از فراوانترین و متنوع ترین انواع فرم ها هستند که هم به صورت طبیعی (همانند جمجمه موجودات، لاک محافظ برخی حیوانات مثل لاک پشت یا حلزون یا تخم پرندگان یا خزندگان) و هم مصنوع دست بشر(انواع سازه های پوسته ای با کاربری های گوناگون مثل انبار ها و سیلوها، سالن های ورزشی، فروشگاه های بزرگ، خانه های مسکونی، سد های قوسی، بدنه هواپیما و کشتی و خودرو و ...) در دنیای فیزیکی اطراف ما قابل مشاهده می باشند. در واقع پوسته ها سطوح هندسی غیر قابل انعطاف و ساخته شده از مواد سخت و محکم هستند که قسمتی از فضا را از بخش دیگر جدا کرده و یکی از عالیترین انواع سازه ها بشمار می روند.



در صنعت ساختمان سازی امروزی، سازه های پوسته ای به سطح منحنی با ضخامت نسبتاً کم و جنس بتن مسلح (در اکثر موارد)، تخته های چند لایی، پلاستیک ها و پلیمرها، اطلاق شده که فضای درون را از فضای بیرون جدا کرده بطوریکه فضای درون هیچ ستونی نداشته و در بیرون نیز شمع یا دیوار پشت بندی موجود نمی باشد.

سازه های ساختمانی پوسته ای معمولاً در شرایطی که بار وارده بر سطح سازه به صورت گسترده و یکنواخت بوده و فرم منحنی مورد نیاز می باشد، بسیار کاربرد دارند .

تاریخچه کاربرد سیستم های سازه ای پوسته ای در صنعت ساختمان سازی

تولد استفاده از سازه های پوسته ای در واقع مقارن و در ارتباط با عصر اختراع بتن در دوران روم باستان می باشد. رومیان در سال ۱۲۵ بعد از میلاد مسیح در ساخت گنبد معبد پانتئون از این سیستم بهره گرفته و گنبدی با پوسته بتنی که در سمت قاعده بعلت مقاومت بیشتر به ضخامت پوسته افزوده می گردید را احداث نمودند و اولین تجربه استفاده از پوسته توسط بشر را به نام خود رقم زدند. بتن استفاده شده در دوران روم باستان بتن سبکی بود که بدلیل مسلح نبودن قابلیت مقاومت در برابر نیروهای کششی وارده به خود را نداشت و همین نکته مهمترین نقطه ضعف سازه های پوسته ای مورد استفاده در دوران معماری باستان می باشد. در دوران معاصر و در سال ۱۸۴۹ بتن با استفاده از میلگرد مسلح گردید و در واقع اختراع بتن مسلح و افزایش مقاومت آن در برابر نیروهای کششی دروازه ای بود به عصر جدید سازه های ساختمانی که از جمله آنها پوسته های بتنی مسلح بودند.

از اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن بیستم با بروز احساس نیاز بشر به کاربری های جدید در معماری مانند سالن های نمایش با سطح وسیع، مراکز خرید جمعی، استودیوم های ورزشی، آشیانه های هواپیما ها و ...و ایده گیری معماران از فرم های طبیعی موجود در جهان مثل پوسته لاک پشت ها، ماهی ها و برگ گیاهان، نمونه های متنوعی از این سازه خلق و احداث گردیدند. معماران معروف و بزرگی همچون آنتون تدسکو (پدر پوسته های نازک بتنی آمریکا)، ادوارد تروجا و فیلیکس کاندلا، از جمله پیشگامان طراحی پوسته ها در دوران معاصر می باشند.

هال ورودی فروشگاه فیشر (آمریکا، آنتون تدسکو، ۱۹۳۴)

میدان اسب دوانی زارزوئلا(اسپانیا ، ادوارد تروجا ، ۱۹۳۵)

کلیسای سانتامونیکا (مکزیک ، فلیکس کاندلا ، ۱۹۶۶)

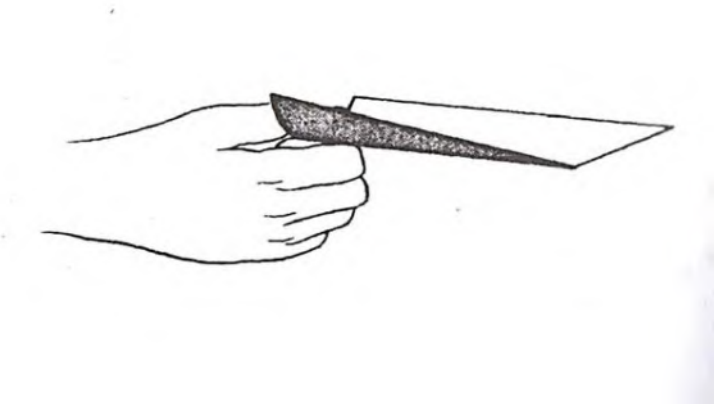
سازه های پوسته ای

در حال حاضر با بهره گیری از تکنولوژی پمپاژ بتن، اجرای پوسته ها در ساختمانهای بلند و مرتفع، به نحو چشمگیری تسهیل یافته و همچنین طراحی، تجزیه و تحلیل سازه های پوسته ای به کمک رایانه ها با درجه دقت بیشتری نسبت به گذشته صورت می گیرد.

رفتار سازه ای پوسته ها

برای درک بهتر رفتار سازه ای پوسته ها، اگر یک ورق کاغذ را بطور عادی در دست بگیریم، خم می شود و حتی توانایی تحمل وزن خود را هم ندارد.

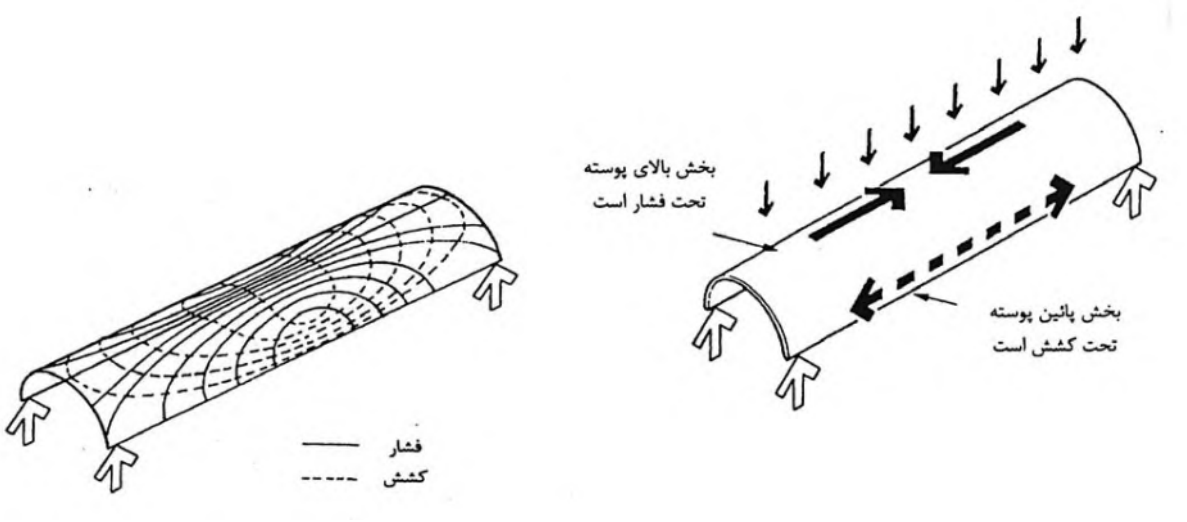
حال اگر قسمت میانی همان کاغذ را کمی فشار دهیم بگونه ای که گوشه های آن اندکی رو به بالا خم شوند، این فرم می تواند علاوه بر وزن خود مقداری بار اضافه را نیز تحمل نماید.



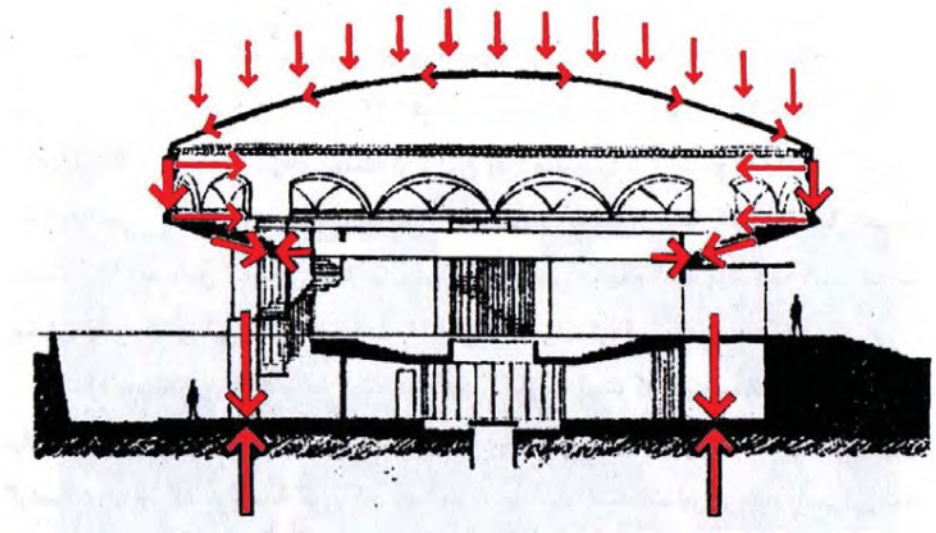
در واقع این افزایش ظرفیت تحمل بار توسط سازه ارتباطی با مقدار مصالح نداشته و فقط به استفاده از فرم مناسب و نوع مصالح مربوط می گردد.

انحراف رو به بالای گوشه ها باعث می گردد که مقداری از نیروی وزن مصالح، دور از محور خنثی جسم قرار گرفته و مقاومت در برابر خم شدن یا مقاومت خمشی بطور قابل ملاحظه ای افزایش یابد.

بطور کلی سازه های پوسته ای در معرض نیروهای فشاری، کششی و برشی قرار دارند که نیرو های فشاری در واقع همان نیرو های وارده به پوسته حاصل از بار مرده وزن پوسته که بصورت گسترده و یکنواخت بر سطح پوسته وارد می شود. نیروهای کششی نیرو های عکس العمل تکیه گاه های سازه پوسته ای و نیرو های برشی نیز از تاثیر نیرو های باد، نیرو های فشاری و نیرو های کششی وارد به سطح پوسته ایجاد شده و بر سازه تأثیر می گذارند.



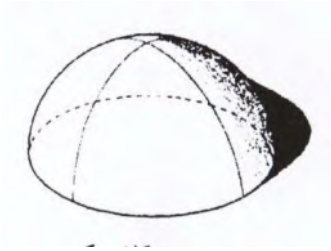
بطور کلی در خصوص رفتار سازه ای پوسته ها می توان گفت که سازه های پوسته ای سازه هایی هستند که با استفاده از فرم و جنس سخت خود (مثل بتن مسلح)، نیرو های کششی، فشاری و برشی وارد بر خود را جذب کرده و به تکیه گاه ها منتقل می نمایند.



پوسته ها به طور معمول بارهای سنگین متمرکز را تحمل نمی کنند مگر آنکه به شکلی خاص در نقطه مورد تمرکز نیرو، مسلح شده باشند. همانطور که پوسته تخم پرندگان نمونه زیبایی از قانون استفاده از حداقل مصالح با حداکثر کارایی جهت حفاظت از جوجه درون آن می باشد بطوریکه اگر از مصالح بیشتر استفاده می گردید شکسته شدن آن توسط جوجه امکان پذیر نمی شد، سازه های پوسته ای مصنوع دست بشر نیز از این قانون پیروی نموده و با داشتن ضخامت کم تا حد زیادی در مقابل تنش های وارده به خود مقاوم می باشند به عنوان نمونه می توان به بناهای گنبدی شکل ایالت فلوریدای آمریکا اشاره نمود که در سال ۲۰۰۵ میلادی پس از برخورد مستقیم گردباد کاترینا توانستند بدون هیچگونه آسیبی پایدار بمانند.

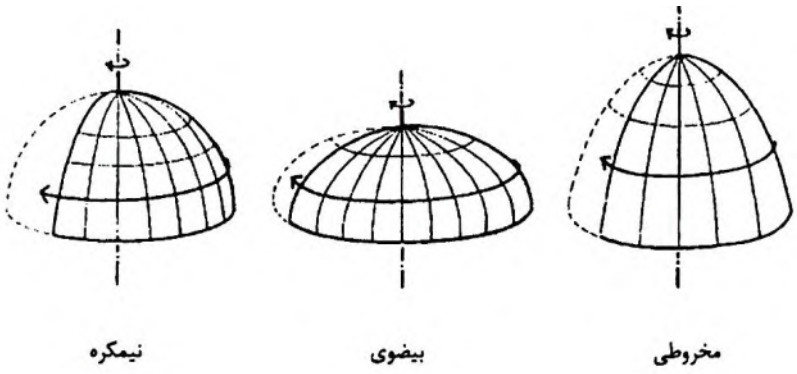
نمونه دیگر گنبد پوسته ای بتن مسلح متعلق به یکی از مساجد کشور عراق بود که در جنگ عراق مورد اصابت یک بمب ۲۳۰۰ کیلویی قرار گرفت و به جز سوراخی که در محل برخورد بمب با پوسته ایجاد گردید ، کل سازه پا بر جا ماند.

انواع سازه های پوسته ای از نظر فرم



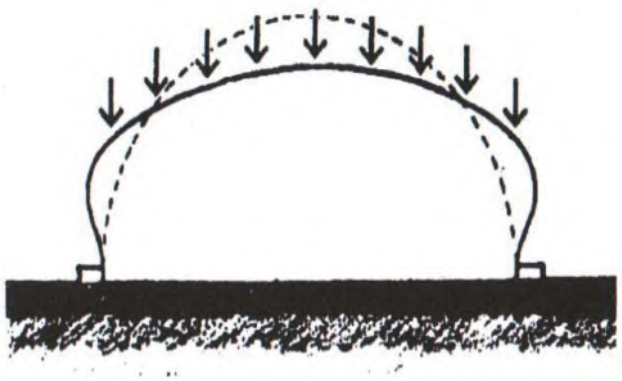
۱- سازه پوسته ای گنبدی

فرم های گنبدی حاصل دوران یک خط منحنی حول یک محور می باشند. گنبد یکی از طبیعی ترین فرم ها نسبت به بقیه می باشد. انواع فرم های گنبدی را می توان بصورت گنبد های نیمکره ای، بیضوی و مخروطی تقسیم بندی نمود.



رفتار سازه ای پوسته های گنبدی

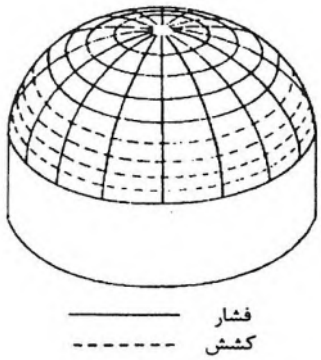
مطابق با نمونه گرافیکی، چنانچه گنبد پوسته ای تحت تأثیر فشار واقع گردد، بخش پایین گنبد تمایل به خمش پیدا می کند. جهت کنترل این خمش در گنبد های پوسته ای ضخامت پوسته و نحوه آرمارتوربندی قسمت های پایینی گنبد با بخش های بالایی متفاوت می باشد.



نحوه قرارگیری گنبد پوسته ای روی تکیه گاهش در چگونگی گسترش نیروهای فشاری و کششی منتشر شده در سطح پوسته تأثیر گذار می باشد.

گستردگی تنش های فشاری و کششی گنبد پوسته ای که روی چهار ستون قرار گرفته است :

گستردگی تنش های فشاری و کششی گنبد پوسته ای که روی تکیه گاه ممتد حول پایه قرار گرفته است :



نمونه هایی از پوسته های گنبدی اجرا شده

سالن سخنرانی کرسگ – ایالت ماساچوست آمریکا – سال ۱۹۵۵ – معمار : سارنین و همکاران

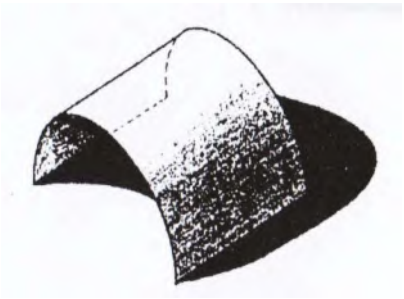
گنبد از نوع پوسته ای بتنی مسلح است که دارای حجم یک هشتم کره بوده و روی سه نقطه ثابت گردیده است. شعاع گنبد ۳۴ متر، ضخامت پوسته بتنی مسلح ۹ سانتیمتر است که در نزدیک تکیه گاه ها بعلت تمرکز تنش ها در آن نقاط به حدود ۵۰ سانتیمتر می رسد، یک لایه فایبرگلاس به ضخامت ۵ سانتیمتر بعنوان عایق حرارتی روی پوسته بتنی به کار رفته است که این ضخامت عایق با استانداردهای امروزی مطابقت ندارد.

استادیوم ورزشی ساندوم (گنبد خورشید) – واشنگتن ۱۹۹۰- شرکت معماری لوف بارو

ارتفاع گنبد از ۱۲ متر در پایین شروع شده و به ۲۵ متر در بالا می رسد – ضخامت پوسته بتنی در پایین ۱۱ سانتیمتر و در بالا ۷.۵ می باشد.

استودیوم ورزشی پالازتو دلو – روم ایتالیا – پیر لوئیجی و آنتونی نروی - ۱۹۵۹ برای المپیک ۱۹۶۰ ایتالیا

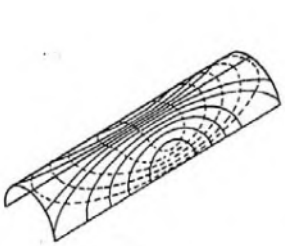
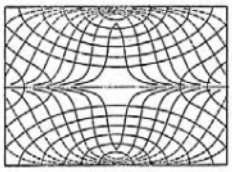
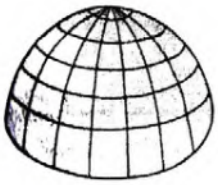
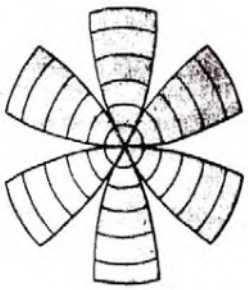
قطر گنبد ۶۰ متر و ارتفاع آن ۲۱ متر می باشد – شکل ستونها همچون انسانی است که یک پایش را جلو و پای دیگر خود را عقب گذاشته و دستانش را برای نگه داشتن سقف به جلو دراز کرده است – پوسته گنبد از بتن مسلح و قالبندی پوسته توسط ۱۶۲۰ تکه قالب بتنی پیش ساخته صورت گرفته و پس از اتمام بتن ریزی گنبد، قالب ها نیز سر جای خودشان محکم شده و ثابت گردیده اند. برای اجرای کامل گنبد فقط ۳۰ روز زمان صرف شده است.



۲- سازه پوسته ای استوانه ای (اشکال قابل توسعه)

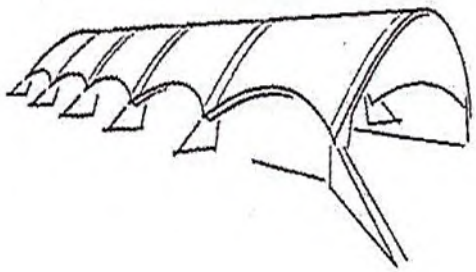
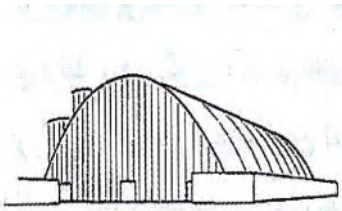
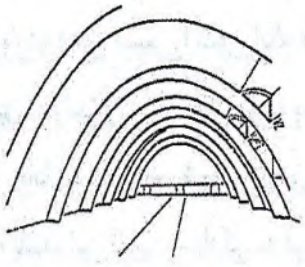
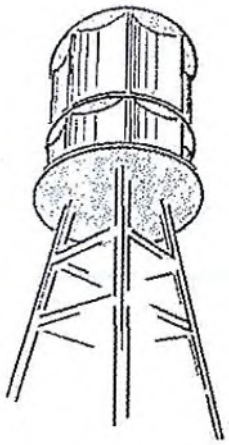
به پوسته های استوانه ای، پوسته های قابل توسعه نیز می گویند. در واقع منظور از قابل توسعه بودن یک حجم یعنی اینکه بتوان بدون ایجاد بریدگی کل سطح هندسی آن حجم را به شکل یک صفحه مستوی در آورد.

بعنوان مثال پوسته های گنبدی غیر قابل توسعه می باشند چون برای تبدیل آنها به شکل صفحه مستوی نیاز به ایجاد برش می باشد.

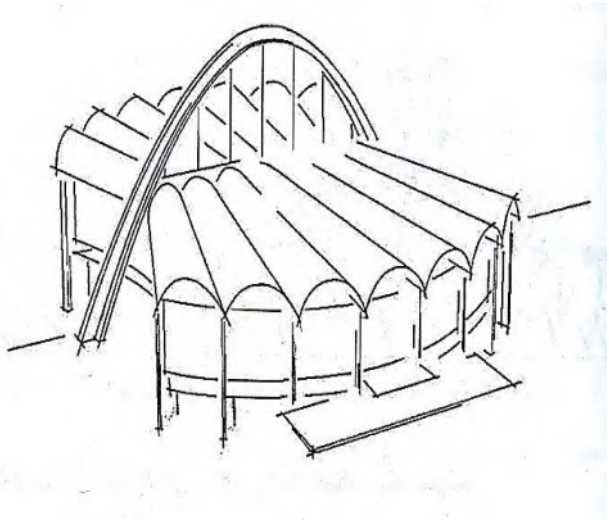





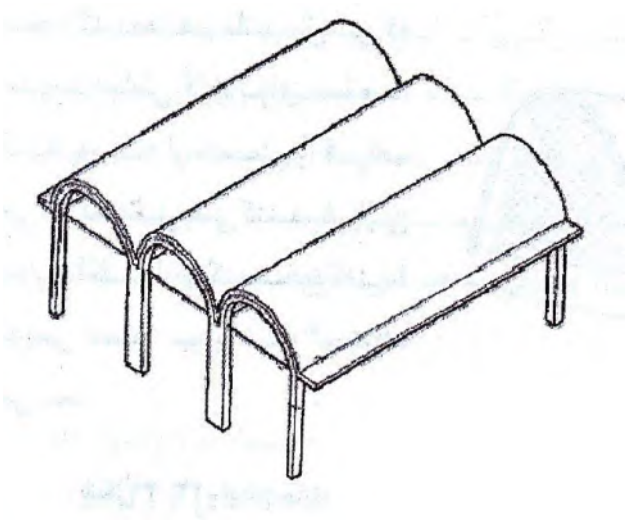
پوسته های استوانه ای معمولاً یا بصورت تکی بعنوان سازه پوسته ای بکار می روند و یا بصورت ترکیبی و جمعی.

نمونه های از پوسته های استوانه ای تکی:

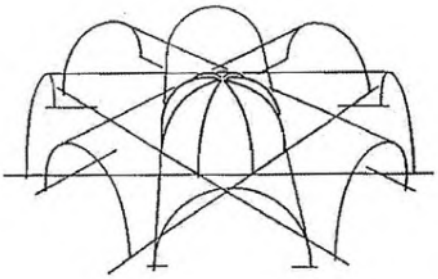





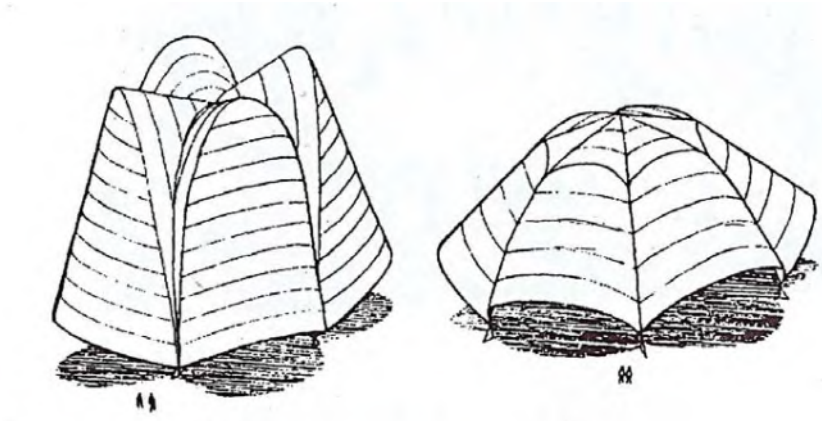
نمونه هایی از پوسته های استوانه ای ترکیبی باد بزنی





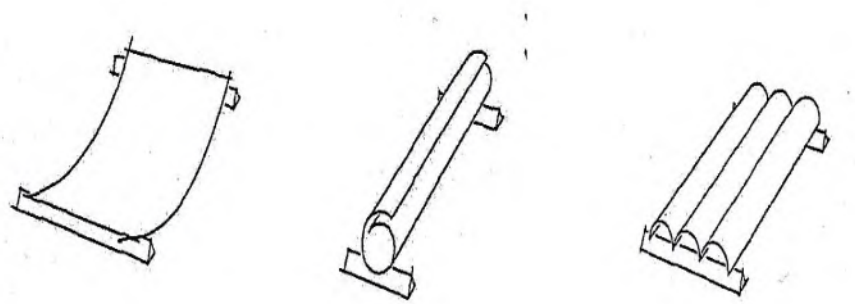
نمونه هایی از پوسته های استوانه ای ترکیبی متقاطع





رفتار سازه ای پوسته های استوانه ای

برای درک رفتار سازه ای پوسته های استوانه ای یک آزمایش ساده پیشنهاد می شود. چنانچه ورق کاغذی را بین ۲ تکیه گاه قرار دهیم مشاهده می شود که کاغذ به طرف پایین خم شده و حتی توان تحمل وزن خود را هم ندارد. حال چنانچه کاغذ را بصورت لوله یا بادبزن در آوریم و روی همان تکیه گاه ها قرار دهیم، کاغذ بصورت پایدار ایستاده و وزن خود را تحمل می کند.



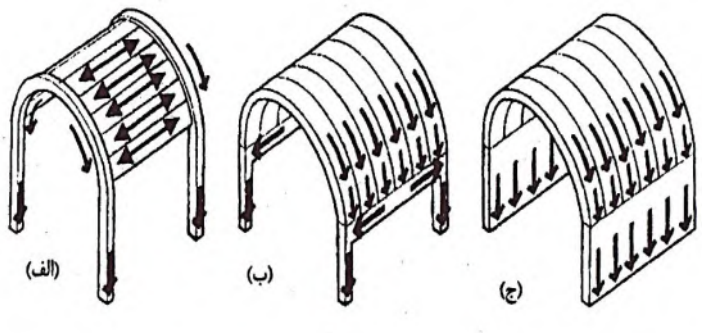
سازه های پوسته ای

نحوه انتقال بار پوسته استوانه ای

حالت الف_ پوسته استوانه در سمت منحنی استوانه بوسیله ستونهای قوسی شکل محدود شده باشند: در این حالت بارها در جهت محور استوانه به ستونها منتقل شده و به طرف زمین دفع می گردند.

حالت ب _ امتداد لبه های افقی استوانه روی تیر باربر قرار گرفته و دو سر تیر روی تکیه گاه باشد: در این حالت بارها در جهت منحنی استوانه به تیر منتقل شده و سپس در امتداد محور تیر به سمت تکیه گاهها هدایت شده و از طریق تکیه گاه ها به طرف زمین دفع می گردند.

حالت ج _ امتداد لبه های افقی استوانه روی تکیه گاه باشد: در این حالت بار پوسته در جهت منحنی استوانه به تکیه گاه منتقل و از طریق زمین دفع می گردند.



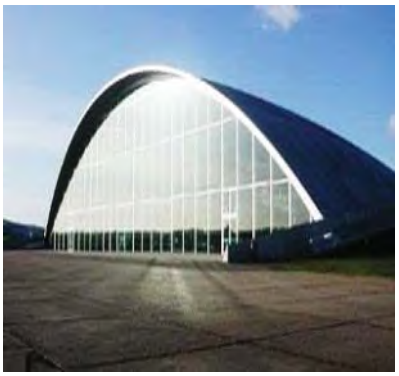
نمونه هایی از پوسته های استوانه ای اجرا شده

موزه هنر کیمبل– ایالت تگزاس آمریکا – ۱۹۷۲– لویی کان

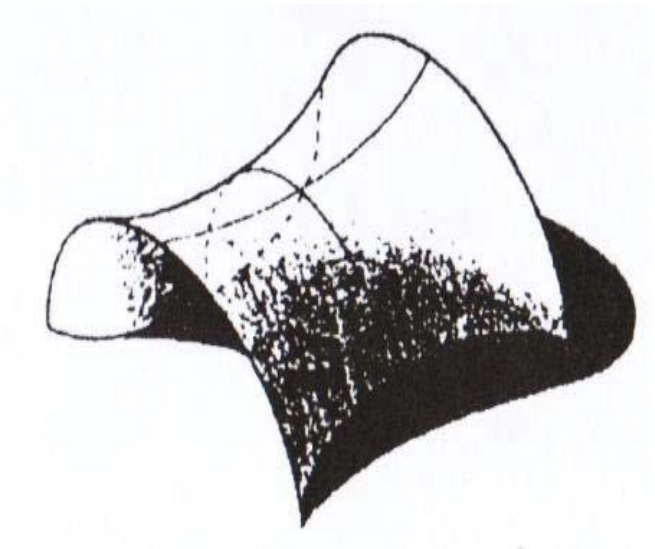
سازه پوسته ای سقف متشکل از ۱۴ پوسته استوانه ای است که جمعاً دهانه ای به ابعاد ۳۰ در ۷ متر را می پوشانند. ۲ عدد از این پوسته ها به شکل سایبان روی پیاده رو قرار گرفته اند، ضخامت پوسته ۱۰ سانتیمتر و پوسته بوسیله ورق مسی بعنوان عایق بام پوشانده شده است.

موزه جنگ داکسفورد – انگلستان ۱۹۹۷ – نورمن فاستر

بزرگترین موزه حمل و نقل هوایی انگلستان می باشد در آن بالغ بر ۲۰۰ هواپیما به نمایش گذاشته شده است. ساختمان موزه متشکل از یک پوسته استوانه ای بتنی است که ۹۰ متر عرض، ۱۰۰ متر طول و ۱۸/۵ متر ارتفاع دارد.



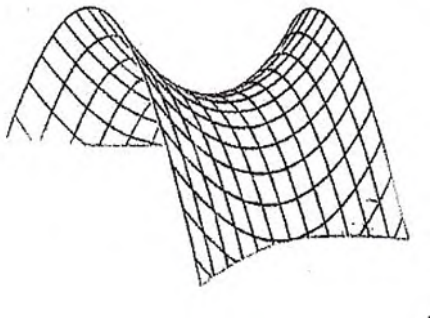
۳- سازه های پوسته ای زین اسبی(اشکال آنتی کلاستیک)



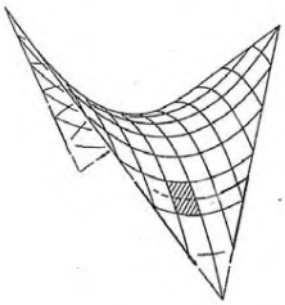
هر گاه یک سطح دارای انحناء، به خط یا سهمی محدود و تمام شود، فرم زین اسبی ایجاد می گردد.

چند نمونه از فرم های زین اسبی

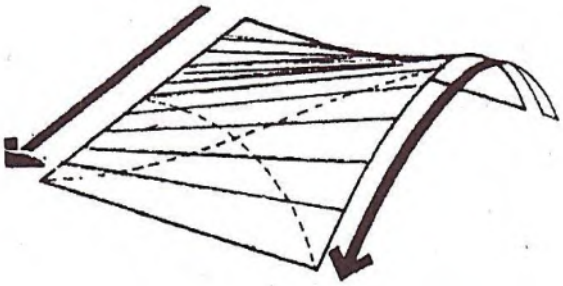
سطح دارای انحناء بین دو سهمی محدود شده



سطح دارای انحناء بین چهار خط محدود شده



سطح دارای انحناء بین یک سهمی و یک خط محدود شده

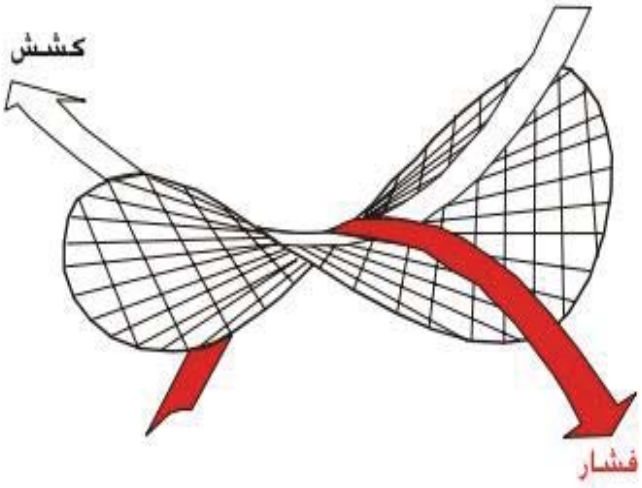


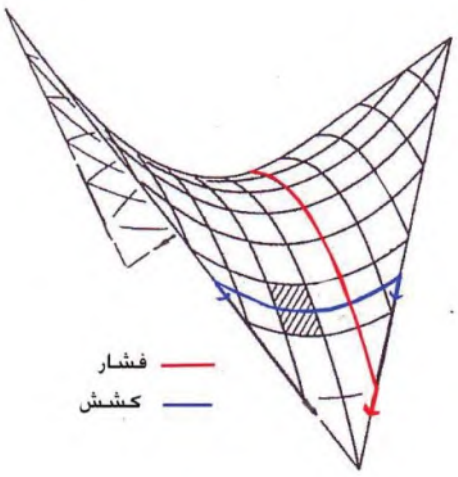
رفتار سازه ای پوسته های زین اسبی

به طور معمول نیروها در پوسته های زین اسبی در جهت انحناء سطح پوسته منتشر می شوند.

نیرو های فشاری در جهت انحناء محدب سطح پوسته منتشر شده و به سمت تکیه گاه ها منتقل می شوند.

نیروهای کششی در جهت انحناء مقعر سطح پوسته منتشر شده و به سمت تکیه گاه ها منتقل می شوند.

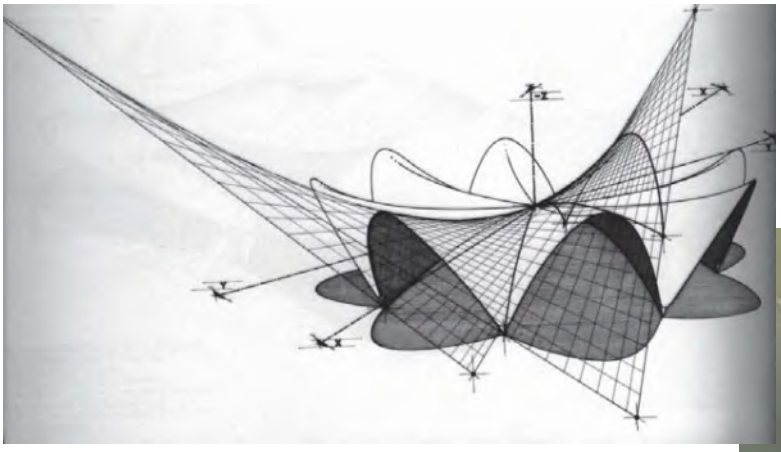


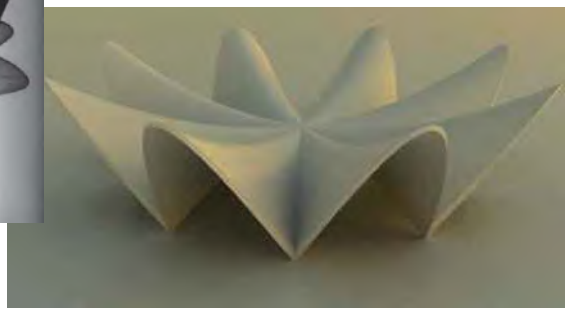


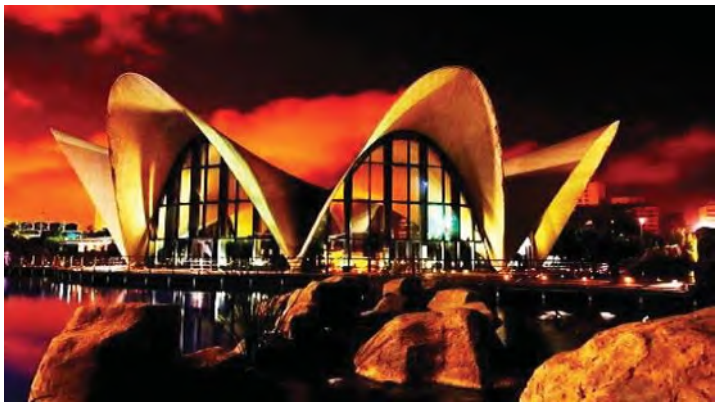
نمونه هایی از پوسته های زین اسبی

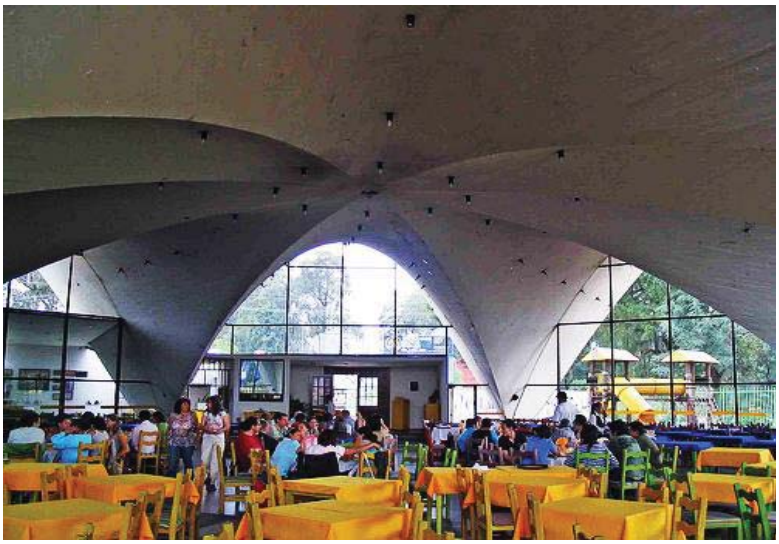
رستوران لس مانانتیالس- ۱۹۵۷ مکزیکوسیتی مکزیک – مهندس معمار: جی اند اف اورناندز - مهندس سازه: فلیکس کاندلا

این سازه پوسته ای از ۸ فرم زین اسبی تشکیل شده که پشت به پشت و کنار هم روی یک پلان دایره به قطر ۴۳ متر قرار گرفته اند و تداعی کننده گلبرگ های یک گل می باشند.









جنس پوسته، بتن مسلح به ضخامت ۵ سانتیمتر و پوسته فاقد تیرهای تقویتی در لبه هاست و از این رو فوق العاده سبک و زیباست. در این سازه پوسته ای نیروهای فشاری به تبعیت از انحناء محدب پوسته در خط القعرها جمع شده و به تکیه گاه ها منتقل می گردند.

عبادتگاه لوماس – ۱۹۵۹ مکزیک –

معمار: گیلرمو – سازه: فلیکس کاندلا

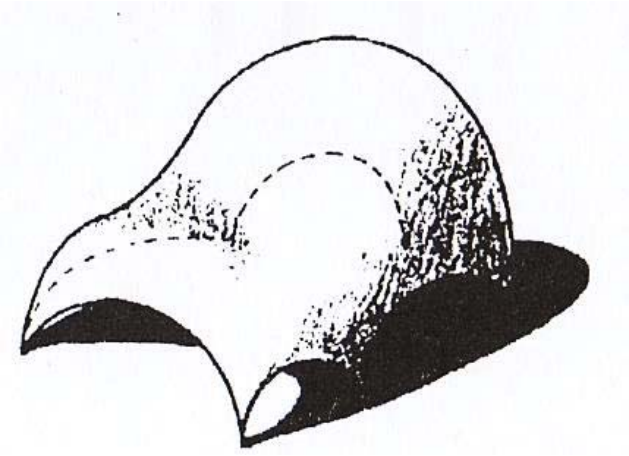
این عبادتگاه بیشتر یک نماد معماری است تا یک نماد مذهبی. در واقع این بنا برای برگزاری مراسم مذهبی کاتولیک شکل گرفته اما هیچگونه المانی از این آیین را در خود ندارد. سازه پوسته ای سقف دارای فرم زین اسبی است که به ۲ طاق سهمی با ارتفاعهای متفاوت محدود می شود. ارتفاع طاق بزرگتر ۲۵ متر و طاق کوچکتر ۱۰ متر می باشد. فاصله ۲ طاق در قاعده ۳۳ متر می باشد. جنس پوسته بتن مسلح به ضخامت ۸ سانتیمتر می باشد.

نمایشگاه و رصد خانه مک دانل– ۱۹۶۳ آمریکا – معمار: هلموت

در این ساختمان از یک پوسته بتنی مسلح فرم زین اسبی بسته (شبه هذلولی) به ضخامت ۷/۵ سانتیمتر استفاده شده است – قطر دایره پایینی ۴۹ متر و دایره بالایی ۱۸ متر می باشد. نمایشگاه و قسمت اداری در پلان دایره پایین و رصد خانه و تجهیزات مربوط به رصد افلاک در سمت دایره بالایی قرار دارد.

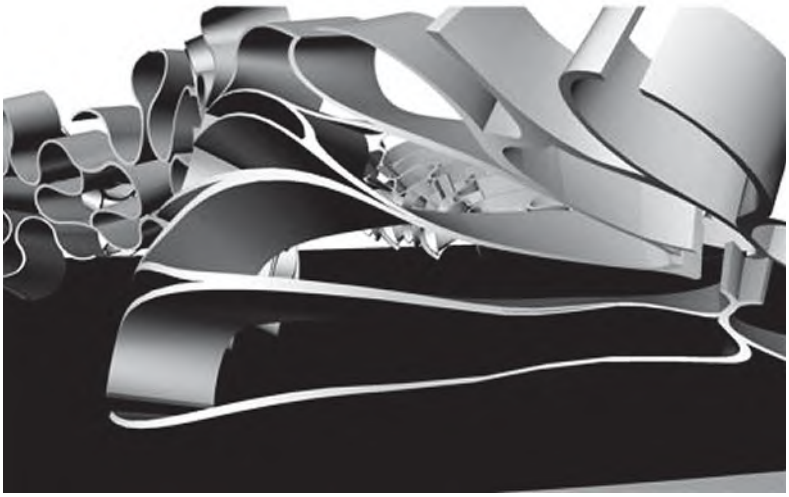
سازه های پوسته ای

۴- سازه پوسته ای نا منظم یا دارای فرم آزاد



طبیعت ذاتی پوسته ها به گونه ایست که طراح را محدود به فرم های خاص هندسی (گنبد، استوانه و ...) نمی کند و امکان ایجاد فرم های آزادتری را فراهم می نماید. بنابراین هرگاه فرم پوسته ای از اجبار هندسی رها شود پوسته های نا منظم یا دارای فرم آزاد خلق می گردند.

نمونه هایی از رها شدن ذهن طراح از اجبار هندسی :



سازه های پوسته ای

- البته فرم آزاد به معنی رهایی از قوانین هندسی نیست چون اصول هندسی در تمامی فرمها حتی آزاد ترین فرم ها نیز دیده می شود.
- سازه های پوسته ای دارای فرم آزاد در واقع ترکیبی از فرم های خاص مثل کره، استوانه، مخروط، هذلولی و ... می باشند که رفتار سازه ای این ترکیب به صورت مجموعه ای از رفتارهای سازه ای فرم های مورد استفاده بوده که در نهایت منجر به پایداری کل فرم می گردد.
- در اکثر موارد سازه های پوسته ای فرم آزاد، دارای فرمی تندیس گونه می باشند.

نمونه هایی ازسازه های پوسته های نا منظم (فرم آزاد) اجرا شده

سالن فرودگاه TWA– ۱۹۶۲ نیویورک آمریکا

– مهندس معمار: سارینن

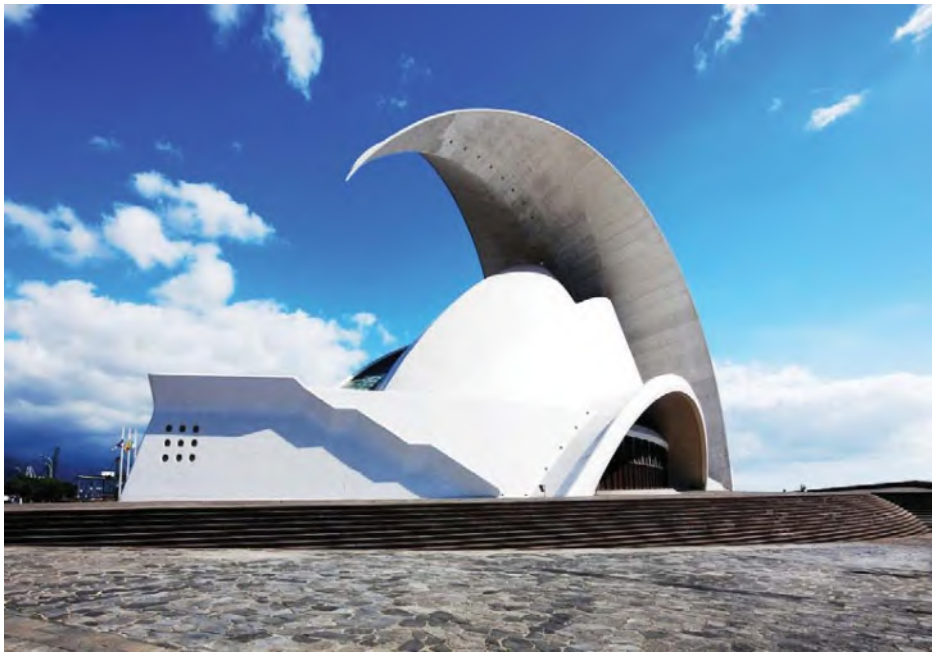
فرم سازه این بنا از عقاب در حال نشستن انتزاع شده. در این بنا از سیستم سازه ای پوسته بتنی با فرم آزاد استفاده شده است. سازه از ترکیب ۴ پوسته بتنی که روی ۴ ستون Y شکل قرار گرفته اند، تشکیل شده است. ضخامت پوسته از ۲۲ سانتیمتر در نزدیک تیرهای کناری تا ۱ متر در نزدیک اتصال به ستون ها متغیر است.

سازه های پوسته ای

سالن اپرای سیدنی – ۱۹۷۳ سیدنی استرالیا – معمار : اوتزن

فرم سازه سقف این بنا از صدف های باز شده بندر سیدنی انتزاع شده است. در این بنا از سیستم سازه ای پوسته بتنی با فرم آزاد استفاده شده. سازه تشکیل شده از ترکیب قطاع های بریده شده از کره که ارتفاع بلندترین آنها ۶۰ متر می باشد.

سالن کنسرت تنریف– ۲۰۰۳ جزایر قناری اسپانیا – معمار : کالاتراوا



سیستم سازه ای، پوسته بتنی با فرم آزاد مهمترین ویژگی این بنا می باشد. فرم از امواج اقیانوس اطلس انتزاع گشته است. ضخامت پوسته از ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر متغیر می باشد. در کل ۲۰۰۰ تن بتن برای ساخت این سازه پوسته ای استفاده شده است.

سر در دانشگاه تهران – ۱۳۴۸ هجری شمسی – ایران تهران – معمار: کورش فرزامی

نمونه ای برجسته از ساختمانهای پوسته ای و بهره گیری از فرم آزاد، سر در بزرگترین و مهم ترین دانشگاه کشور می باشد که تداعی کننده مفهوم آموزش عالی است.

نمونه استفاده شده در کشور

از نظر نماد شناسی در خصوص این اثر ۲ دیدگاه وجود دارد. دیدگاه اول فرم را انتزاع شده از کتابی باز و دیدگاه دوم انتزاع شده از دو بال پرنده در هنگام بلند شدن و پرواز کردن (پرواز و صعود به مدارج بالا تر) می داند. جنس پوسته، بتن مسلح به ضخامت متغیر ۱۰ سانتیمتر در بالا و ۳۰ سانتیمتر در پایین و نزدیک تکیه گاه ها می باشد.

نحوه اجرای سازه های پوسته ای

سازه های پوسته ای بر اساس میزان انحناء و فرم خود و همچنین میزان بار وارده بر آنها به ۲ روش قابل اجرا هستند البته مواردی همچون خوش تراش بودن و سیمای ظاهری سازه و همچنین مسائل اقتصادی و مدیریت هزینه ها نیز در انتخاب روش اجرای سازه های پوسته ای تأثیر گذار می باشند .

- **روش اول: اجرا بدون قالب بندی**
- **روش دوم: اجرا توسط قالب بندی**

سازه های پوسته ای

روش اجرایی سازه های پوسته ای بدون قالب بندی

- **این روش در مواردی که فرم پوسته دارای انحنای یکنواخت بوده و ارتفاع سازه کم می باشد و همچنین سطح تمام شده بتنی سازه از لحاظ میزان یکنواختی اهمیت نداشته و با مصالح پوششی در مراحل بعدی پنهان می گردد، کاربرد دارد.**
- **در این روش ابتدا شبکه میلگردها مطابق با فرم سازه استوار و محکم می گردد سپس یا بوسیله پمپ های پاششی و یا بوسیله دست و ماله کشی بتن به درون شبکه تزریق می گردد. در نهایت با استفاده از مصالح پوششی مناسب سطح پوسته پوشانده می گردد.**

بستن شبکه میلگردها

اتمام اجرای شبکه میلگردها

مرحله پاشیدن بتن

اتمام مرحله بتن پاشی

نمونه استفاده شده در کشور

ساخت میدان انار در شهرستان ساوه

روش اجرایی سازه های پوسته ای توسط قالب بندی

- این روش برای سازه هایی که دارای انحناء مضاعف و مرتفع می باشند و همچنین بار وارده و تنش های سطح سازه زیاد می باشد کاربرد دارد. مهمترین، سخت ترین و پر هزینه ترین مرحله در این روش، همان مرحله قالب بندی می باشد.
- در این روش ابتدا توسط قالب های چوبی، پلاستیکی، ورق آهنی قابل انحناء، بادی و خاکی، سطحی مشابه سطح پوسته ایجاد می نمایند، سپس شبکه آرماتورها روی سطح مذکور بسته شده و در نهایت مرحله بتن ریزی صورت می گیرد.

سازه های پوسته ای

- مهمترین نکته در این روش نفوذ بتن به داخل شبکه میلگرد می باشد که با استفاده از آب یا افزودنی های روان کننده بتن میزان درصد روانی بتن را زیاد کرده و در نهایت پس از اتمام بتن ریزی از طریق دریچه های تعبیه شده درون قالب ها آب اضافی را خارج می نمایند.
- همچنین با توجه به ضخامت کم پوسته های بتنی و فشردگی شبکه میلگردها امکان استفاده از ویبراتور برای یکنواخت نمودن بتن میسر نمی باشد که جهت حل این مشکل توسط چکش های لرزاننده با وارد آوردن ضرباتی به سطح قالبها عمل یکنواختی پخش بتن در درون قالب ها را انجام می دهند.

a

b

سازه های پوسته ای

نحوه قالب بندی عبادتگاه لوماس

قالب بندی با استفاده از سطوح پلاستیکی

قالب بندی با استفاده از ورقهای آهنی قابل انعطاف

نمونه ای از قالب های بادی

محاسن سازه های پوسته ای

1. پوشاندن سطوح وسیع با حداقل تکیه گاه ها و ستون ها
2. عدم محدودیت طراح در طراحی فرم های منحنی، پیچیده و منحصر به فرد
3. ضخامت کم و سبکی سازه
4. صرف زمان کم در مرحله بتن ریزی کل پوسته (بعد از قالب بندی)
5. مقاومت خوب در برابر بارهای گسترده یکنواخت بدلیل شکل منحنی
6. استفاده از سطح بتن تمام شده بعنوان نمای داخل یا خارج و صرفه جویی در استفاده از مصالح
7. هزینه تعمیر و نگهداری کم

معایب سازه های پوسته ای

1. دشواری و سختی مرحله قالب بندی و ایجاد سطح مشابه پوسته
2. هزینه زیاد مرحله قالب بندی
3. صرف زمان زیاد برای مرحله قالب بندی
4. مقاومت کم در برابر بارهای متمرکز و خمش های ناحیه ای

فصل یازدهم:

ساختمانهای بتن مسلح با عایق ماندگار *(ICF)*

Insulating Concrete Forms

معرفی کلی سیستم

مقدمه

- در کشورهای پیشرفته سالهاست که مسائل مربوط به دوام مصالح، سرعت اجرا، کاهش پرت مصالح، جلوگیری از اتلاف انرژی و مقاوم بودن ساختمانها در برابر سوانح طبیعی، مورد توجه و تحقیق دائم قرارگرفته که منجر به نوآوری ها و تکنیک های مدرن در زمینه صنعت ساختمان شده است.
- از جدیدترین سیستم های فوق الذکر، استفاده از ترکیب بتن آرمه به عنوان عضو باربر و پانل های پلی استایرن *EPS* به عنوان قالب بتن و عایق حرارتی می باشند که با نام سیستم های بتنی (*Insulationg Concrete FormWork – (ICF* معروف گشته اند.

۱-۱-۴-۱۱ هدف

هدف از تدوین این فصل از مبحث، ارائه ضوابط و روش‌های اجرای سیستم ساختمانی دیوار باربر بتن مسلح با قالب‌های عایق ماندگار است.

سیستم بتن مسلح با عایق ماندگار *(ICF)*: دیوارهایی پرشونده با بتن هستند که قالب دیوارها دائمی بوده و بعد از بتن ریزی به عنوان جزئی از دیوار محسوب شده و بصورت **عایق حرارتی و صوتی** عمل می‌کند.

در این سیستم، قالب های دیوار بتنی با امکان میلگرد بندی به میزان مورد نیاز و با ضخامت مورد نظر از ۱۵۰ تا ۵۰۰ میلیمتر و بیشتر برای دیوارها قابل تولید هستند. این سیستم به عنوان یک فنآوری مناسب در صنعت ساختمان به طور محدود مورد استفاده قرار گرفت و به دلیل مزایای بسیار از نظر معماری و ساختمان به سرعت در سراسر جهان گسترش یافت.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

۱۱-۴-۱-۲ دامنه کاربرد

کاربرد این بخش از مبحث مربوط به اجرای سیستم ساختمانی دیوار باربر بتن مسلح با قالب‌های عایق ماندگار بلوکی یا پانلی می‌باشد.

تاریخچه

این سیستم در دهه ۱۹۵۰-۱۹۶۰ توسط کمپانی *Lastedil* دراروپا ابداع شد. از این روش تا کنون در بسیاری از کشورهای دنیا از جمله آلمان، ایتالیا، ترکیه، کانادا، آمریکا، امارات متحده، بحرین، عربستان، روسیه و ایرلند به صورت گسترده استفاده گردیده است.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

اجرای دیوارهای بتن مسلح با قالب عایق ماندگار بتنی *ICF* و نواع آن

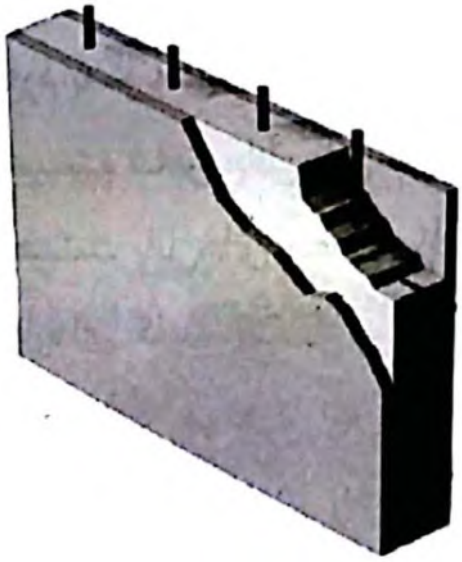
با توجه به اشکال متفاوت لایه‌های پلی‌استایرن و طرق مختلف برای بتن‌ریزی مابین آنها، سه سیستم برای اجرای دیوار مسلح ICF وجود دارد:

الف- سیستم مسطح

ب- سیستم دوطرفه

ج-سیستم مشبک

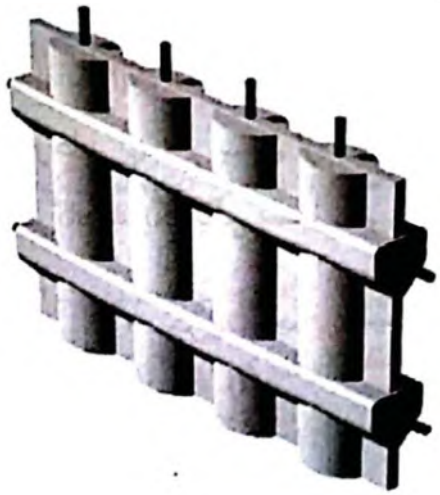
الف- سیستم مسطح[1]



این سیستم از یک هستهٔ بتنی با ضخامت یکسان بتن در سراسر دیوار مسلح و قالب در دوطرف تشکیل شده و شبیه دیوار بتنی معمولی است. این سیستم در مناطق زلزله‌خیز و یا مناطقی با شرایط آب و هوایی سخت مناسب‌تر از دو سیستم دیگر است.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

ب- سیستم دوطرفه[2]



در این مدل که با اتصال تیرهای افقی وستون‌ها با الگویی شبکه‌ای اجرا می‌شود، ضخامت بتن در نقاط مختلف دیوار متفاوت است و برای افزایش ضخامت دیوار ضخامت بتن در قسمت‌هایی که به‌صورت برجسته اجرا می‌شود، افرایش پیدا می‌کند.

ج-سیستم مشبک[1]

در این سیستم ستون‌های عمودی و تیرهای افقی اجزای دیوار بتنی را شکل می‌دهند و فضای بین آنها با عایق پر می‌شود. رفتار سازه‌ای این سیستم پربازده‌تر از دو نوع دیگر است، اما اجرای آن مشکل‌تر بوده و مقاومت آن دربرابر آتش سوزی کمتر است.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

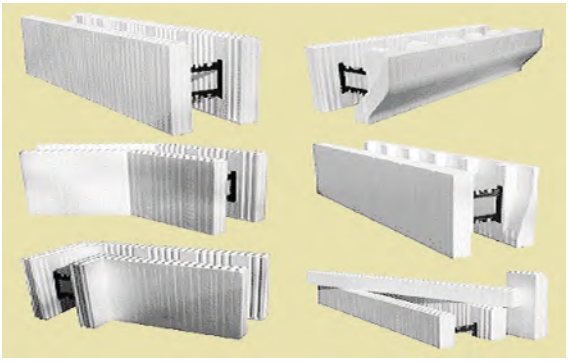
انواع قالب ها از نظر شکل هندسی

قالب‌های عایق ماندگار دیوار بتنی از لحاظ شکل ظاهری به سه دسته تقسیم می‌شوند:

1. **بلوکی**
2. **تخته ای**
3. **پانلی**

۱- بلوکی

این قطعات دارای ابعاد کوچکی هستند و معمولا برای دیوارهای داخلی بکار رفته و با داشتن برآمدگی و فرو رفتگی در هم چفت می شوند.



سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

۲- تخته ای

عایق تخته ای مثل عایق پانلی است ولی در مونتاژ و نحوه نصب با هم اختلاف دارند.

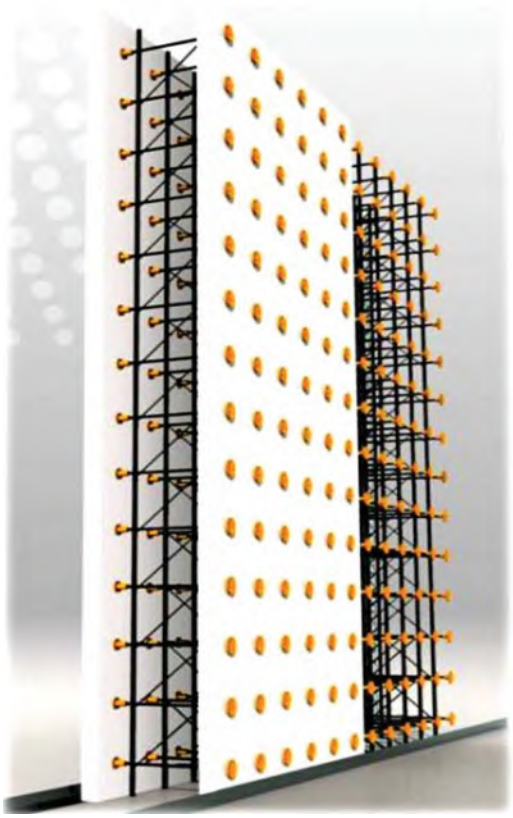
این عایق ها به وسیله بست به یکدیگر متصل می شوند.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

۱۱-۴-۱-۲-۱ اتصال پانل‌ها به یکدیگر بصورت عمودی یا افقی مجاز می باشد.

۱۱-۴-۱-۲-۲ ضخامت جداره‌ها و فاصله‌ی دو عایق از یکدیگر باید بر اساس نیازهای سازه‌ای و حرارتی تعیین گردد.

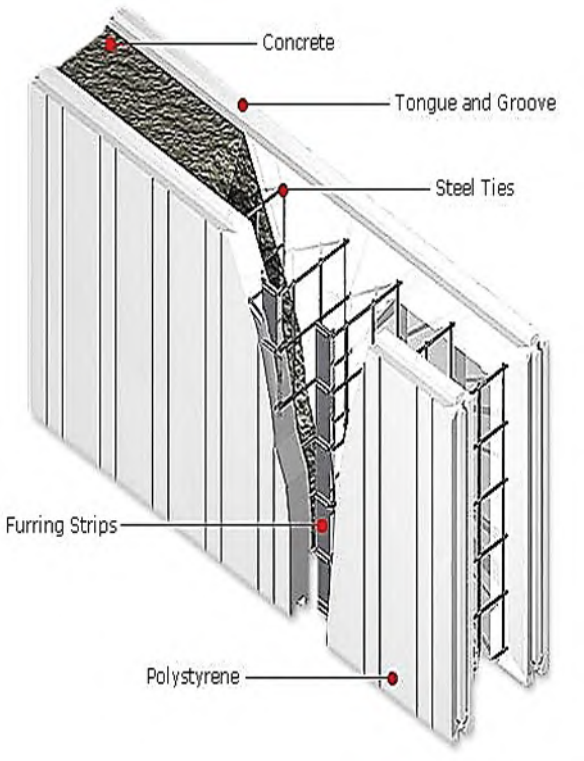
۱۱-۴-۱-۲-۳ برای ثابت نگاه داشتن فاصله دو عایق و تامین ضخامت هسته بتنی، بلوک‌ها و پانل‌ها باید با استفاده از اتصالاتی از جنس پلاستیک یا فولاد به یکدیگر متصل شوند.

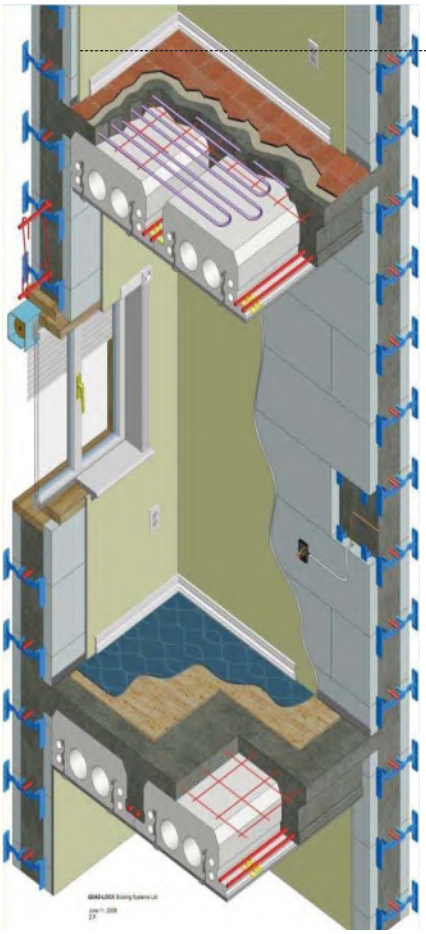


۳- پانلی

در این عایق ها قطعات بزرگ هستند و بین آنها از بتن پر می شود که دارای سطح صاف هستند و برای نگهداری آنها به بست های نگهدارنده احتیاج است.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار





اجزای سیستم سازه ای باربر

1. دیوار باربر
2. دیوار جدا کننده
3. پانل سقفی

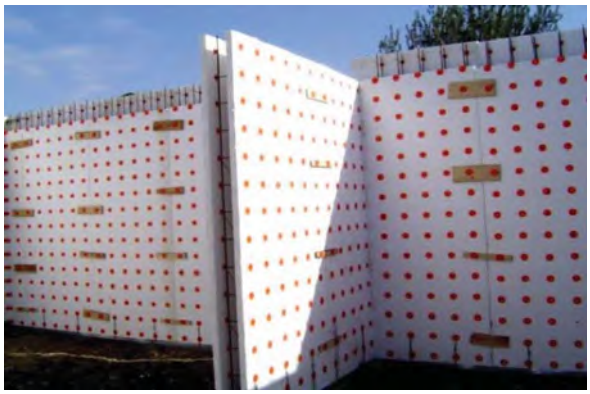
✓ پانل های سقفی وظیفه تحمل بارهای کف و انتقال آن به دیوارهای باربر را بر عهده دارند و پانل های دیوار به دو صورت باربر و غیر باربر تقسیم می شوند.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

دیوار باربر

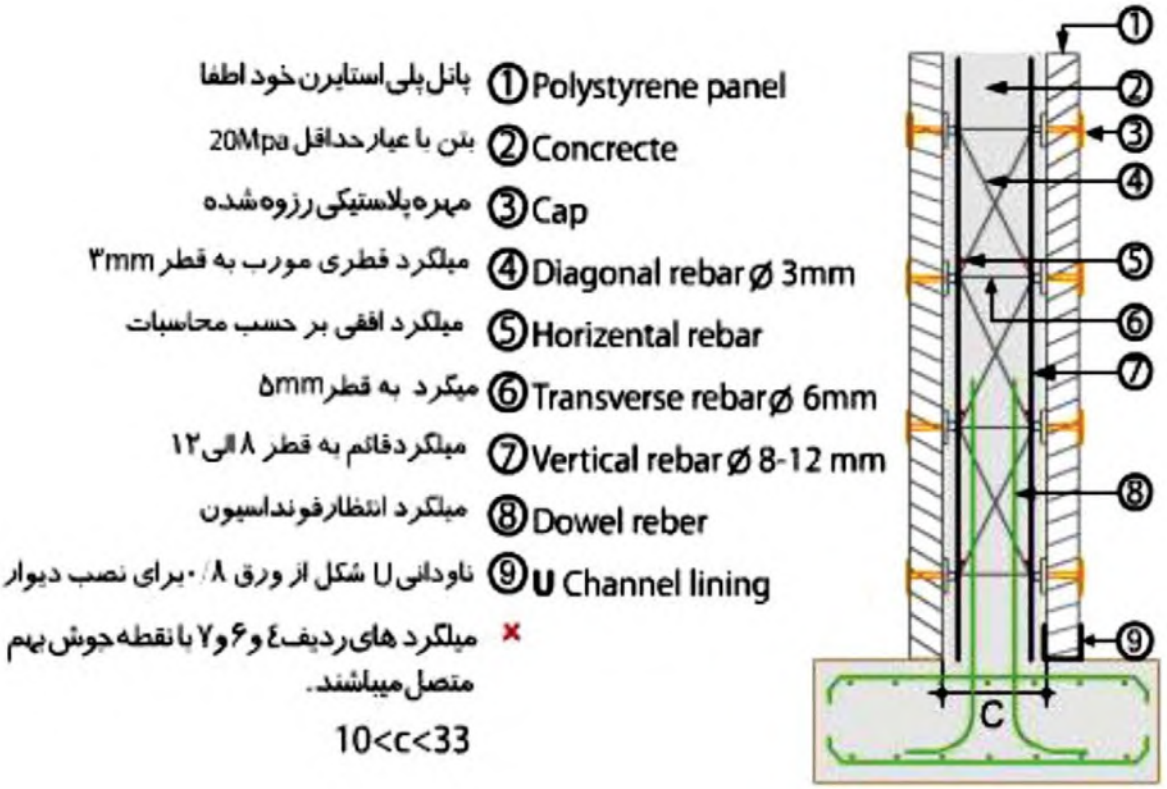
دیوارهای اصلی و باربر، از دو لایه PS پلی استایرن به ضخامت $5cm$ در طرف داخلی و ضخامت متغیر از ۵ سانتی متر به بالا در لایه بیرونی تشکیل شده است.

❖ این دولایه توسط پیچ های دو سر رزوه به قطر *5mm* در فواصل *20cm* به هم متصل می شوند. پیچ ها در کارخانه با جوش نقطه ای به میلگردهای قائم وصل و توسط مهره های پلاستیکی به پانل های پلی استایرن محکم می شوند. وظیفه پیچ ها، نگهداری پانل های طرفین، تحمل بار ناشی از بتن ریزی بوده و به عنوان تکیه گاه میلگردهای افقی و قائم دیوار عمل می کنند، ضمن آنکه مقاومت زیادی در برابر کمانش دیوار در جهت عمود بر صفحه دیوار فراهم می کنند.



❖ فاصله بین دو پانل با تغییر طول پیچ ها تا *30cm* قابل افزایش است.

❖ قطر میلگرد قائم *8* تا *12* سانتیمتر است.

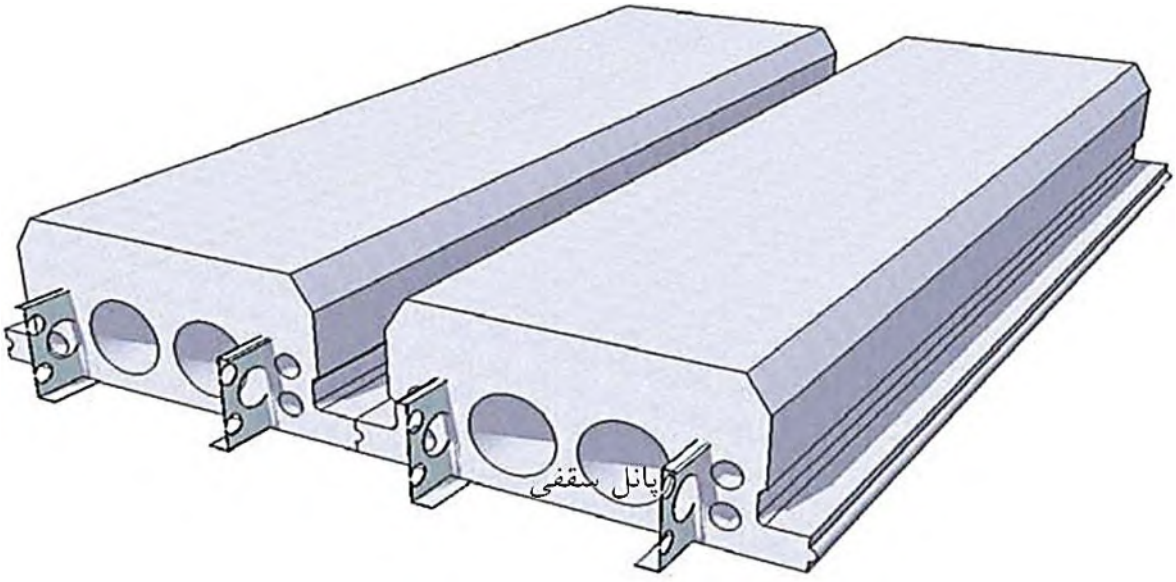


دیوار جدا کننده

- دیوارهای غیر باربر در این سیستم از جنس پلی استایرن با عرض *60 cm* و ضخامت *6* تا *20* سانتیمتر در طول دلخواه تولید می شوند.
- در داخل هر بخش دیوار ۲ عدد پروفیل از ورق خم شده که دارای سوراخهایی نیز هست کار گذاشته شده است که در ارتفاع دیوار ادامه دارد و ضمن فراهم نمودن پایداری لازم، اتصال مکانیکی دیوار جدا کننده به سقف کف را امکانپذیر می سازد.
- لوله های برق و تاسیسات نیز به سادگی از داخل مقطع پروفیل سوراخهای دیوار جدا کننده قابل عبورند.

پانل سقفی

پانل سقفی به عرض *60 cm* و ضخامت *16* تا *32* سانتیمتر و طول دلخواه تولید می شود که در زیر این قطعات ۲ عدد پروفیل از ورق گالوانیزه ناودانی *Z* وجود دارد.



- **این پروفیل ها تحمل بار لازم در هنگام نصب را تامین می کند و در مرحله نازک کاری می تواند تکیه گاه پانل های گچی باشد.**
- **لبه های پایینی مقطع به صورت فاق و زبانه با پانل مجاور در هم چفت می شوند و در بالا فضای لازم برای میلگرد گذاری به صورت متداول فراهم می شود.**

۱۱-۴-۱-۳-۱ سیستم ساختمانی ICF بعنوان سیستم سازه‌ای دیوار باربر با دیوارهای برشی بتنی مسلح محسوب می شود. هرگونه محدودیت کاربرد برای این سیستم با توجه به مشخصات هندسی، میلگرد گذاری دیوارها و مشخصات مصالح باید مطابق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران و مبحث نهم مقررات ملّی ساختمان باشد.

۱۱-۴-۱-۳-۲ حداقل ضخامت دیواره‌های بتنی نباید از ۱۵۰ میلی متر کمتر باشد.

۱۱-۴-۱-۳-۳ در مسیر انتقال بار توسط دیوارهای باربر هیچ گونه انقطاعی نباید وجود داشته باشد.

۱۱-۴-۲-۱-۲ اسلامپ بتن مصرفی در دیوارهای بتن مسلح با قالب‌های عایق ماندگار باید بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.

۱۱-۴-۲-۱-۳ اندازه بزرگترین سنگدانه مصرفی در بتن دیوارهای بتن مسلح با قالب‌های عایق ماندگار نباید بیش از ۲۰ میلیمتر باشد.

۱۱-۴-۲-۱-۴ بتن مورد استفاده در دیوارهای بتن مسلح با قالب‌های عایق ماندگار باید حداقل از رده C20 مطابق ضوابط مبحث نهم مقررات ملّی ساختمان باشد.

۱۱-۴-۶-۴ حداقل ضخامت پوشش نمای مورد نیاز برای سیستم ساختمانی ICF باید به گونه‌ای باشد که تا ۱۵ دقیقه بعد از آتش‌سوزی، دمای عایق کمتر از ۱۲۰ درجه سلسیوس باشد ولی در هر حال ضخامت نباید کمتر از ۱۵میلی‌متر در نظر گرفته شود.

۱۱-۴-۸-۳ تمام بازشوها با عرض بیش از ۶۰۰ میلی متر احتیاج به نعل‌درگاه دارند. نعل درگاه را می‌توان با تعبیه میلگردهای اضافی افقی و خاموت به شکل سنجاق در داخل دیوار اجرا کرد.

۱۱-۴-۸-۴ تمام بازشوها با عرض بیش از ۶۰۰ میلی‌متر علاوه بر نعل‌درگاه در بالا، احتیاج به میلگردگذاری اضافی در ۳ طرف دیگر دارند.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

ویژگی های سیستم

- امکان ترکیب با سایر سیستم ها
- امکان اجرای سریع
- سهولت نازک کاری
- امکان اجرا در فصول مختلف سال
- انعطاف در ابعاد و اندازه
- سهولت جابجایی و انبار
- عدم نیاز به قالب بندی بتن
- عدم نیاز به مواد جدا کننده
- قابلیت اجرا در مناطق آسیب دیده
- قابلیت اجرا در طبقات مختلف با امکان قرار دادن میلگرد اضافی در دیوار و سقف

- پیش ساخته بودن قالب ها مطابق استانداردهای لازم
- توانایی تحویل سفت کاری حداقل دویست تا پانصد متر مربع بنا ، ظرف ۲۰روز کاری توسط یک گروه کاری پنج نفره
- اجرای انواع مصالح در نمای داخلی و خارجی ساختمان
- ایجاد فضای بیشتر با قرارگیری مناسب دیوارها
- نصب سریع درب ها ، پنجرها ، سیم کشی و لوله کشی
- صرفه جویی اقتصادی در زمان و بهره وری بیشتر
- نصب آسان بدون احتیاج به ماشین های سنگین
- ساختار ضد زلزله برای ساختمان

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

- عدم محدودیت طراحی
- ساختار سیستماتیک یک پارچه سازی ساختمان
- ذخیره انرژی و جلوگیری از نفوذ سرما و گرما
- عدم وجود ضررهای اکولوژی در مراحل تولید
- اتصال سریع قطعات

ویژگی های معماری سازه ICF

- قابلیت برش و تغییر فرم قالب
- ساخت زاویه های مختلف
- دیوارهای منحنی
- طاق و پیش آمدگی
- امکان ایجاد بازشو با ابعاد خواسته شده در دیوار و سقف

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

نحوه اجرا ICF

کرسی چینی و اجرای فنداسیون (نواری)

فنداسیون را می شود هم روی زمین و هم درداخل زمین متناسب با وزن ساختمان اجرا کرد

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

بتن ریزی فنداسیون

جاگذاری میلگردهای انتظار

فنداسیون آماده جهت اجرای انواع قالبهای ماندگار

نمونه اجرای قالبهای بلوکی

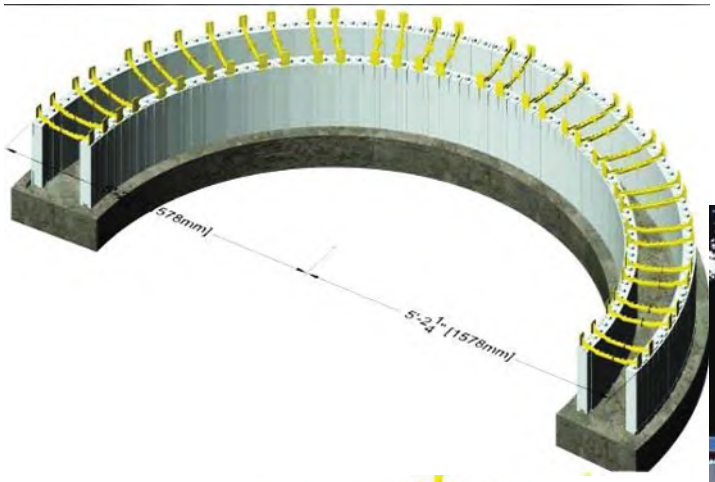
سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

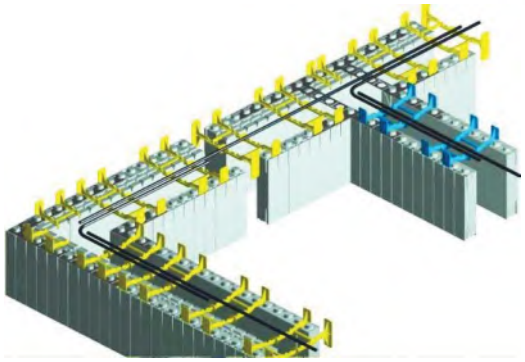
اجرای ناودانی

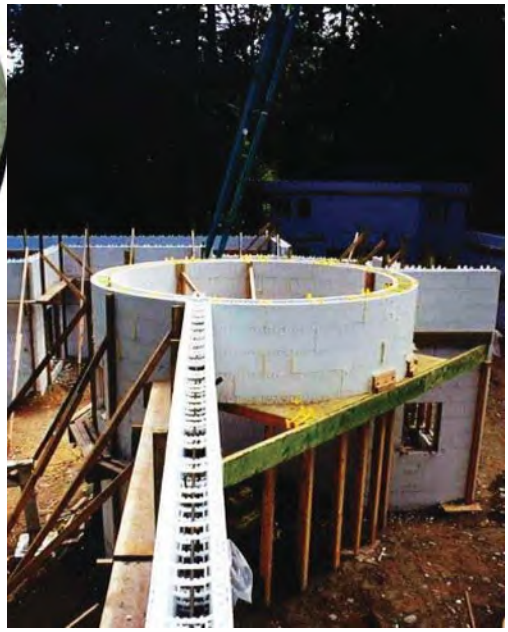
قبل از اجرای انواع قالب ها لازم است سطح شروع کار با ناودانی تراز گردد.

عدم محدودیت در پلان

دراین سیستم اجرای تمام پلان ها میسر است





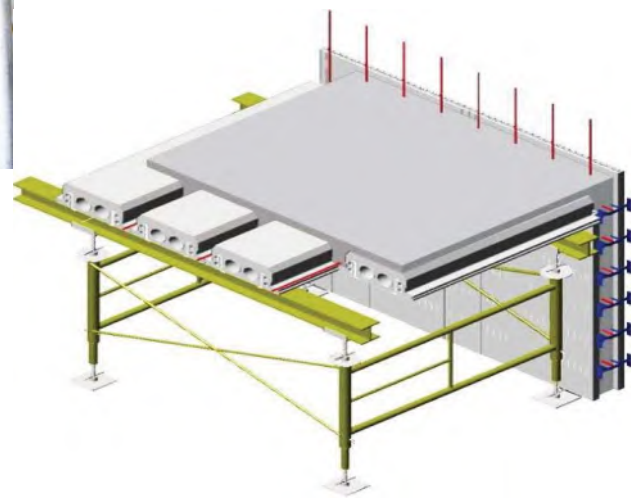


باز شوها

جا نمایی تاسیسات

مهار بندی جهت بتن ریزی

نمونه جکهای زیر سقفی



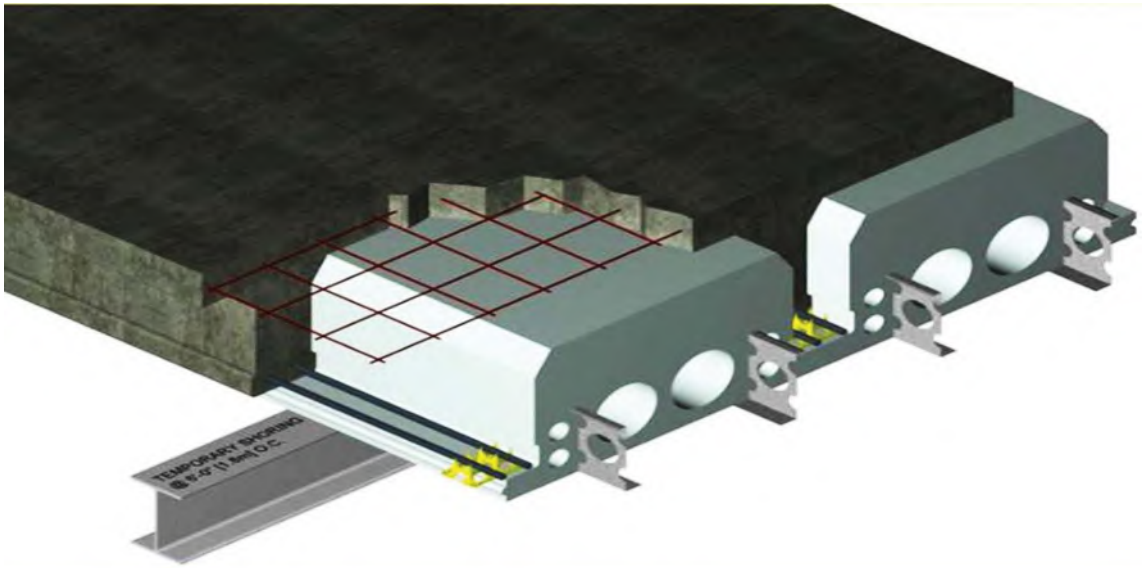
بتن ریزی

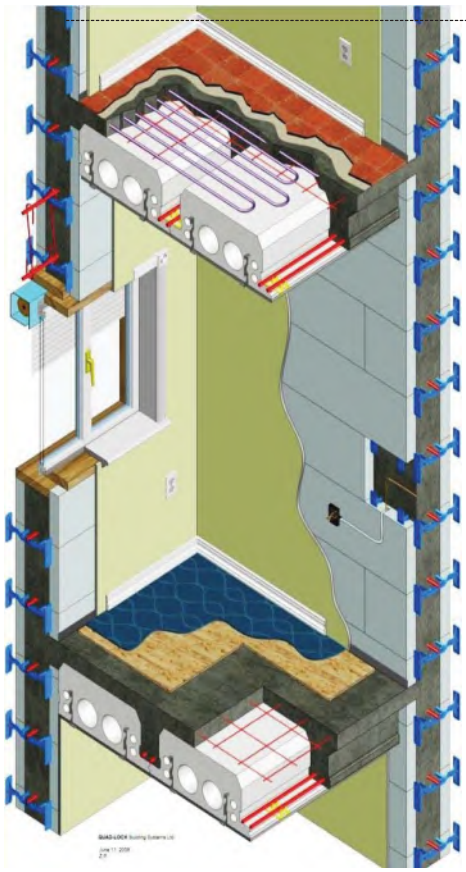
بهترین اجرا در بتن ریزی استفاده از قیف های مخصوص پمپاژ بتن می باشد که در تمیزی کار و عدم پرت بتن موثر است.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

اجرای سقف

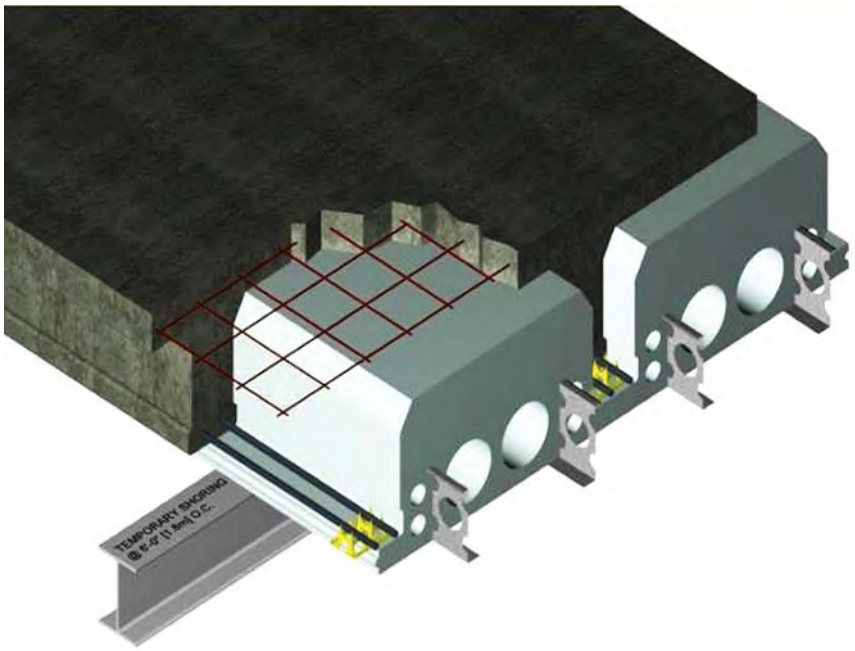
- پس از آماده شدن دیوارهای باربر، قطعات سقف در دهانه بین دو دیوار قرار می گیرند سپس زیر سقف در فواصل حدود ۲ متر شمع بندی می شود.
- از قرار گرفتن هر دو قطعه در کنار هم فضای شکل گیری تیرچه های فرعی ایجاد می شود.
- میلگردهای تیرچه بر اساس محاسبات سازه ای در این محل قرار می گیرند.
- در محل تلاقی دیوار و سقف نیز میلگردهای لازم بر اساس محاسبات و حداقل های آیین نامه اجرا می شوند.





- در مرحله آخر شبکه میلگرد حرارتی به صورت جوش شده یا به روش متعارف در محل قرار می گیرد و بتن سقف ریخته می شود.
- پوشش نهایی سقف از ورق گالوانیزه طرح دار اجرا می شود.

❖ با توجه به اینکه سیستم قابلیت عبور لوله ها را از داخل سقف دارد، احتیاج به بردن لوله ها در کف و پوشاندن آن با پوکه نیست

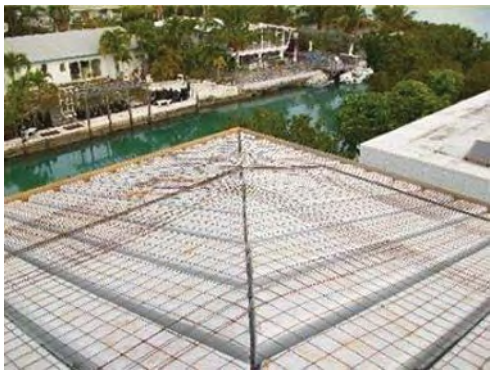


سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

قابلیت اجرای گرمایش از کف

بتن ریزی سقف

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار



اجرای سقف شیب دار

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

ترکیب با سازه های دیگر

این سیستم را می توان به صورت تلفیقی با بسیاری از دیگر سیستم ها اجرا کرد که نمونه بارز آن تلفیق با سیستم *LSF* است که باعث می شود نقاط قوت سیستم ها در کنار هم قرار بگیرند و این امکان را فراهم می سازند که برای مثال یک یا دو طبقه اول با سیستم *ICF* و طبقات بعدی با سیستم *LSF* ساخته شوند.

سازه های بتن مسلح با عایق ماندگار

الزامات روش اجرای ساختمان‌های بتن مسلح با قالب عایق ماندگار بلوکی

- سیستم سازه‌ای حاصل از این روش اجرا، یک سیستم سازه‌ای دیوار باربر با دیوارهای برشی بتن مسلح بوده که محدودیت‌های آن مطابق استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد.
- ضخامت دیوارهای بتنی نباید از ۱۵ سانتی‌متر کمتر باشد.
- بتن مصرفی باید از نوع بتن سازه‌ای و با حداقل مقاومت ۲۰ مگاپاسکال باشد.
- تامین ضوابط دیافراگم صلب و همچنین تامین یکپارچگی برای کلیه سقف‌ها الزامی است.
- محدوده ابعاد دهانه ها، مانند سازه های بتنی بین ۷ الی ۹ متر است.

مزایای سیستم *ICF*

1. مقاومت بالا در برابر نیروهای جانبی مانند زلزله و باد.
2. صرفه‌جویی در مصرف انرژی (عایق حرارت، برودت، رطوبت و صوت).
3. حداقل نیاز به نیروی انسانی متخصص.
4. سرعت اجرا.
5. سهولت اجرا.
6. انعطاف‌پذیری نسبی در قالب طرح‌های معماری.
7. امکان اجرا در اکثر شرایط آب و هوایی (خصوصاً مناطق دارای رطوبت نسبی بالا).
8. سهولت اجرای تاسیسات برقی و مکانیکی.
9. مراحل نصب در محل کارگاه بدون ماشین‌های سنگین.
10. مزیت‌های زیست محیطی و فقدان مضرات اکولوژیکی.

معایب سیستم ICF

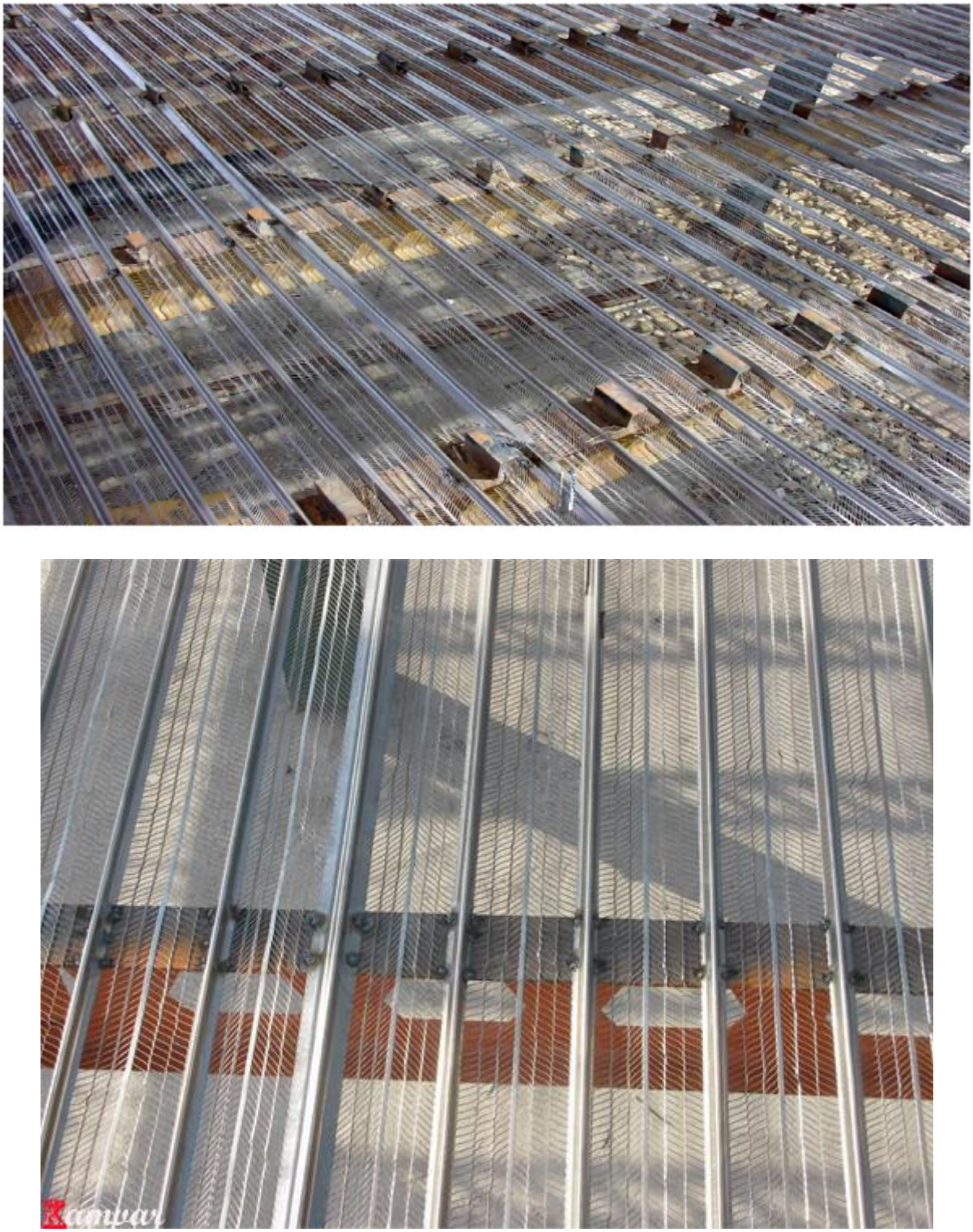
1. محدودیتهای ساختمانهای دیوار باربر بتن مسلح در این روش اجرا نیز حاکم است
2. عدم امکان استفاده مجدد از مصالح
3. صعوبت جابجایی در و پنجره پس از اتمام ساخت زیرا چنین تغییراتی نیازمند برش بتن است
4. در صورت استفاده از رابط های پلاستیکی، حداکثر ارتفاع مجاز ساختمان به دو طبقه محدود می شود.

فصل دوازدهم: سقف روفیکس

(RooFix)

۱۲-۱- معرفی سیستم

این سقف در واقع همان سقف کامپوزیت است که به جای تخته یا ورق (که به عنوان قالب استفاده می‌شوند) از یک صفحه فلزی مشبک با نام روفیکس به عنوان قالب ماندگار استفاده می‌شود. جنس روفیکس ورق گالوانیزه به ضخامت ۰/۷ تا ۰/۸ میلی‌متر است. همین مشبک بودن روفیکس موجب می‌شود بتن تازه به خوبی با آن درگیر شود و به دلیل ترکیب بتن و فلز، مقاومت بدست آمده برای تحمل بارهای وارده به سقف قابل توجه خواهد بود. فاصله تیرهای فرعی می‌تواند تا حداکثر ۸۰ سانتی‌متر باشد، زیرا که بیشتر از آن سبب شکم دادن روفیکس هنگام بتن‌ریزی خواهد شد. اجزای تشکیل دهنده‌ی این نوع سقف شامل روفیکس، آرماتور و بتن می‌باشد. ساده بودن روش اجرا، و سرعت بالای کار از مزایای این سقف می‌باشد اما از آنجا که روفیکس یک قالب ماندگار است، جزء مصالح مصرفی سقف به حساب آمده و هزینه آن را کمی بالا می‌برد.



شکل (۱۲-۱): سقف روفیکس

● روفیکس صفحه فلزی مشبکی است که دارای هفت ناودانی به شکل V و تعداد حداقل ۷۰۰۰ شبکه در هر متر مربع می‌باشد .بیش از چهل و پنج سال است که در کشورهای اروپایی از این محصول استفاده می‌شود. روفیکس در ابتدا به صورت سقف کاذب مسلح (بدون نیاز به شبکه آرماتور) مورد استفاده قرار گرفت . با بستن روفیکس به زیر تیرهای فرعی توسط مفتول فلزی دیگر نیازی به نصب شبکه آرماتور برای نگهداری سقف کاذب وجود نداشت و این خود موجب صرفه‌جویی در مصرف مصالح و همینطورباعث سرعت و سهولت در اجرا می‌شد.

● مقاومت خمشی قابل توجه روفیکس مهندسین را بر آن داشت که با قرار دادن آن بر روی تیرهای فرعی و ریختن بتن بر روی آن، این محصول را به عنوان قالب و همینطور بخشی از فولاد تقویتی مورد استفاده قرار دهند .آزمایشات متعدد نشان دادند که ترکیب بتن با روفیکس از طریق درگیر شدن بتن در شبکه‌های آن ، مقاومت قابل توجهی را در مقابل بارگذاری از خود نشان می‌دهد .امروزه روفیکس با حدود نیم قرن حضور در صنعت ساختمان در اروپا هنوز جزو یکی از مصالح ساختمانی شناخته شده و مفید محسوب می‌شود.

۱۲-۲- مشخصات روفیکس

ورق اولیه: ورق رول به ضخامت ۰,۸ میلیمتر از نوع فولاد مبارکه ST-۱۲
- انواع : در دو نوع روغنی و گا لوانیزه.
- ابعاد : عرض ۸۲ سانتیمتر و طول حداکثر ۱۲ متر.
- وزن : حدود ۴ کیلوگرم در متر مربع

بتن: متراکم کردن بتن نیز به راحتی توسط تخته ماله امکان پذیر است. اسلامپ مناسب برای بتن دال بین ۳ الی ۵ سانتیمتر می‌باشد .

ورق بین ناودانی‌ها بصورت مشبک (با نقش جناغی *Herringbone*) در آمده است که موجب درگیری بهتر بتن با آن می‌گردد. طول روفیکس معمولاً بنا بر سفارش بین یک تا هفت متر قابل تعیین می‌باشد.

۱۲-۳- برخی از اجزای تشکیل‌دهنده‌ی روفیکس دلتا

الف- قالب فلزی روفیکس

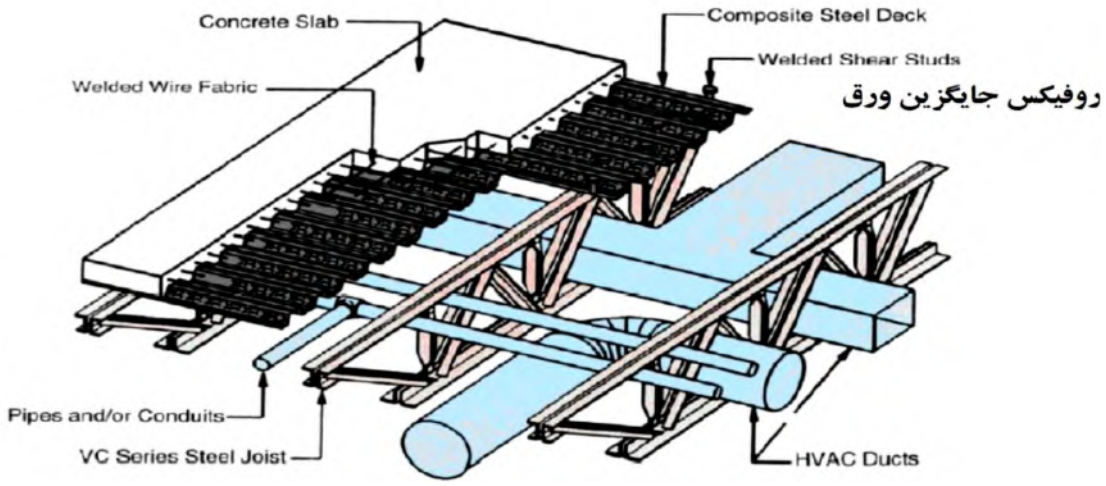
ب- تیر فلزی دلتا

یکی از روش‌های پذیرفته شده و رایج در کشورهای صنعتی برای اجرای سقف (یا کف) مرکب بتنی استفاده از "تیرفلزی با جان باز" است. نخستین استاندارد برای اینگونه تیرها در سال ۱۹۲۸ میلادی توسط انستیستو تیرهای فلزی در آمریکا ارائه شد. از آن تاریخ تا کنون این سیستم تکامل چشمگیری داشته، تا حدی که امروز شاهد اجرای سقف‌هایی با دهانه‌های بیش از ۷۰ متر هستیم. تیر دلتا نام تجاری تیرهای فلزی با جان باز است که به صورت کارخانه‌ای در ایران تولید می‌شود.

شکل (۱۲-۲): تیر فلزی دلتا

پ- تأسیسات سبز

وجود سقف دولایه علاوه بر اینکه در جلوگیری از اتلاف انرژی بسیار مؤثر می‌باشد، فضای موجود بین دولایه سقف می‌تواند برای قراردادن کلیه تأسیسات تهویه، آب و برق مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۱۲-۳): نصب کلیه تأسیسات در داخل فضای بین دو لایه سقف

۱۲-۴- برخی از برتری‌های تیر فلزی دلتا

- سبُکی: کاهش چشمگیر وزن سازه و پی
- عدم نیاز به شمع یا جک برای نصب
- امکان اجرای اقتصادی و بهینه سقف های مرکب بتنی با دهانه های عریض بدون افزایش قابل توجه ضخامت سقف
- فراهم شدن فضای قابل توجه برای عبور دادن کلیه تأسیسات از داخل فضای بین دو لایه سقف

با جایگزین شدن بلوک سفالی با روفیکس، وزن مرده‌ی بام از میزان تقریبی ۵۰۰ کیلوگرم در متر مربع به حدود ۲۳۰ کیلوگرم در متر مربع کاهش می‌یابد. بنابراین وزن کل سقف برای کی واحد یک طبقه به مساخت ۷۵ متر از ۳۷/۵ تن به ۱۷/۲۵ تن کاهش می‌یابد (کاهش وزنی برابر با ۵۴٪). این کاهش وزن تأثیر چشمگیری در سبکتر شدن بقیه اعضای اسکلت مانند تیرهای اصلی و ستون‌ها داشته و همینطور مطرف مصالحی مانند بتن و میلگرد فونداسیون را نیز به میزان قابل توجهی پایین خواهد آورد.

۱۲-۵- اجرای سقف مرکب بتنی سبک با استفاده از روش روفیکس – دلتا در سه گام ساده

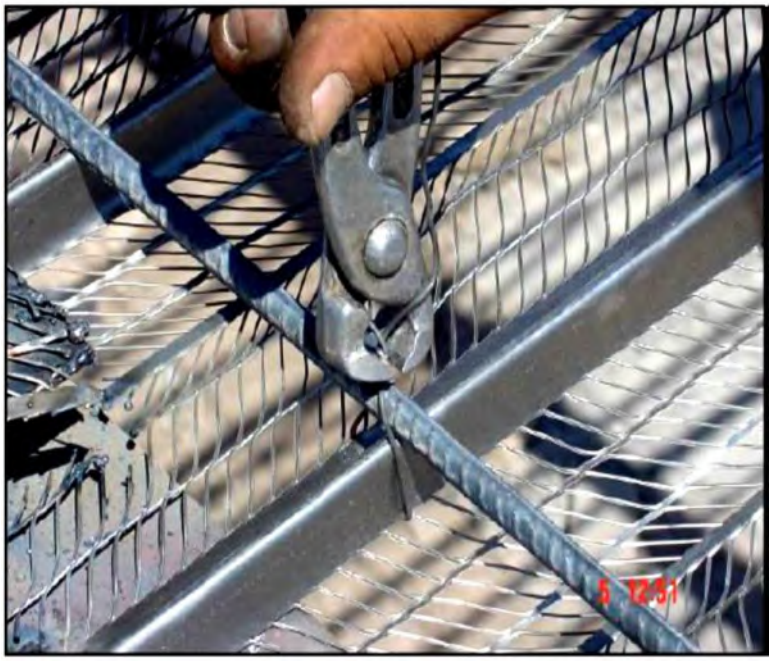
الف- نصب تیرهای دلتا

این تیرها در کارخانه بصورت انبوده تولید شده و از نظر کیفیت و قیمت بهینه شده‌اند. وزن سبک آنها موجب می‌شود که هزینه حمل به محل نصب، به مراتب کمتر شود. نصب تیرهای دلتا در مقایسه با تیرهای فلزی متداول بسیار آسانتر و سریعتر می‌باشد.

شکل (۱۲-۴): نصب سریع تیرهای دلتا

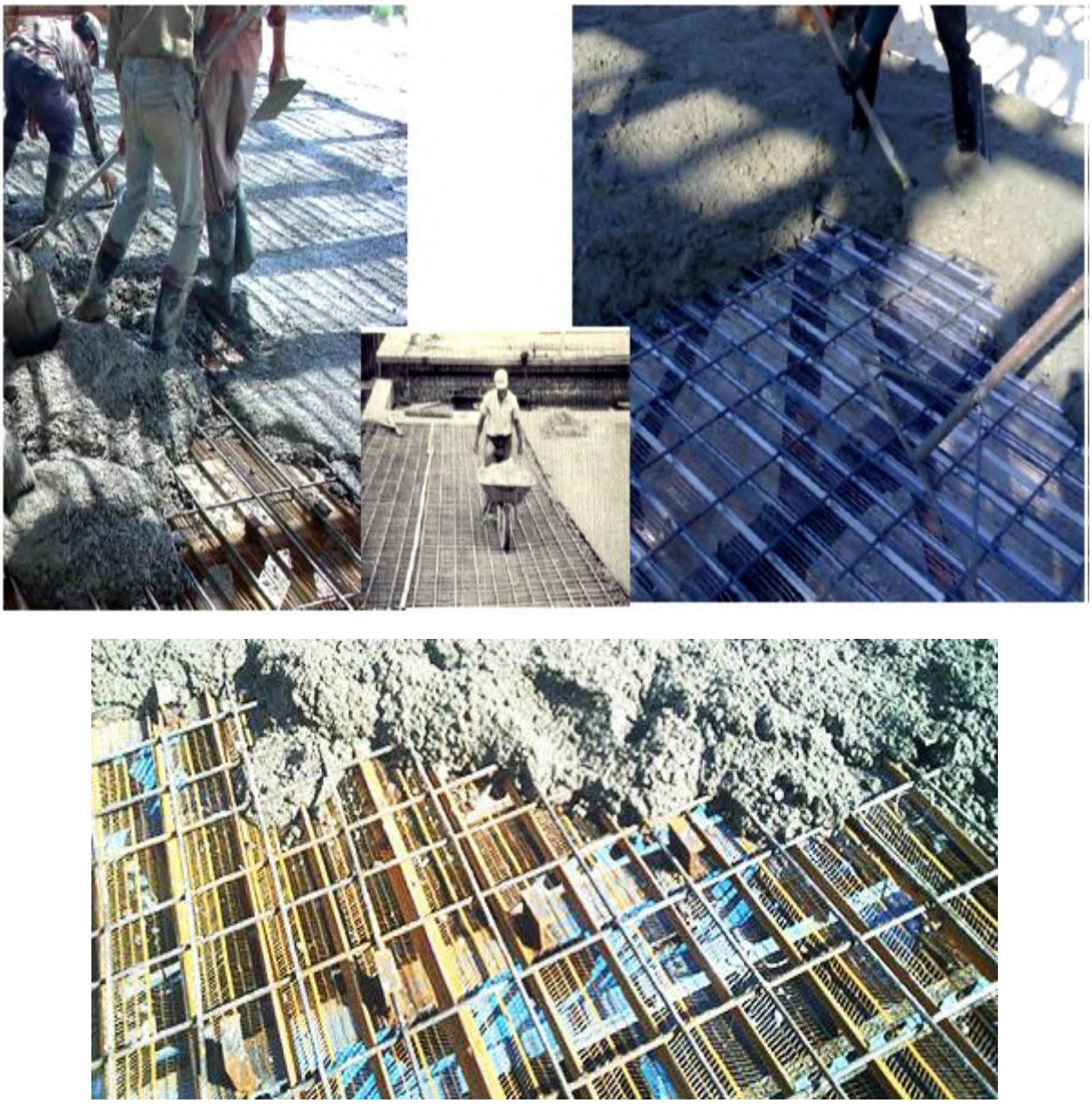
ب- نصب روفیکس و شبکه آرماتور

قالب روفیکس متناسب با اندازه دهانه‌ها در کارخانه تولید می‌شود. در نتیجه نیازی به بریدن و اندازه کردن آن نیست و لذا ضایعات مصرف عملاً به صفر می‌رسد. نصب روفیکس بر روی تیرها نیازی به نیروی ماهر ندارد و به راحتی و با سرعت قابل انجام است. پس از نصب روفیکس، شبکه‌ی آرماتور بر روی آن صب می‌گردد. در این مرحله، کار برای بتن‌ریزی آماده است.



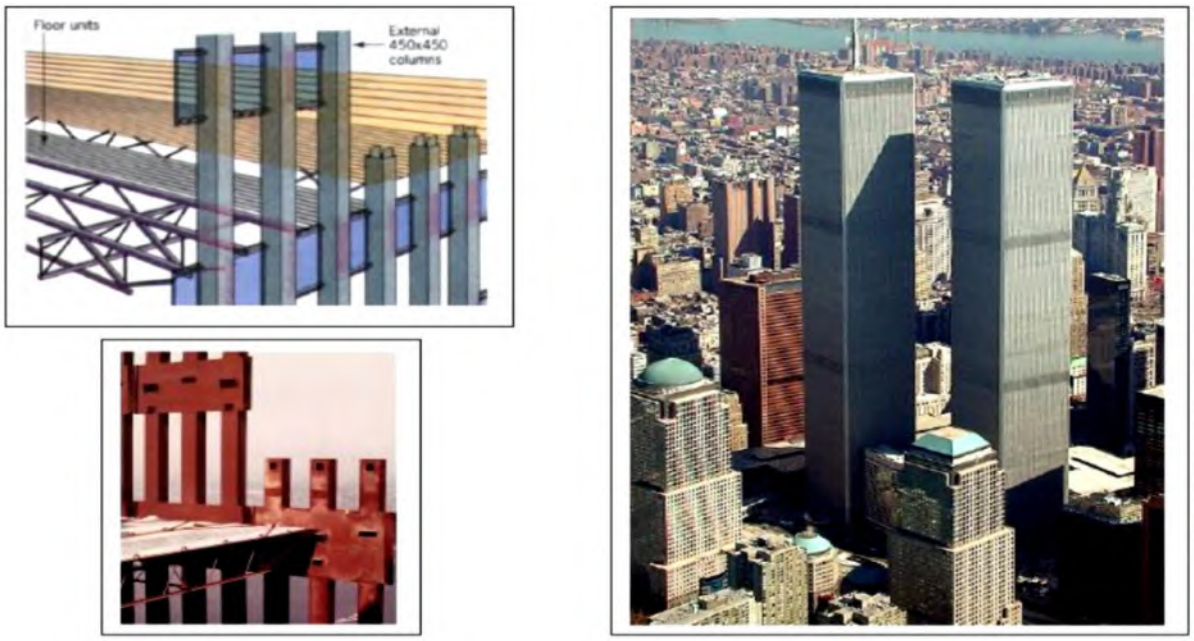
شکل (۱۲-۵): نصب روفیکس و شبکه آرماتور

پ- بتن‌ریزی



شکل (۱۲-۶): بتن‌ریزی سقف روفیکس

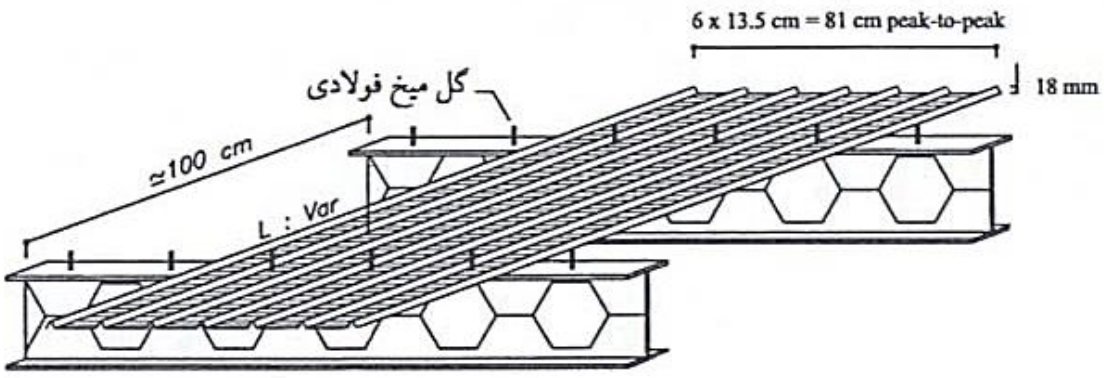
امکان اجرای سریعِ بناهای چند طبقه با سیستم روفیکس دلتا: در صورتی که اسکلت ساختمانهای روفیکس- دلتا با مقاومت کافی طراحی و محاسبه شوند، هیچ محدودیتی برای تعداد طبقات وجود ندارد. بعنوان مثال برج‌های دوقلوی ۱۱۰ طبقه نیویورک به ارتفاع ۵۲۶متر، هر دو دارای کف (سقف) مرکب (کامپوزیت) با تیرهای فلزی با جان باز بودند. انتخاب تیرفلزی با جانِ باز برای ساختن این برجها در اثر بررسی های دقیق فنی و اقتصادی صورت پذیرفته بود.



شکل (۱۲-۷): استفاده از تیرهای فلزی با جان باز در ساختمان‌های دوقلوی مرکز تجاری جهانی در نیویورک

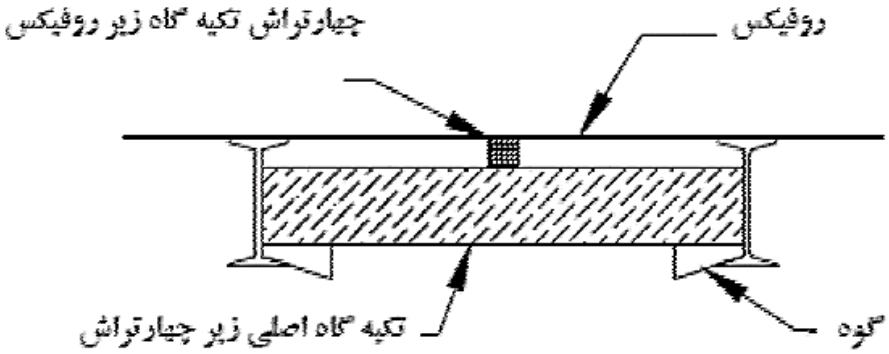
۱۲-۶- الزامات سیستم سقف روفیکس

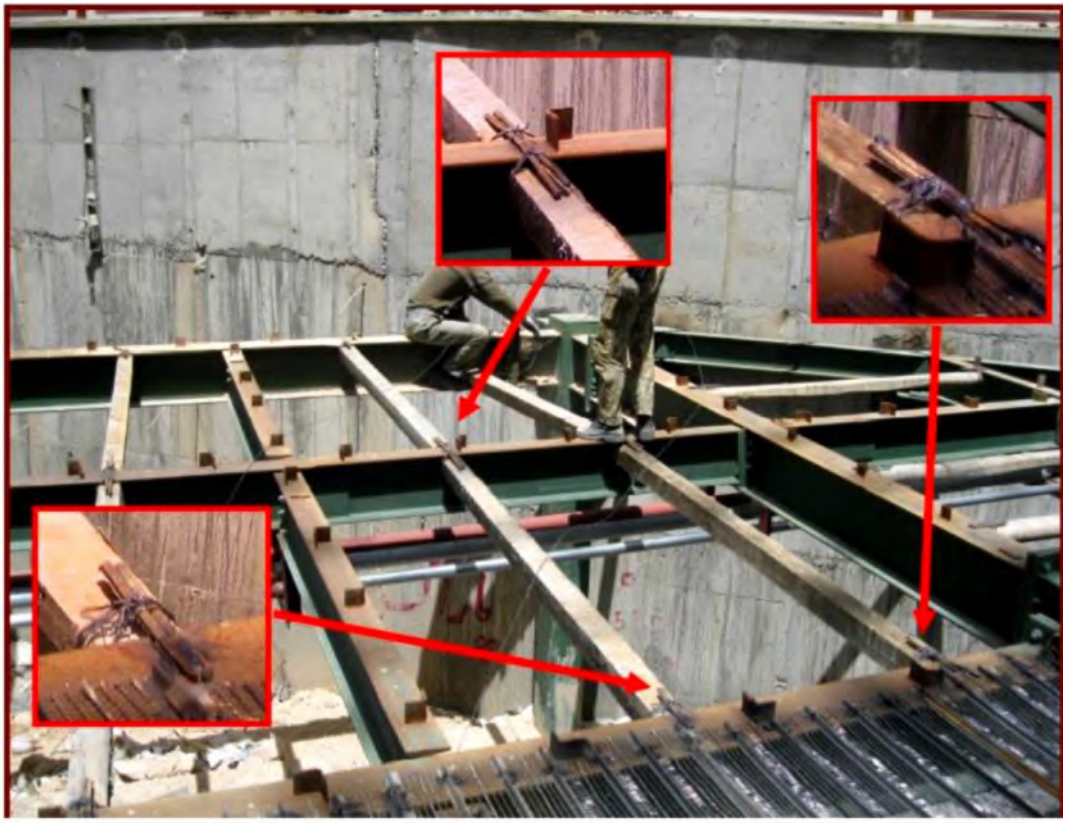
- حداکثر اندازه دهانه تیرهای فرعی بدون نیاز به زیربندی (برای بتن تا ضخامت ۷ سانتی متر) حدوداً یک متر است.



شکل (۱۲-۸): حداکثر عرض دهانه تیرهای فرعی بدون نیاز به زیربندی

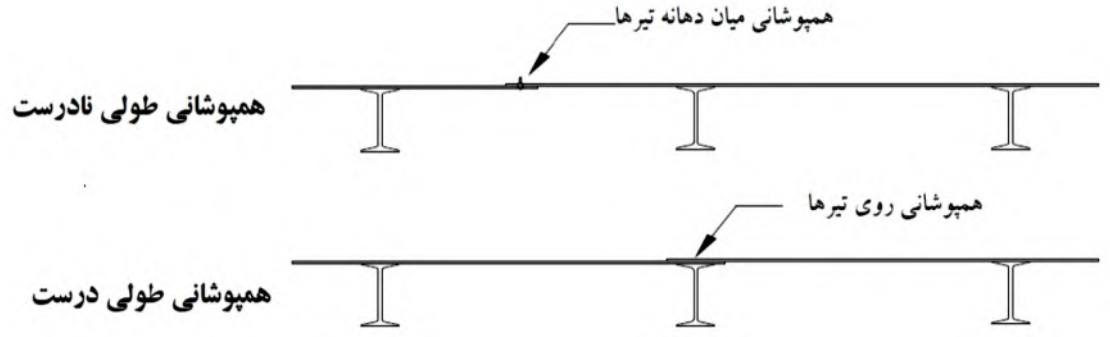
- چنانچه دهانه تیرهای فرعی از یک متر بیشتر باشد و یا ضخامت بتن از ۷ سانتی‌متر تجاوز نماید، باید تکیه‌گاه‌های موقت مانند شکل (۱۲-۹) بدون نیاز به شمع یا جک) نصب شوند و هنگامی که بتن به مقاومت سازه‌ای خود رسید می‌توان آنها را جدا کرده و جمع‌آوری نمود.


چهارتواش تکیه گاه زیر روفیکس
روفیکس
تکیه گاه اصلی زیر چهارتواش
گوه



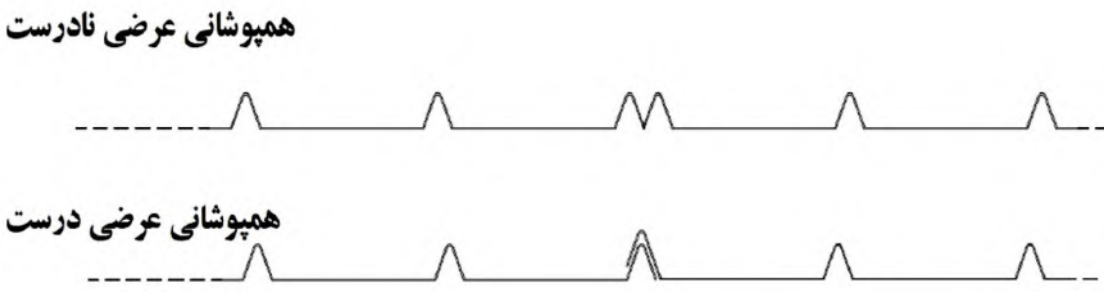
شکل (۱۲-۹): تعبیه تکیه‌گاه‌های موقت برای دهانه‌های بیش از یک متر

- متراکم کردن بتن برای دال‌هایی با ضخامت کمتر از ۱۰ سانتی‌متر باید به صورت تخماقی انجام شود و به هیچ عنوان از ویبره استفاده نشود. در بتن‌ریزی‌های حجیم، بتن باید در دو مرحله ریخته شود. در مرحله اول، بین ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر ریخته شود و پس از گیرش بتن مرحله اول، در مرحله دوم می‌توان هنگام بتن‌ریزی از ویبره استفاده کرد.
- همپوشانی قالب‌های فلزی روفیکس باید حتماً بر روی تیرها واقع شود و به هیچ وجه نباید دو قالب روفیکس مابین تیرها به یکدیگر متصل گردد.



شکل (۱۲-۱۰): نحوه‌ی همپوشانی طولی نادرست و درست روفیکس

- برای تأمین یکپارچگی توصیه می‌شود که هم‌پوشانی قالب روفیکس از پهلو به اندازه عرض یک ناودانی انجام شود. یکپارچگی بدست آمده می‌تواند در رفتار دال بتنی هنگام انبساط و انقباض حرارتی سودمند باشد.



شکل (۱۲-۱۱): نحوه‌ی همپوشانی عرضی نادرست و درست روفیکس

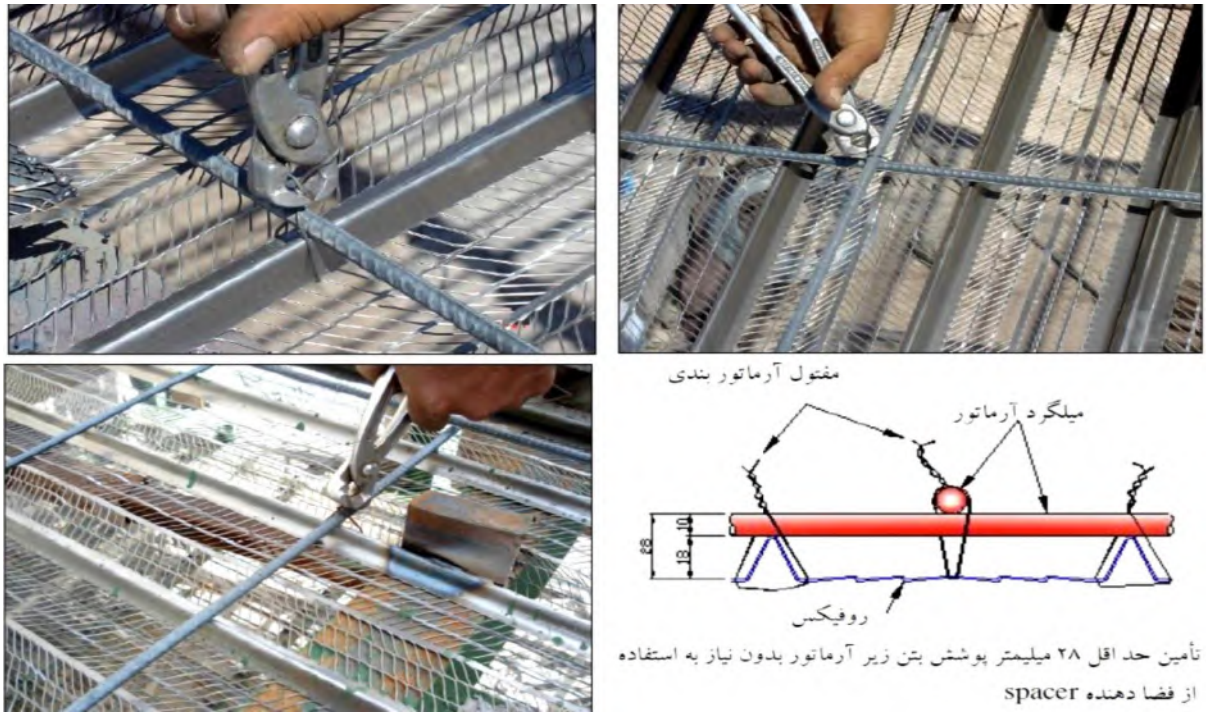
- توصیه می‌شود که حتماً دو انتهای قالب روفیکس بر روی تیرها خال جوش شوند. در این صورت هنگام بتن‌ریزی از خیز برداشتن روفیکس و احتمال در رفتن آن از روی بال تیر جلوگیری می‌شود. چنانچه امکان خال جوش کردن ناودانی‌های روفیکس روی تیرها میسر نباشد، ترجیحاً همه ناودانی‌ها روی تیرها خال جوش شوند.

شکل (۱۲-۱۲): خال جوش کردن روفیکس روی تیرها

اکنون می توان شبکه میلگرد را بر روی روفیکس نصب کرد. برای تامین حداقل ۲/۵ سانتی متر پوشش بتن زیر میلگرد های تقویتی، ابتدا اولین ردیفهای میلگرد را عمود بر ناودانی های روفیکس بر روی آن قرار دهید. این میلگرد ها عملاً به موازات محور تیرهای فرعی قرار می گیرند. سپس میلگرد های تقویتی را عمود بر ردیف اول، بر روی آن قرار دهید. این گروه از میلگرد ها عمود بر محور تیرهای فرعی قرار می گیرند. اگر چنانچه قطر میلگردها ۱۰ میلیمتر تعیین شده باشد، در این صورت با احتساب ۱۸ میلیمتر ارتفاع ناودانی های روفیکس، فاصله بین میلگردهای تقویتی و شبکه روفیکس حدوداً برابر با ۲۸ میلیمتر خواهد شد. در نتیجه بدون آنکه از فضادهنده Spacer استفاده شود، پوشش بتن لازم برای زیر شبکه میلگرد فراهم می گردد.

شکل (۱۲-۱۳): تعبیه شبکه آرماتور

- **حال می‌توان شبکه میلگرد را با استفاده از مفتول آرماتوربندی به روفکیس بست. با بستن شبکه آرماتور به روفیکس مقاومت خمشی آن در برار وزن خمیر بتن و کارگرانی که آنرا پخش می‌کنند به اندازه‌ی چشمگیری افزایش می‌یابد.**



شکل (۱۲-۱۴): بستن شبکه آرماتور به روفیکس

- **پیش از بتن‌ریزی می‌توانید فضای بازشوها، مانند رایزرهای انتقال تأسیسات را با استفاده از چوب و یا فوم پُلی‌استایرن پُر کنید. در این صورت هنگام بتن‌ریزی از ورود خمیر بتن به داخل آن جلوگیری خواهد شد. تا زمان نصب تأسیسات این فضا بسته خواهد ماند و از سقوط احتمالی افراد به داخل آن جلوگیری خواهد شد. علاوه بر آن، هنگام استفاده نیازی به تخریب بتن در این ناحیه نخواهد بود.**

شکل (۱۲-۱۵): جلوگیری از ورود بتن به نواحی بازشو

۱۲-۷- امتیازات سقف روفیکس

الف- سهولت اجرا

نصب روفیکس نیازی به نیروی ماهر مانند قالب بند ندارد و انجام آن توسط کارگران ساده ساختمانی به راحتی امکان پذیر است. همچنین همزمان با قرارگرفتن روفیکس بر روی تیرها، یک شبکه ایمنی در زیر پای کارگران گسترده می‌شود که از سقوط اجسام و افراد کاملا جلوگیری می‌نماید .

ب- سرعت

سرعت قالب بندی با روفیکس در حدود ۸۰۰ مترمربع در روز با دو کارگر می‌باشد. با پوشش روفیکس در تمام طبقات ساختمان ،می‌توان کلیهٔ طبقات را همزمان بتن ریزی کردودر ضمن قابلیت شکل پذیری روفیکس این امکان را بوجود می‌آورد که فرمهای پیچیدهٔ معماری را نیز بتوان به سهولت قالب بندی کرد .

پ- سهولت حمل و نقل، و حجم ناچیز ضایعات

بر خلاف مصالحی مانند بلوک سفالی و بتنی متداول ، بارگیری و حمل روفیکس هیچگونه ضایعاتی ندارد. انبار کردن روفیکس به فضای کمی نیازمند است بطوری که یک کامیون به ظرفیت ۱۰ تن قادر است بیش از ۲۵۰۰ متر مربع قالب روفیکس را حمل کند .

ت- افزایش استحکام سازه

قرار گرفتن روفیکس در سطح زیرین دال ، یعنی در ناحیهٔ حداکثر تنش کششی و قفل شدن بتن در شبکه‌های آن ، موجب می‌شود که تنش های حاصل از بارگذاری به ناودانی‌ها روفیکس منتقل شوند. هر یک از ناودانی‌های روفیکس دارای سطح مقطعی برابر با ۴۰ میلیمتر مربع (معادل سطح میلگردی به قطر ۷ میلیمتر) می‌باشد. فاصلهٔ ناودانی‌های روفیکس از یکدیگر ۱۳,۵ سانتیمتر است.

بنابراین در هر متر عرض روفیکس سطح مقطع فلزی برابر ۳۰۰ میلیمتر مربع قرار می‌گیرد.

بر خلاف شبکهٔ میلگرد که درآن میلگردها مستقل از یکدیگر عمل می کنند .ناودانی‌های روفیکس از طریق شبکهٔ آن به یکدیگر متصل بوده و یک سطح یکپارچهٔ فولادی تشکیل می‌دهند.

بارگذاری های متعدد نیز نشان داده‌اند که ترکیب روفیکس و بتن در صورتی که متراکم کردن بتن و درگیری آن با شبکه‌های روفیکس به نحو مطلوبی انجام شده باشد،می‌تواند در حذف و یا کاهش مصرف آرماتور ،مؤثر واقع شود.

طبق آزمایشات انجام شده بر روی سقف روفیکس ، مقاومت خمشی ازمایشگاهی این سقفها حدودا ۲۰ درصد بالاتر از مقاومت خمشی محاسباتی انها می باشد.

۱۲-۸- مزایای اجرایی سقف روفیکس

- سرعت و سهولت در اجرا
- عدم نیاز به نیروی ماهر
- عدم نیاز به شمع یا جک
- حذف قالب‌بندی به روش سنتی
- امکان بتن‌ریزی همزمان همه طبقات
- کاهش ضخامت و وزن سقف‌ها
- ایمنی بیشتر در مقابل زلزله
- ایجاد سقف دو جداره و عایق در برابر صدا و حرارت
- قابلیت عبور تأسیسات از داخل ضخامت سقف
- جلوگیری از پوسیدگی لوله
- قابلیت شکل‌پذیری بی نظیر برای ساخت فرم‌های پیچیده

فصل سیزدهم: انواع بلوک‌های سبک

۱۳-۱- معرفی بلوک سبک لیکا[1]

واژه لیکا از عبارت *Light Expanded Clay Aggregate* به معنی دانه رس سبک منبسط شده گرفته شده است. این دانه‌ها از انبساط خاک رس در کوره‌های گردان با حرارتی حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آیند. بلوک های سبک لیکا از نظر شکل ظاهری دقیقاً مشابه بلوک‌های سیمانی هستند، با این تفاوت که سنگدانه‌ی به‌کار رفته در این نوع بلوک از نوع لیکا می‌باشد. از آنجا که برای حفظ سبکی این قطعات، ریزدانه طبیعی از بتن حذف می‌شود، محصول نهایی دارای تخلخل بالاتری نسبت به بتن نیمه سبک می-شود. مقاومت این بلوک حداقل ۲۰ الی ۳۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع است و در صورت نیاز، با طرح اختلاط مناسب می توان به مقاومت هایی تا ۱۰۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع نیز رسید. ضخامت جداره بلوک‌های تو خالی برای بهره گیری بیشتر از ویژگیهای عایق کاری آنها بیش از بلوک های سیمانی معمولی است،که این افزایش به خاطر وزن بسیار کم بتن مصرفی اثر چندانی بر وزن نهایی بلوک ندارد. بلوک های سبک لیکا در انواع مختلف دیوارهای پیرامونی وتیغه ای تولید شده و دارای کاربرد های گسترده ای در انواع دیوارهای پوشش خارجی، جدا کننده، نما، دو جداره، عایق، ضد آتش و نیز سقف های سبک بتنی (تیر چه و بلوک) می باشند. وزن مخصوص بلوک‌های لیکا حدود ۶۰۰ الی ۷۵۰ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد.

[1] *Light Expanded Clay Aggregate (LECA)*

شکل (۱۳-۱): انواع بلوک لیکا

۱۳-۱-۱- برخی از ویژگی های مهم بلوک‌های سبک لیکا

الف- وزن کم

با استفاده از بلوک‌های سبک لیکا، به دلیل وزن کم و سهولت کار، هزینه و زمان اجراء کاهش می‌یابد و حمل و نقل آسان می‌گردد. همچنین سبکی این بلوک‌ها نقش مؤثری در کاهش وزن ساختمان دارند. از آنجا که نیروی زلزله وارد بر سازه، رابطهٔ مستقیم با وزن سازه دارد با استفاده از بلوک لیکا نیروی مؤثر زلزله و در نتیجه ابعاد سازه کاهش می‌یابد. وزن دیوار چیده شده با بلوک لیکا در مقایسه با مصالح سنتی مانند آجر ۲/۵ برابر کمتر است.

ب- مقاومت حرارتی

سبکدانه لیکا طبق تاییدیه مرکز تحقیقات راه، ساختمان و شهرسازی جز گروه مصالح عایق حرارتی دسته بندی شده است. بتن ساخته شده با این سبکدانه بدلیل تخلخل درونی دارای مقاومت حرارتی بالایی می باشد. استفاده از بلوک لیکا در عایقکاری دیوارهای پیرامونی مورد تایید سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور قرار گرفته است و دیوار تولید شده با این بلوک‌ها بعنوان عایق همگن محسوب می شود.

پ- رفتار در برابر آتش

آزمایشات انجام شده طبق استاندارد ملی به شماره ۱۲۰۵۵ و *BS EN*۱۳۶۳ در مورد انواع دیوارهای ساخته شده با بلوک‌های لیکا نشان‌دهنده آن است که معیارهای ظرفیت باربری، یکپارچگی و نارسانایی حرارتی

تأمین شده، و این دیوارها با توجه به ضخامت و نوع بلوک کاربردی حداقل ۲ تا ۳ ساعت در برابر آتش مقاومت کافی دارند.

ت- ترک نخوردن و جمع شدگی کنترل شده

قطعات بتنی و بلوک های سیمانی بر اثر جمع شدن خمیر سیمان به مرور زمان در اثر تکمیل فرایند هیدراسیون جمع می شوند. این جمع شدگی اگر بیش از اندازه باشد می تواند باعث ایجاد ترک های ریز در داخل بافت بتن شده، و مقاومت بتن را به شدت کاهش دهد. جمع شدگی معمولاً در بتن‌هایی که فاقد دانه می‌باشند مانند فوم بتن و بتن‌های گازی بیشتر اتفاق می‌افتد. میزان جمع‌شدگی در بلوک لیکا به مراتب کمتر از میزان مجاز بوده و مانع از ترک خوردگی و جمع‌شدگی در دیوار می‌شود.

ث- اجرای راحت

بلوک های لیکا در ۲۲ نوع قالب متفاوت تولید شده و برای تأمین قطعات با اندازه‌های مختلف می‌توان از نیمه و آجر لیکا استفاده نمود و نیازی به خرد کردن بلوک نیست.

ج- پایداری و مقاومت

در اکثر ساختمان‌های امروزی به دلیل داشتن اسکلت فلزی یا بتنی وظیفه باربری بر عهده ساختمان می باشد و اکثر دیوارها غیرباربر هستند. اما علیرغم نداشتن وظیفه باربری و عملکرد سازه‌ای باید حداقل مقاومت جهت پایداری در مقابل عوامل ذیل را دارا باشند:

- باید توانایی تحمل وزن دیوار را داشته باشد
- باید توانایی تحمل وزن یا بار استاتیکی قطعات نما، پلاستر و سایر قطعات الحاقی مانند قفسه و کابینت نصب شده بر روی دیوار را داشته باشد. ضمناً تحمل باربری وزن قطعات و یا سنگ نصب شده بر روی دیوار که توسط چفت و بست ها (اسکوپ ها) و یا ملات پشت سنگ به دیوار منتقل می شود را داشته باشد.
- مقاومت کافی در برابر ضربات مخصوصاً ضربات عمود بر صفحه دیوار راداشته باشد. از رایج‌ترین این ضربات، تکان های ناشی از باز و بسته کردن درب و پنجره ها در ساختمان است. در صورتی که دیوار مقاومت کافی در برابر ضربه را نداشته باشد، دیوار در کنار قاب‌های درب و پنجره ترک خواهد خورد.
- تحمل ایستایی در برابر نیروهای پایدار استاتیکی و فعال دینامیکی باد را داشته باشد.
- مقاومت کافی در برابر تغییر شکل‌های ناشی از انقباض و انبساط حرارتی و تغییرات الاستیکی اسکلت ساختمان و تغییر شکل‌های ارتجاعی را داشته باشد.

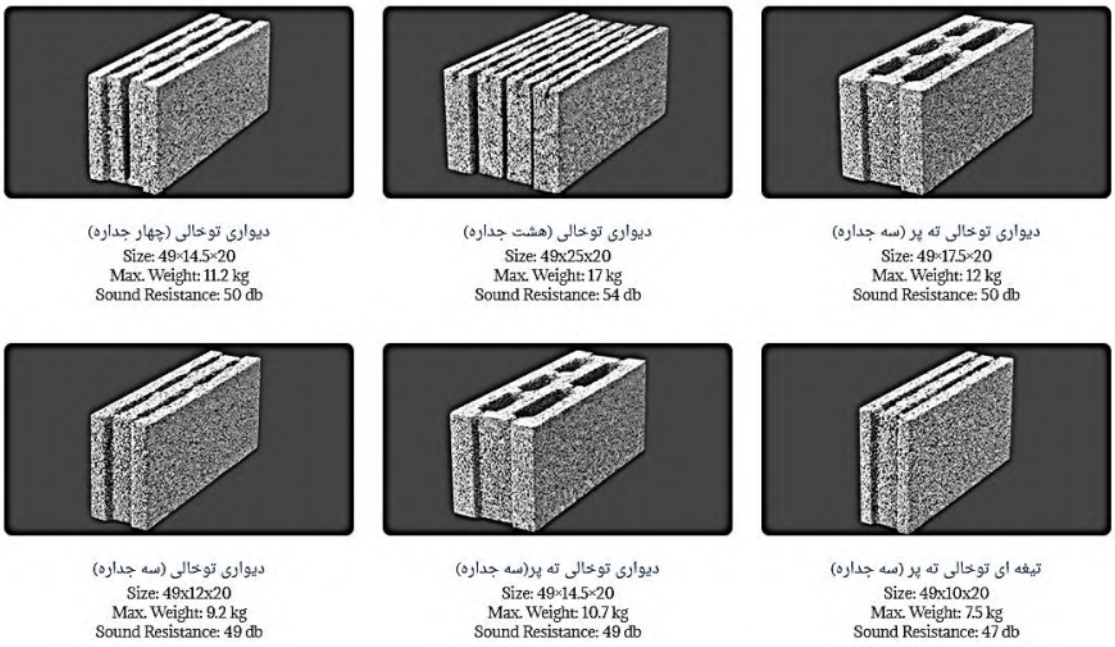
بلوک‌های لیکا طبق استاندارد ملی به شماره ۷۷۸۲ دارای حداقل مقاومت ۲۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشند. این مقاومت فشاری تضمین کننده مقاومت‌های لازم برای یک دیوار استاندارد غیر باربر است.

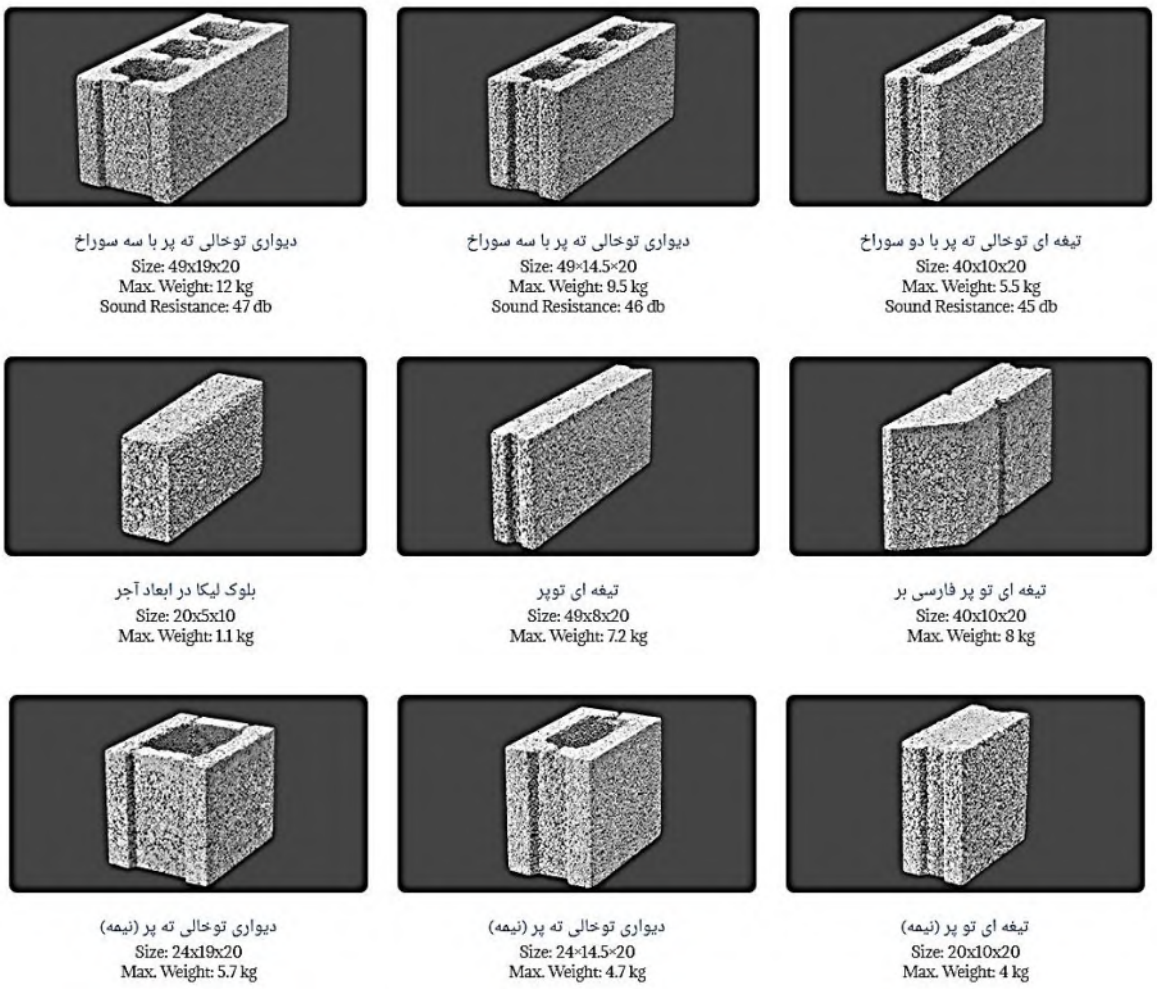
چ- مهاربندی (درز قائم ملات)

در مورد نیروهایی که به صورت نیروی عمود برصفحه دیوار وارد می‌شوند، لاین‌های قائم ملات باعث عدم جداشدگی و دررفتگی بلوک از دیوار می‌شوند. در صورتی که بلوک تنها توسط لاین ملات بالا و پایین در دیوار مهار شده باشد مقاومت کمتری در مقابل واژگونی دارد. این در مورد بلوک‌هایی که دارای شکل مکعبی و گوشه‌های صاف می‌باشند و بلوک‌هایی با اتصال سرد نر و مادگی، صدق می‌کند. این بلوک‌ها در اثر واژگون شدن نیروهای عمود بر صفحه دیوار به راحتی از دیوار خارج می شوند به همین دلیل استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران در مورد اجرای درز قائم ملات‌ریزی یا هرزه ملات بین بلوک‌ها تأکید نموده است. وجود تو رفتگی(مادینگی) در دو سر بلوکهای لیکا باعث شده تا در هنگام اجرا قسمتی از ملات در حفره ایجاد شده وارد شود و بلوکها در عمل از کنار نیز به همدیگر مهار شوند. در این حالت بلوک از چهار طرف در دیوار مهار شده و دیوار در زلزله به صورت همگن عمل می‌نماید.

ح- مقاومت صوتی

۱۳-۱-۲- انواع بلوک‌های سبک لیکا





شکل (۱۳-۲): انواع بلوک‌های سبک لیکا

شکل (۱۳-۳): نحوه‌ی اجرای بلوک‌های سبک لیکا

۱۳-۲- معرفی بلوک هبلکس

بتن سبک هوادار اتوکلاو شده *(Autoclaved aerated Concrete)* که به اختصار *(AAC)* نامیده می‌شود، نوعی بتن گازی سبک با ساختار متخلخل بوده که مواد تشکیل دهنده اصلی آن ماسه سیلیسی، آهک، سیمان، پودر آلومنیوم، و آب می‌باشد. لازم به ذکر است تمامی این مواد قابل بازیافت و برگشت به چرخه تولید بوده که صنعتی سبز را به جامعه معرفی نموده است.

شکل (۱۳-۴): بلوک هبلکس

۱۳-۲-۱- مزایای فنی بلوک‌های هبلکس

الف- سبک، مقاوم و با دوام

با بهره‌گیری از تکنولوژی ویژه ساخت بتن هوادار اتوکلاوشده، بتنی بسیار سبک با ساختار منحصر به فرد تولید می‌گردد و سبب کاهش قابل توجهی در هزینه‌های حمل و نقل، و جابجایی می‌گردد. این ساختار با دوام برای مدت طولانی به تعمیر و نوسازی نیاز ندارد و عمر بسیار طولانی خواهد داشت. خواص مکانیکی هبلکس، آن را محصولی برتر و مطمئن جهت ساخت و ساز درمناطق زلزله خیز نموده است. از سوی دیگر با توجه به گذشت بیش از ۹۰ سال از عمر بکارگیری هبلکس در سازه‌ها، در مناطق آب و هوایی گوناگون در سراسر دنیا تاکنون هیچگونه پوسیدگی، جمع شدگی، و حتی از هم پاشیدگی در ساختار بلوک‌های مذکور مشاهده نگردیده است.

ب- مقاوم در برابر آتش

از آنجا که اجزای تشکیل دهنده بتن هوادار اتوکلاوشده را مواد طبیعی معدنی تشکیل می دهند، نه تنها آتش زا نیستند بلکه نسبت به دیگر مصالح ساختمانی مقاومت بیشتری در برابر آتش دارند و همانطور که

می دانیم بتن هوادار اتوکلاوشده می‌تواند تا حرارت ذوب کننده ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت نماید، این بدین معناست که دیوار با ضخامت ۱۰ سانتی‌متری دارای درجه آتشپادی (مقاومت در برابر آتش مستقیم) تا ۴ ساعت خواهد بود، که این عدد بیش از الزامات سخت ترین استانداردهای جهانی موجود در عرصه صنعت ساختمان است. بنابراین بتن هوادار اتوکلاوشده بهترین شرایط را جهت ایمنی ساکنین و جلوگیری از تلفات جانی و مالی فراهم می سازد.

پ- سهولت در اجرا

سرعت اجرای عملیات دیوار چینی با بلوک هبلکس تا میزان سه برابر نسبت به دیگر متریال ساختمانی مشابه اعم از آجر، بلوک سفال و ... افزایش داشته و مزیت فوق العاده‌ای در حوزه کاهش هزینه‌های سرسام آور نیروهای اجرایی ساختمان را تا حجم سه برابر خواهد داد.

۱۳-۲-۲- مزایای اقتصادی بلوک هبلکس

این محصول جزء به روزترین محصولات در دنیا بوده و اکثر کشورهای پیشرفته در حال حاضر بزرگترین مصرف کننده این محصول می باشند. در دنیای پیشرفته امروزی و با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه‌های مختلف علمی، صنعت بتن دچار تحول گردیده و تولید بتن سبک هبلکس حاصل این پیشرفت است. بلوک هبلکس علاوه بر کاهش بار مرده ساختمان، از نیروی وارد به سازه در اثر شتاب زلزله می‌کاهد. بتن سبک با توجه به ویژگی‌های خاصی که دارد دارای کاربردهای مختلف است که برحسب وزن مخصوص و مقاومت فشاری آن تفکیک می‌شود. بلوک سبک اتوکلاو شده ۲۰ درصد وزن ساختمان را کاهش می دهد، ۱۵ درصد از میزان ملات کم نموده و سرعت اجرا را ۳ برابر افزایش داده و حدود ۱۲ درصد از مصرف فولاد را در ساخت و ساز کاهش می دهد؛ و از سوی دیگر با توجه به ویژگی های عایقی منحصر به فرد بلوک در گرمایش و سرمایش ساختمان تا میزان ۷۰ درصد صرفه جویی خواهید داشت. لذا پروژه های ساختمانی با بکارگیری بلوک های هبلکس با در نظر گرفتن سرعت اجرا، نیروی اجرایی کمتر و مصرف ملات کمتر و همچنین کاهش زیاد بارهای وارده به سازه به دلیل وزن کم دیوارهای از نوع بتن سبک هبلکس موجب کاهش ابعاد سازه می شود که خود صرفه جویی قابل ملاحظه ای را در هزینه مصالح مصرفی به همراه خواهد داشت. عایق بودن هبلکس در برابر گرما و سرما علاوه بر صرفه جویی چشمگیری که در فضاهای تأسیساتی و سطح حرارتی برودتی به وجود می‌آورد، موجب کاهش قابل ملاحظه در مصرف انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش ساختمان در سالهای متمادی خواهد شد.

۱۳-۲-۳- مزایای زیست محیطی بلوک هبلکس

آخرین آمارها حاکی از مصرف ۸ برابری انرژی در ایران در مقایسه با اروپا می‌باشد. این در حالی است که میزان بهره‌مندی اروپایی‌ها از انرژی به مراتب بیشتر از کشورهایی از جمله ایران می باشد. لذا با بکارگیری بلوک سبک که دارای مزایای ویژه ای در حوزه مصرف انرژی می باشد، سهم قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی در حجم کلان این سرمایه ملی خواهیم داشت.

۱۳-۲-۴- وسایل مورد نیاز جهت دیوار چینی

۱- اره دستی : جهت برش بلوک هبلکس
۲- برس : برای تمیز کردن سطح بلوک هبلکس
۳- تراز بنایی : جهت تراز کردن و تنظیم بلوک هبلکس
۴- چکش پلاستیکی : برای تنظیم بلوک های هبلکس
۵- ماله چسب ریز تیغه دار : جهت ریختن چسب بر روی بلوک و پرداخت بلوک
۶- شیارزن : جهت ایجاد شیار برای عبور تاسیسات و کابل های برق
۷- کاردک : جهت جدا کردن ملات اضافی بر روی بلوک هبلکس
۸- گونیا : جهت برش هبلکس با دقت بیشتر
۹- همزن چسب

شکل (۱۳-۵): وسایل مورد نیاز جهت دیوار چینی با استفاده از بلوک هبلکس

۱۳-۲-۵- ملات خشک آماده (چسب بلوک هبلکس)

الف) مزایای فنی: با توجه به آموزه غلط دیوار چینی بلوک هبلکس با ملات سیمان در رج های دو به بعد که موجبات تحمیل خسارت های جبران ناپذیر در زمینه ایجاد ترک های مکرر و ... را به سازنده فراهم می آورد، توصیه اکید کلیه کارشناسان و مجریان ساختمان بکارگیری چسب مخصوص بلوک هبلکس در اجرای فرآیند دیوار چینی می باشد لذا در ادامه به معرفی برخی از مزایای فنی– اجرائی و اقتصادی چسب مذکور پرداخته شده است :

۱- افزایش چند برابری سرعت اجرا با بکارگیری چسب در مقایسه با ملات ماسه و سیمان.

۲- چسبندگی فوق العاده بین بلوک های هبلکس و همجنس شدن هبلکس ها در فضای درز اتصال (با توجه به مواد تشکیل دهنده مشابه هبلکس و چسب بلوک).

۳- جلوگیری از انتقال رطوبت در هنگام استفاده از چسب مخصوص بلوک AAC بر خلاف ماسه و سیمان.

۴- در هنگام استفاده از چسب مخصوص بلوک هیچگونه درزی بین بلوک ها بدلیل حجم کم چسب ایجاد نمی شود، در حالیکه در زمان استفاده از ملات ماسه و سیمان حداقل به اندازه یک سانتیمتر درز ایجاد خواهد شد که ضرورت بکارگیری خاک گچ یا سیمان سفید را دو چندان خواهد نمود.

ب) نحوه ساخت چسب بلوک هبلکس :

- **نحوه ساخت :**

برای تهیه ملات چسب آن را داخل یک سطل مناسب ریخته و مطابق دستور العمل درج شده بر روی کیسه چسب مقداری آب به آن اضافه نموده و آن را مخلوط می نمایند. توصیه می شود برای اختلاط بهتر از همزن برقی با سرعت کم انجام شده تا خروج و حذف هوا امکان پذیر باشد. همانطور که می دانیم. پس از مدت کوتاهی از اختلاط، ملات برای مصرف آماده می شود.

عمر کارایی ملات چسب حدود ۴۵ دقیقه می باشد لذا باید مقدار ملات مورد نیاز با دقت تعیین شده و ملات بیش از حد تهیه نگردد زیرا به هیچ عنوان اضافه نمودن آب و اختلاط مجدد ملات مجاز نمی باشد.

- **نکات اجرایی :**

برای دستیابی به حداکثر مقاومت پیوستگی بین قطعات و ملات، سطوح بلوک ها باید از هر گونه گرد و غبار یا مواد معلق تمیز شوند. برای برطرف کردن گرد و غبار و جلوگیری از جذب آب ملات چسب، سطوح تماس بلوک با چسب را مرطوب نمایید. چسب باید به طور صاف و هموار روی سطوح بلوک ها با استفاده از ماله دندانه دار به پهنای بلوک مورد نظر پخش شود.

- ضخامت چسب (ملات نازک)، در سطوح افقی و قائم باید در حدود ۲ میلی متر باشد. ویژگی های ملات چسب که مناسب برای استفاده در دیوارچینی با بلوک AAC هستند، در استاندارد ملی ایران به شماره ۷۰۶ ارائه شده است.
- روانی و کارایی چسب باید به میزانی باشد که به راحتی از بین دندانه های ماله عبور کرده و روی سطح بطور یکنواخت پخش گردد و تا زمان قراردادن بلوک در محل خود، شکل دندانه ای چسب ایجاد شده با ماله روی بلوک حفظ گردد.

۱۳-۲-۶- شیوه‌ی اجرای دیوار با استفاده از بلوک هبلکس

❖ اجرای رج اول دیوار:

اجرای رج اول دیوار از اهمیت بسزائی برخوردار است، توصیه می شود از ملات ماسه و سیمان (با نسبت ۵ به ۱) به عنوان ملات تراز کننده زیرکار استفاده گردد. بلوک ها قبل از استفاده کاملا رطوبت دهی شوند و از سوی دیگر پس از چیدن هر بلوک، تراز و شاقولی آن بررسی شود. در صورتیکه اولین رج دیوار روی کرسی چینی یا کف طبقه ای قرار گیرد که فاصله آن از سطح زمین کمتر از ۳۰ سانتی متر است، یک لایه عایق رطوبتی نیز باید در زیر ملات ردیف اول اجرا گردد. عایق رطوبتی باید به شکل مناسبی به اعضاء قائم سازه متصل شود.

در نظر داشته باشید که در محل تلاقی ستون ها و دیوار می بایست یک فاصله به اندازه ۱ الی ۲ سانتی متر ایجاد و این فاصله را با فوم پلی اورتان یا یونولیت (آکاسیف) پر نمایید. این کار باعث می شود تا در زمان حرکت های سازه و انبساط و انقباض های صورت گرفته، صدمه ای به دیوار وارد نگردد.

شکل (۱۳-۶): اجرای رج اول دیوار چینی با بلوک هبلکس

❖ اجرای رج های بعدی :

بعد از اجرای رج اول ابتدا روی آن را با رنده سابیده تا سطحی زبر و یکنواخت جهت چسبندگی بهتر ملات به بلوک ایجاد شود. این کار برای تمامی رج ها و بلوک ها تا انتها انجام می گردد. گرد و غبار ایجاد شده بر روی بلوک را توسط فرچه یا قلم مو تمیز کنید. ملات رج های بعدی که از نوع ملات بلوک سبک می باشد به ضخامت ۲ الی ۳ میلی متر بر روی سطح کار به صورت یکنواخت پهن می شود. ماله باید متناسب با پهنای بلوک مورد نظر باشد. جای گیری صحیح هر بلوک از نظر افقی و عمودی توسط ضربه زدن با چکش پلاستیکی انجام می شود.

برای اجرای رج های بعدی بایستی درزهای عمودی بلوک هبلکس در هر رج ۳۰ سانتی متر با درز عمودی رج زیرین خود فاصله داشته باشد(لزوم همپوشانی). این مقدار فاصله در طول یک رج باید ثابت نگه داشته شود. برای انجام این کار نیاز به قطعات کوچکتری از بلوک AAC می باشد. با توجه به اینکه یکی از مزیت های این بلوک ها برش پذیری راحت آن است، می توان بلوک ها را به راحتی با اره دستی و گونیای برش به ابعاد مورد نیاز و با دقت بالا برش داد. توصیه می شود جهت برش بلوک ها از اره مقاوم در برابر سایش بلورهای سیلیکات (اره کناف یا اره الماسه) و یا از اره برقی استفاده گردد.

شکل (۱۳-۷): اجرای رج‌های بعدی دیوار چینی با بلوک هبلکس