

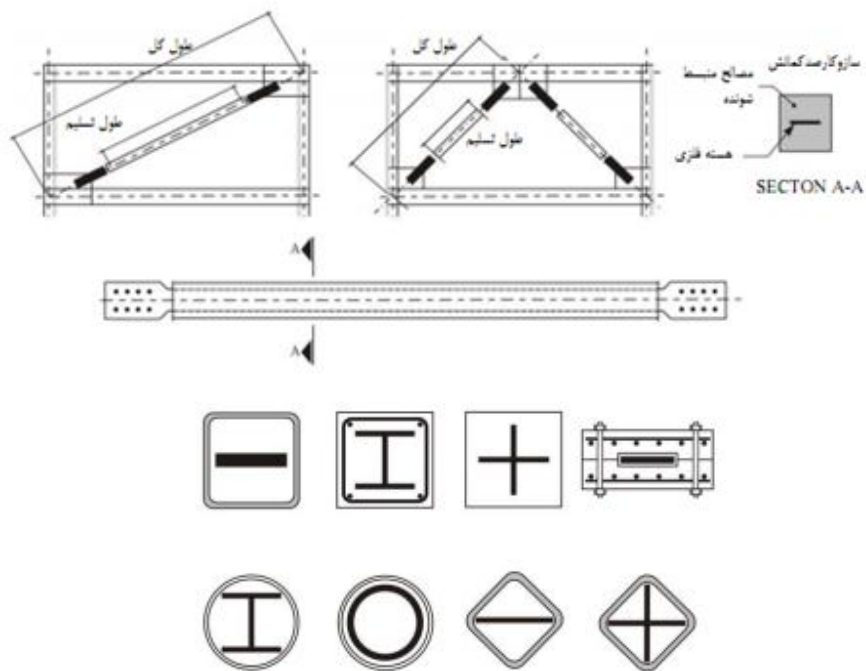
سیستم های سازه ای مقاوم در برابر بارهای جانبی

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه I.elyasian@gmail.com

در طول یک زلزله شدید مقدار زیادی انرژی دینامیکی به سازه اعمال می شود. تمامی آیین نامه های معتبر زلزله تصدیق می کنند که اتلاف انرژی لرزه ای از طریق رفتار الاستیک مواد روشی غیر اقتصادی است. یک روش معمول این است که اعضای ساختمان تسلیم شود، اما این تسلیم باید کنترل شده و از راهی مناسب و مطمئن صورت گیرد. یک ایده این است که تسلیم در المانهای طراحی شده یا فیوزهای سازه ای روی دهد تا افزایش نیروها در سازه محدود شود. در قابهای با مهاربندی معمولی، مهاربندها بعنوان فیوزهای سازه ای عمل می کنند، اما اغلب کمانش در فشار به آنها اجازه تسلیم را نمی دهد و باعث تنزل در رفتار و کاهش شکل پذیری آنها میشود اخیراً به منظور رفع این مشکل مهاربندی جدیدی به نام مهاربندهای کمانش ناپذیر ارائه شده اند که در برابر کمانش مقاومت می کنند این مهاربند از محصور شدن توسط یک غلاف فلزی که از ملات بتنی پر شده ولی این ملات به مهاربند چسبندگی نداشته و فقط از کمانش آن جلوگیری می کند، ساخته میشود و مقاومت لرزه ای را با تلفیق مقاومت و شکل پذیری افزایش می دهد. امروزه به جای افزایش مقاومت سیستم، به افزایش کنترل نیروی وارده بیشتر توجه می گردد، به طریقی که یا از ورود نیروی لرزه ای کاسته شود و یا نیرو وارد شده به طریقی اتلاف گردد.



نمونه هایی از مهاربند ضد کمانش BRBF



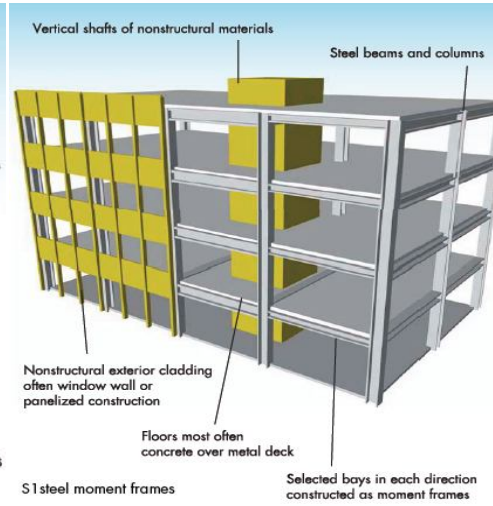
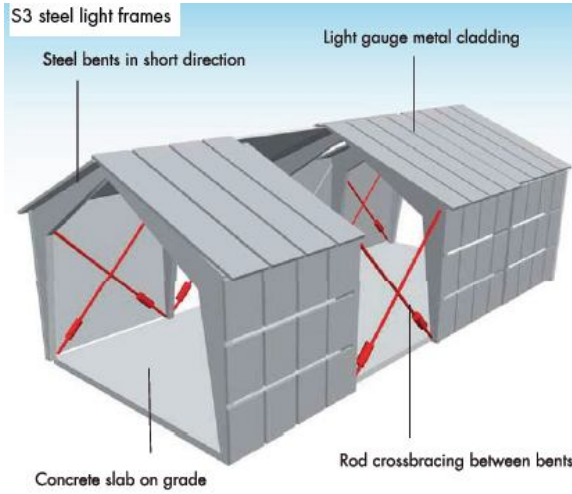
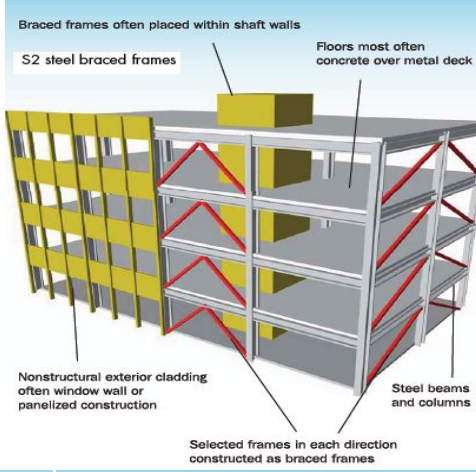
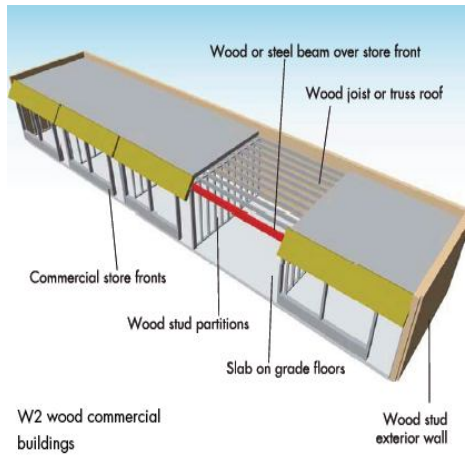
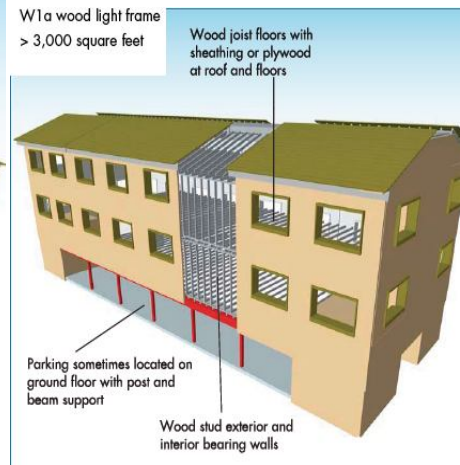
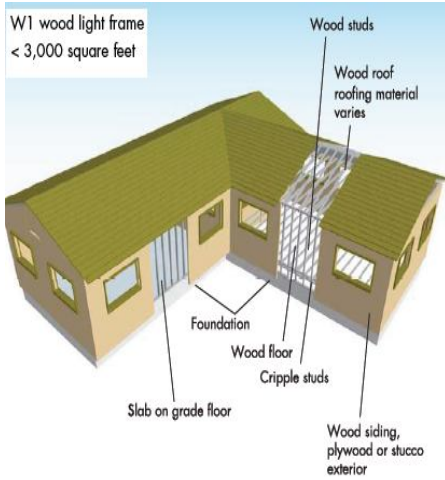
بعضی از مقاطع استفاده شده در چهاربندهای BRBF

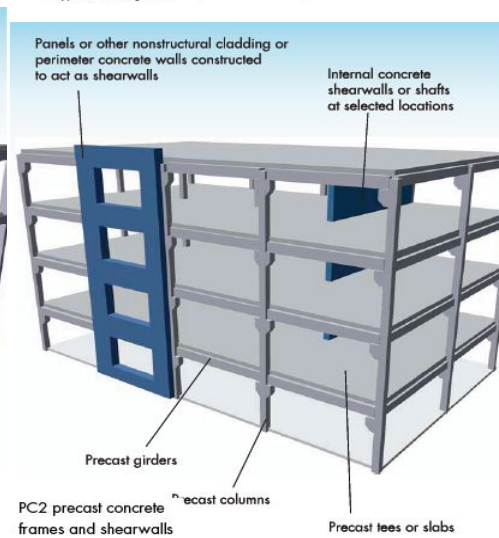
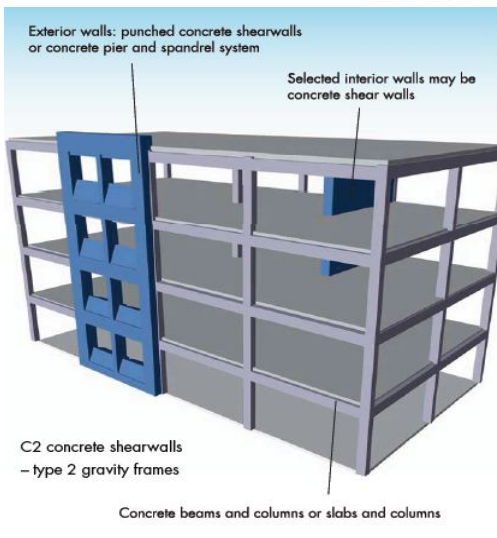
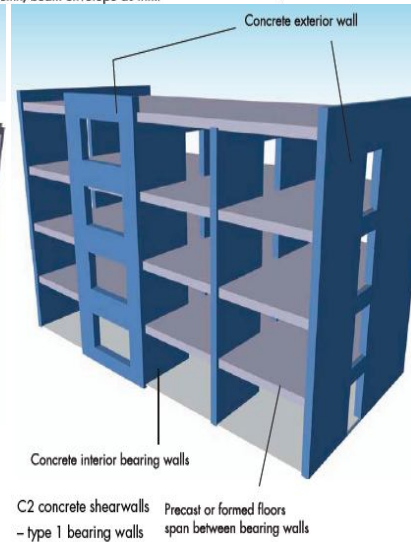
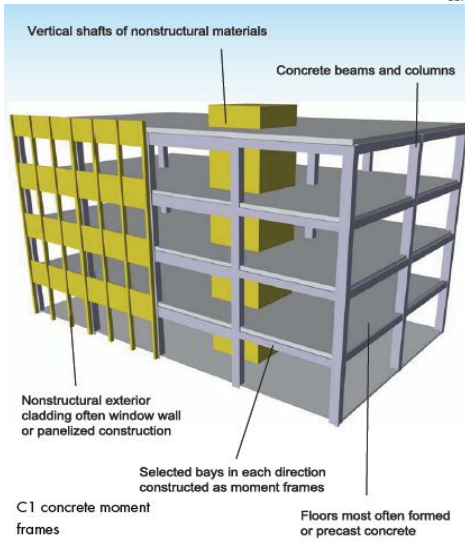
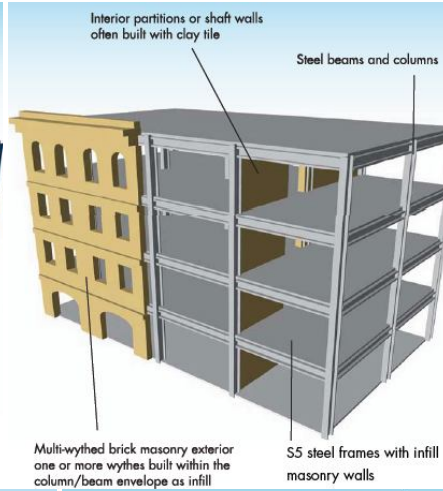
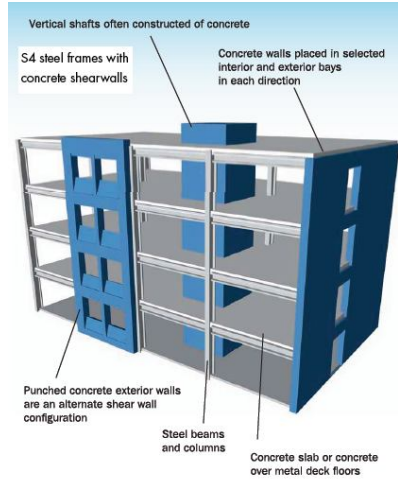
سیستمهایی که در آن به سختی، تغییر مکان و تغییر شکل سازه توجه شده است. در این سیستم فرض بر این است که بار زلزله به ساختمان وارد می شود سپس با استفاده از فرمهای سازه ای سعی می شود که سازه بار وارده را تحمل کرده و در ضمن کارآیی خود را از دست ندهد و تغییر مکان محدود و مناسب داشته باشد سیستمهایی که در آنها به کنترل نیروی وارد شده زلزله به سازه توجه می گردد. در این دسته که از آن میتوان به سیستمهای نوین مقاوم در برابر زلزله یاد کرد، نیروی وارد به سازه یا کاهش می یابد یا اگر وارد شود توسط اجزائی خاص، تلف می گردد (کنترل نیروی وارده)

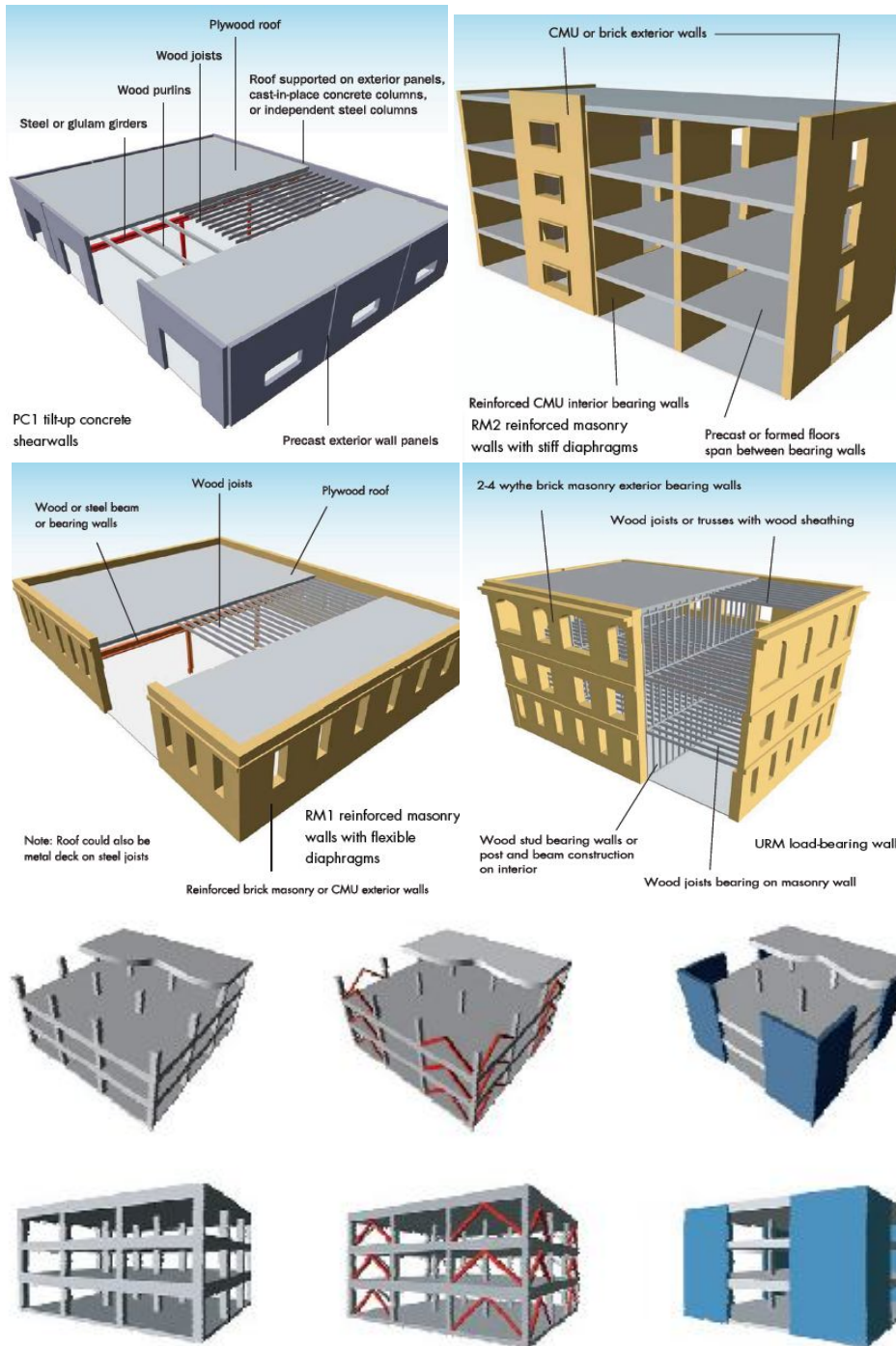
پارامترهای اصلی در انتخاب سیستم سازه ای برای طرح لرزه ای ۱- مقاومت ۲- سختی ۳- شکل پذیری می باشد

تقسیم بندی انواع سازه بر اساس نوع مصالح و سیستم باربر جانبی:

۱- فلزی ۲- بتنی ۳- مصالح بنایی و چوبی



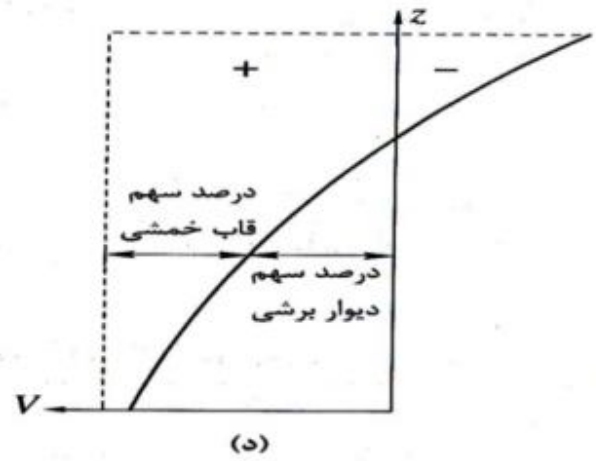
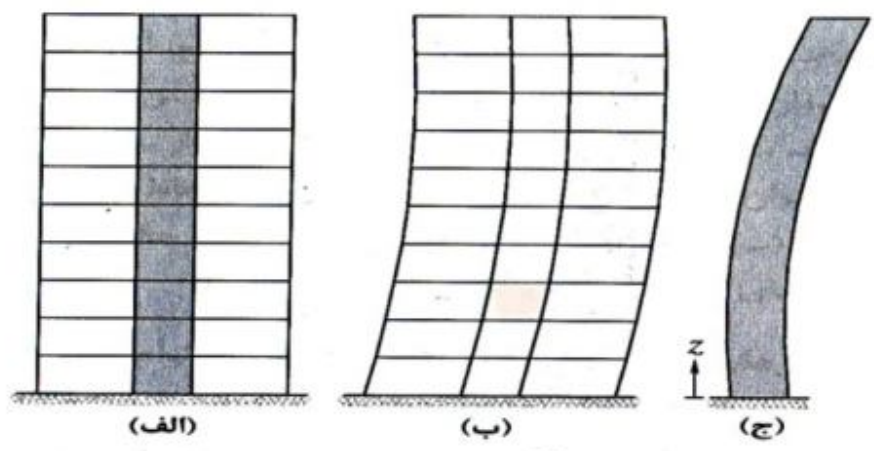
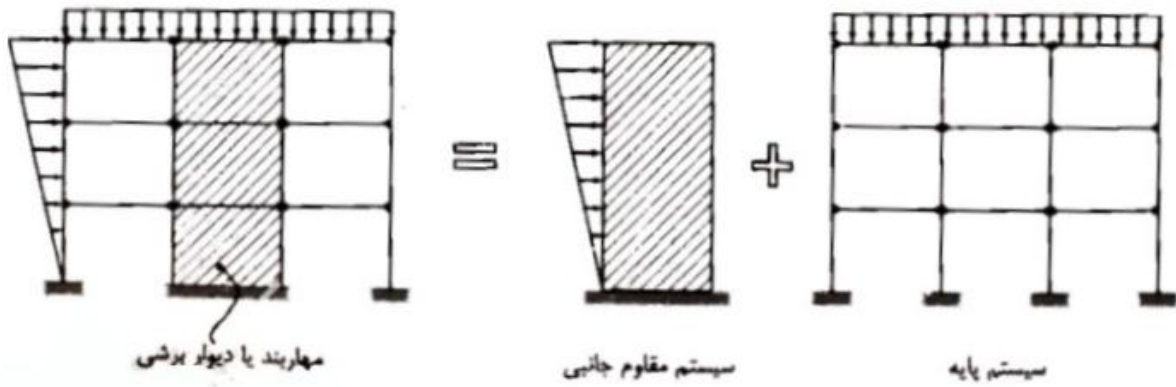




افزایش مقاومت و سختی سازه بوسیله اضافه نمودن قاب خمشی، مهاربند و دیوار برشی

تقسیم بندی رفتار سازه ای

۱: سیستم سازه ای با دیوار باربر: این سیستم قدیمی ترین و آشنا ترین روش ساخت می باشد که امروزه به دلایل این نامه ای و نیروهای جانبی زیاد مورد توجه قرار نمی گیرد.



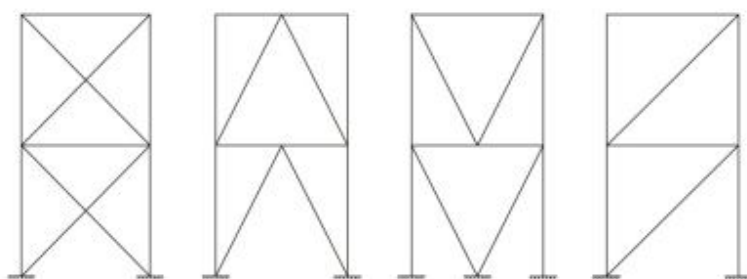
عملکرد توأم قاب و دیوار برشی؛ الف) سیستم دو گانه؛ ب) تغییر شکل قاب خمشی؛ ج) تغییر شکل دیوار برشی؛ د) نسبت سهم باربری جانبی دیوار برشی و قاب خمشی در ارتفاع

۲: قاب مفصلی مهاربندی شده: این سیستم از قدیمی ترین سیستم های سازه ای بوده که مورد توجه مهندسين در سالهای قبل و حتی امروزه میباشد. در این روش بارهای ثقیلی بر قاب مفصلی وارد شده و به دلیل مفصلی بودن

قاب سازه معین بوده و به صورت استاتیکی تحلیل میشود و بارهای جانبی بر مهاربندهای آن وارد شده و مهاربندها به روشهای تقریبی یا دقیق قابل تحلیل است لذا در سالهای دور به دلیل عدم وجود حسابگرهای ماشینی در سازه ها از این سیستم بیشتر استفاده میشد به عنوان مثال: برج ایفل - برج امپایر استایت در نیویورک و با این سیستم ساخته شده اند (برج امپایر استایت در سال ۱۹۳۱ ساخته شده و در آن از مهاربندهای غیر هم محور و اتصالات پرچی استفاده شده است این برج به مدت ۴۰ سال بلندترین سازه ی جهان به شمار می رفت)

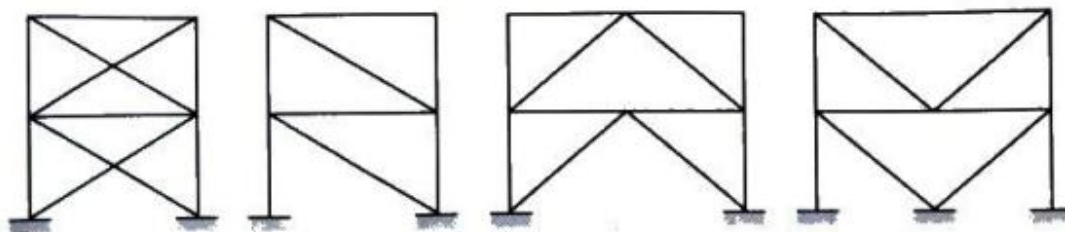
در این سیستم اتصال تیر به ستون مفصلی است. تیر و ستون بار ثقلی را تحمل میکنند. در بیشتر موارد برش وارده در اثر زلزله توسط مهاربندها تحمل میشود. مد تغییر شکل قاب خمشی است

۱- ضربدری ۲- قطری ۳- شورن - V ۴- شورن - V (معکوس) ۵- مهار بند K



انواع مهاربندهای همگرا CBF

کاربرد مهار بند K خیلی به ندرت می باشد و توصیه نمی گردد

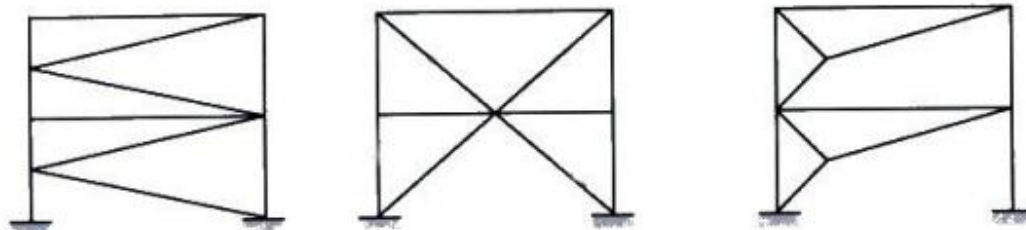


مهار بند ضربدری
(X)

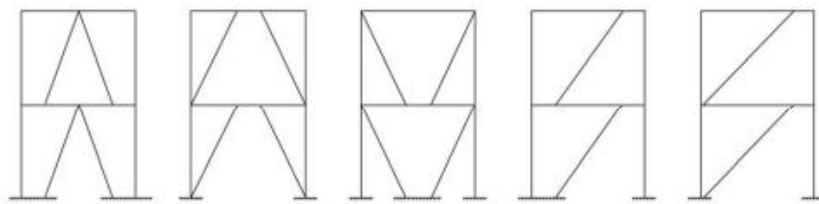
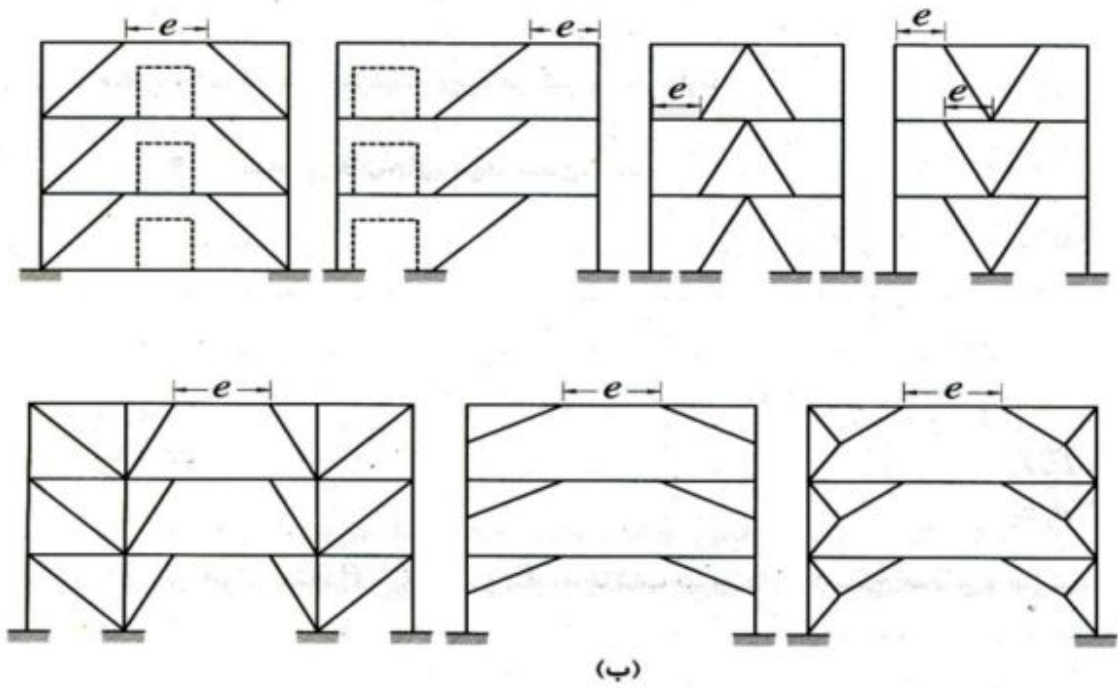
مهار بند قطری
(Diagonal)

مهار بند V وارونه
(Inverted Chevron)

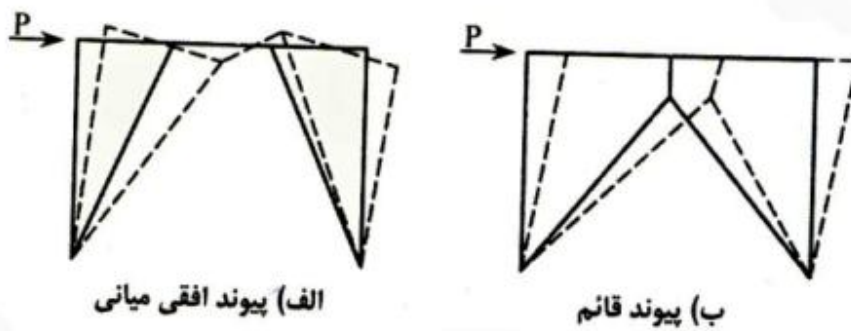
مهار بند V
(Chevron)



مهار بند K



انواع متداول مهاربندهای واگرا EBF

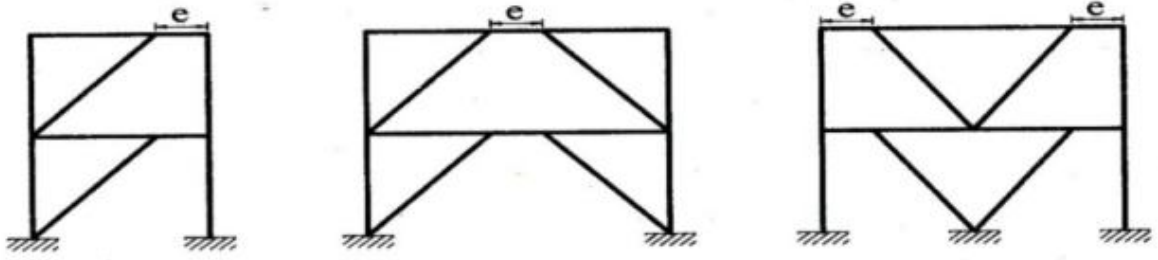


الف) پیوند افقی میانی

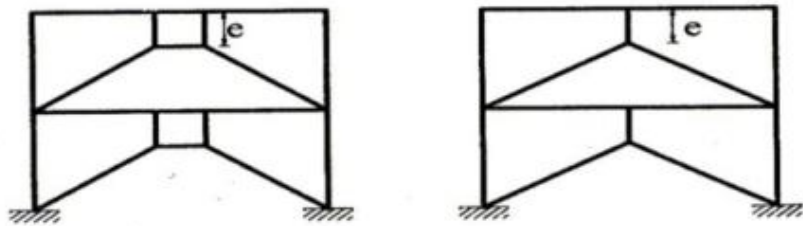
ب) پیوند قائم

قابهای مهار بندی شده برون محور (واگرا) با پیوند افقی (H-EBF)

قابهای مهار بندی شده برون محور (واگرا) با پیوند قائم (V-EBF)

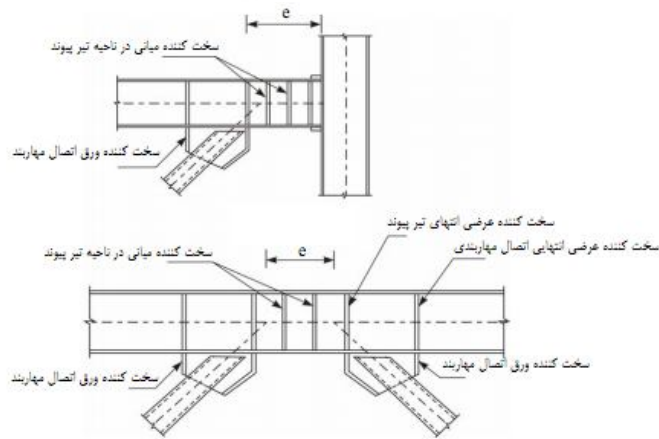


الف) با پیوند افقی

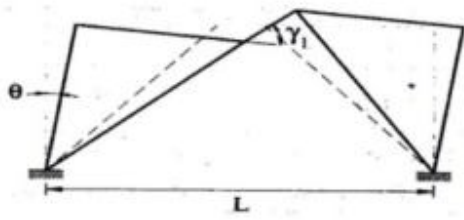


ب) با پیوند قائم

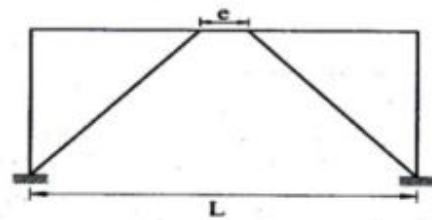
انواع قاب‌های مهاربندی شده واگرا



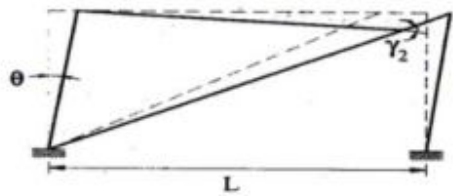
جزئیات تیر پیوند



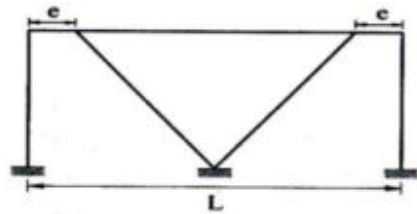
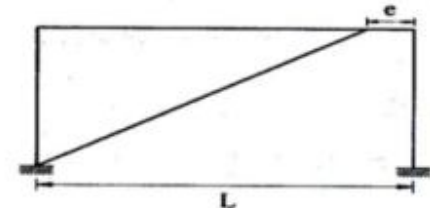
الف) پیوند میانی



ب) پیوند کناری تک



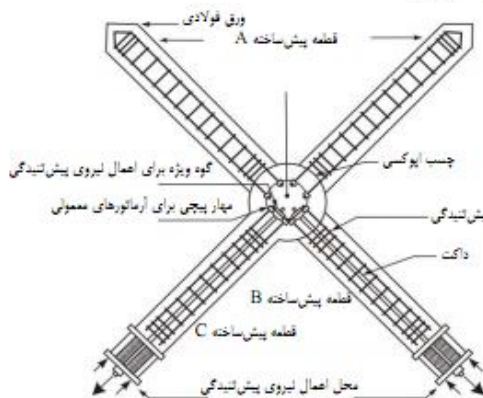
ج) پیوند کناری جفت



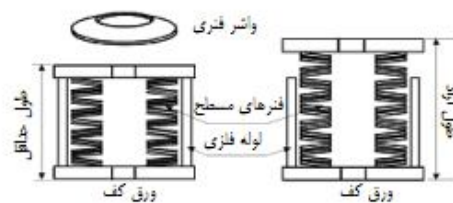
نمایش مقدار دوران و مقایسه تغییر مکان جانبی در پیوند انتهایی و میانی H-EBFs



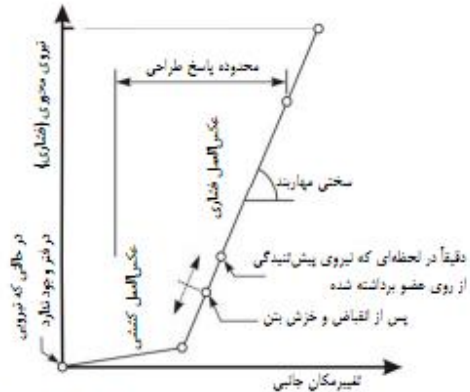
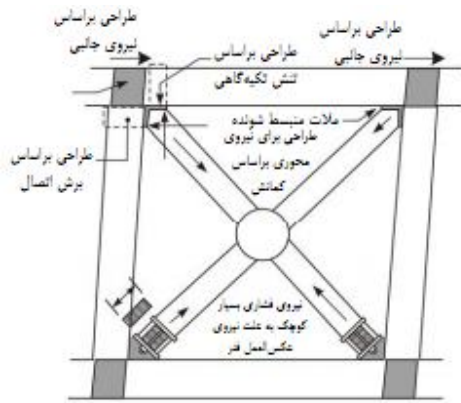
نمونه‌ای از مهاربند بتنی پیش‌تیبده و پیش‌ساخته



مونتاز مهاربند بتنی پیش‌تیبده و پیش‌ساخته



تجهیزات فنر مسطح و لوله فلزی



۱ پاسخ محوری عضو مهاربندی در برابر بار جانبی

۳: قاب خمشی یا صلب: بعد از جنگ جهانی دوم اجرای سازه های بتنی آغاز شده و ساختمانهای بتنی به دلیل

اجرای هم زمان قاب ان به فرم قاب خمشی ساخته میشود البته میتوان سازه های فلزی را نیز به فرم قاب خمشی اجرا نمود. به هر حال در قاب خمشی نیروهای ثقلی و جانبی در تکه گاههای تیرها لنگر خمشی ایجاد میکند و نیز تیرها و ستونها در تحمل تمامی نیروهای وارده باهم وارد عمل می شوند لذا تحلیل المانهای این نوع قابها باید همزمان انجام گیرد.

سیستمی که در آن تیر به ستون گیردار می شود را سیستم قاب صلب (خمشی) میگویند. در این روش نیروی زلزله توسط ستونها، تیرها و اتصالات تحمل می شود. رفتار اعضا خمشی - محوری می باشد. البته میتوان گفت که در اکثر موارد، رفتار خمشی حاکم است و مد تغییر شکل قاب برشی است

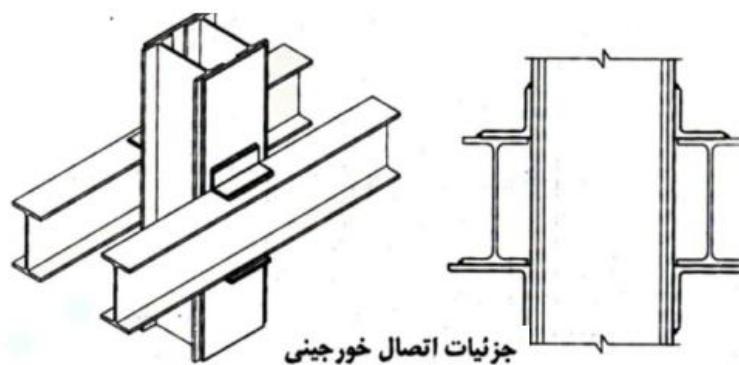
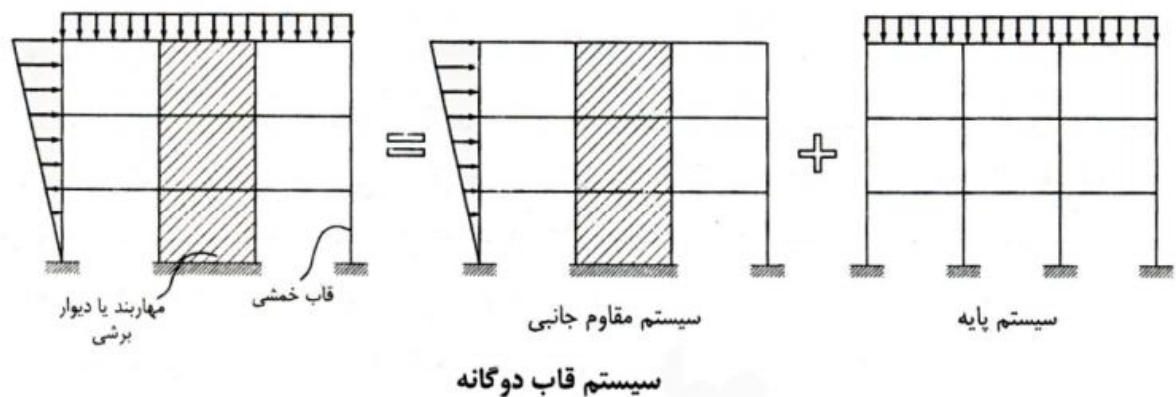
۱- قاب خمشی با شکل پذیری کم و معمولی

۲- قاب خمشی با شکل پذیری متوسط

۳- قاب خمشی با شکل پذیری زیاد و ویژه

۴: قاب خمشی مهاربندی شده: گاه نیروهای جانبی به قدری زیاد بوده که المانهای تیر و ستون قاب خمشی

به تنهایی قادر به تحمل آن نمی باشد لذا از مهاربندهای مختلف برای کمک به آنها استفاده می شود که نوع این مهاربندها ممکن است فلزی بوده و یا از دیوارهای برشی بدین منظور استفاده شود به هر حال باید ۳۰ درصد بارهای جانبی را خود قاب خمشی تحمل نماید (دیوارهای برشی خود انواع مختلفی دارند مثلاً: دیوار برشی با المان مرزی - بدون المان مرزی - با باز شو - بدون باز شو - دیوار برشی کوپل و...) سیستم های فوق معروفترین و متداولترین سیستم سازه ای می باشند اکنون به معرفی سیستم های جدید تر می پردازیم.



۵: سیستم طره ای : این نوع سیستم به ندرت اجرا می شود و تقریباً بدترین نوع سازه می باشد چرا که در مقابل بارهای جانبی بسیار ضعیف عمل می کند.

۶: سیستم فضایی و پوسته ای : عالی ترین و بهترین نوع سازه ای بوده و کاملترین رفتار در مقابل بارهای جانبی و ثقلی دارد اما اجرای آن بسیار مشکل است و امروزه فقط برای پوشش سقفهای سبک با دهانه های بزرگ استفاده می شود و تنها یک ساختمان ۲۵ طبقه در هنگ کنگ که بانک مرکزی هنگ کنگ است با این سیستم ساخته شده است.

۷: سیستم معلق : یکی از معروفترین سیستمها برای پل سازی است اما در ساختمان سازی و بلند مرتبه سازی هم ندرتاً مورد توجه قرار می گیرد در این سیستم برخی المانها به فرم کششی برای تحمل بارهای ثقلی طرح می شود که اکثراً کابلهای کششی با مقاومت زیاد می باشند پلهای بزرگ مثل گلدین گیت در سانفرانسیسکو و ساختمان ۲۵ طبقه ی مرکز پلیس سیاتل با این سیستم طرح شده اند.

۸: سیستم هسته ای : در این روش بارهای ثقلی توسط یکی از روشهای فوق مثلاً قاب مفصلی طراحی شده و بارهای جانبی بر هسته ی سازه وارد می شود هسته به دو فرم هسته ی باز و بسته می تواند اجرا شود درحقیقت هسته همان دیوارهای برشی در پروفیلهای مختلف در مقیاس بزرگ می باشد. مثلاً به شکل U که همان هسته ی باز است.

لازم به ذکر است که در طراحی هسته بایستی اثر پیچش دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد اما به دلیل مشکل بودن محاسبات پیچش در گذشته این بررسی صورت نمی گرفت ولی امروزه به دلیل وجود ماشینهای حسابگر دقیق اثر پیچش نیز دقیقاً مورد محاسبه قرار می گیرد. مجموعه اپارتمانهای در دست احداث در منطقه ی شاهگلی تبریز با این روش ساخته می شود این سیستم برای ساختمانهای بین ۲۰ الی ۳۵ طبقه مناسب است.

۹: سیستم قاب محیطی: عالی ترین و پیشرفته ترین فرم ساختمان سازی می باشد که برای ساختمانهای بالای ۱۵۰ طبقه می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این سیستم بارهای جانبی به قاب محیطی وارد می شود و نیز قاب محیطی خود نمای جالبی به ساختمان می دهد. برجهای دوقلوی سازمان تجارت جهانی در نیویورک که مورد حمله ی تروریستی قرار گرفت تحت این سیستم ساخته شده بودند. یکی از نکات مهمی که باید در طراحی این سیستم مورد توجه قرار گیرد بررسی اثر shear lag در قاب محیطی است اگرچه برخی از مهندسين براین باورند که اثر shear lag در آن وجود ندارد اما برخی دیگر در وجود این اثر اصرار میکنند من خودم نیز در وجود اثر shear lag در قاب محیطی معتقدم اما باید گفت که هرگز نمی توان مقدار واقعی این اثر را محاسبه نمود لذا برای حل این مشکل سیستم زیر پیشنهاد می شود.

۱۰: قاب محیطی مهاربندی شده: در این حالت کل قاب محیطی توسط مهاربند های کلی و بزرگ مهاربندی می شود و تنها وجود مهاربندها برای حذف اثر احتمالی shear lag میباشد و باز نیروهای جانبی را خود قاب محیطی تحمل میکند. ساختمانی را که در جهان با این روش ساخته شده باشد را بنده اطلاع ندارم. . .

۱۱: مجموعه قاب محیطی: این سیستم نیز مانند قاب محیطی می باشد با این تفاوت که ساختمان از چند قاب محیطی تشکیل یافته است به عنوان مثال برج سیرزتاور در شیکاگو که بلندترین برج امریکا می باشد که از چهار قاب محیطی ساخته شده است.

۱۲: سیستم قاب با کلاهک خر پایی ۱

به این سازه ها ساختمان با مهار بازویی نیز اطلاق می گردد. در این سیستم برای کاهش تغییر مکان سازه و ممان وارده ناشی از زلزله از یک هسته مرکزی استفاده میشود. سپس بسته به نظر طراح به ازای هر چند طبقه یکی از طبقات را با استفاده از خرپاهای متقاطع، سخت کرده، سپس توسط مهارهای بازویی این طبقات را به هم متصل می کنیم. این مهارها در فشار و کشش کار می کنند. هر چه تعداد این طبقات سخت در سازه بیشتر باشد، رفتار سازه در زلزله بهتر است. در هر طبقه که از این طبقات سخت استفاده شود، ممان به شدت کاهش می یابد

۱۳: سیستم لوله قابی ۲

این سیستم که به سیستم لوله‌ای نیز معروف است از یک سری ستونهای عریض به فاصله‌های کم و یک سری تیرهای عمیق به عمق حدود ۸۰ الی ۱۵۰ سانتی متر استفاده میشود. این سیستم همانند یک جعبه عمل می‌کند که می‌توان آن را همانند یک تیر طره که از پایین گیردار است در نظر گرفت.

۱۴: سیستم دال طره شده

در این سیستم کفها به یک هسته مرکزی متکی می‌باشند و فضای بدون ستونی را ایجاد می‌کنند. در این روش مقدار زیادی فولاد لازم است. به خصوص وقتی که پیش آمدگی دال‌ها زیاد باشد

۱۵: سیستم دیواره‌های بار بر موازی

این سیستم از عناصر قائم صفحه‌ای تشکیل شده است که بوسیله وزن خود پیش‌تینده گردیده است و از این رو نیروهای جانبی را بطور مؤثری جذب می‌کنند. سیستم دیوارهای موازی اکثراً برای ساختمانهای آپارتمانی به کار می‌رود که در آنها فضاهای آزاد بزرگ لازم نیست و سیستم‌های مکانیکی سازه‌های هسته‌ای را ایجاد نمی‌کنند.

۱۶: سیستم هسته‌ها و دیوارهای باربر نمایی

عناصر صفحه‌ای قائم در حول سازه هسته دیوارهای خارجی را تشکیل می‌دهند. در این روش فضاهای داخلی باز ایجاد می‌شود که وسعت آنها بستگی به ظرفیت کف سازه در پوشاندن دهانه‌ها دارد

۱۷: سیستم صندوقهای بر خود متکی ۳

صندوقها واحدهای سه بعدی پیش ساخته‌ای هستند که وقتی در محل قرار می‌گیرند و به یکدیگر متصل میشوند به سازه با دیوارهای باربر شبیه می‌گردند. صندوقها مانند آجرهایی با طرح موسوم به طرح انگلیسی روی یکدیگر قرار داده شده و ایجاد یک سیستم تیر دیواری متقاطع می‌کنند

۱۸: سیستم دال مسطح

این سیستم صفحه‌ای افقی، به طور کلی شامل دالهای بتنی کف با ضخامت یکنواخت میباشد، که روی ستونها اتکا دارند. در صورت نبودن قطعه آویزان و یا قطعه فوقانی در بالای ستونها این سیستم به نام سیستم صفحه مسطح خوانده می‌شود. در هر دو صورت در این روش تیرهای با ارتفاع زیاد وجود ندارند و به حداقل ارتفاع طبقه می‌توان دست یافت

۱۹: سیستم فاصله گذاری

سازه های قاب طره ای، برای ایجاد فضای قابل استفاده در داخل و بالای قاب، به صورت یک طبقه در میان بکار برده می شود. فضای درون طبقه قاب دار برای عملیات ثابت به کار می رود و فضای باز بالای قاب را می توان برای هر نوع فعالیتی مناسب کرد

۲۰: سیستم معلق ۴

در این سیستم با به کار بردن عناصر معلق بجای ستونها به منظور حمل بارهای کف استفاده میگردد. مقاومت یک عضو فشاری را بدلیل کمانش باید کاهش داد. این مساله در مورد یک عضو کششی مطرح نیست و می توان از ظرفیت کامل آن استفاده کرد. در این سیستم، کابلها بارهای وزن را به خرپاهایی که از هسته مرکزی طره شده اند حمل می کنند.

۲۱: سیستم خرپای متناوب ۵

در این سیستم خرپاهایی به ارتفاع طبقه چنان قرار می گیرند که کف هر طبقه به طور یک در میان روی یک قسمت تحتانی و یا فوقانی یک خرپا واقع می شود. قرار گرفتن خرپاها بدین صورت، علاوه بر حمل بارهای قائم، لزوم مهاربندی باد را با انتقال بارهای ناشی از باد به پایه ساختمان بوسیله اعضای جان خرپا و دال کف به حداقل می رساند.

۲۲: سیستم قاب صلب و هسته مرکزی

قاب صلب بارهای جانبی را اساساً بوسیله خمش تیرها و ستونها تحمل می کند. این نوع رفتار منجر به تغییر مکان جانبی زیاد در ساختمانهای مرتفع می گردد. اما مقاومت جانبی ساختمان با وارد نمودن یک سازه هسته ای در اثر عمل متقابل هسته و قاب به طور قابل توجهی افزایش می یابد. چنین سیستم های هسته ای، دستگاههای مکانیکی حمل و نقل را در خود جای می دهند.

۲۳: سیستم قاب خرپایی ۶

ترکیب نمودن یک قاب صلب یا مفصلی با خرپاهای برشی قائم بر مقاومت و سختی سازه می افزاید. طرح سازه ممکن است بر اساس استفاده از قاب برای مقاومت در مقابل بارهای وزن و خرپای قائم برای بارهای باد، مشابه با حالت قاب صلب و هسته مرکزی صورت می گیرد

۲۴: سیستم لوله در لوله ۷

4 -Suspension Building

5 -Staggered Truss

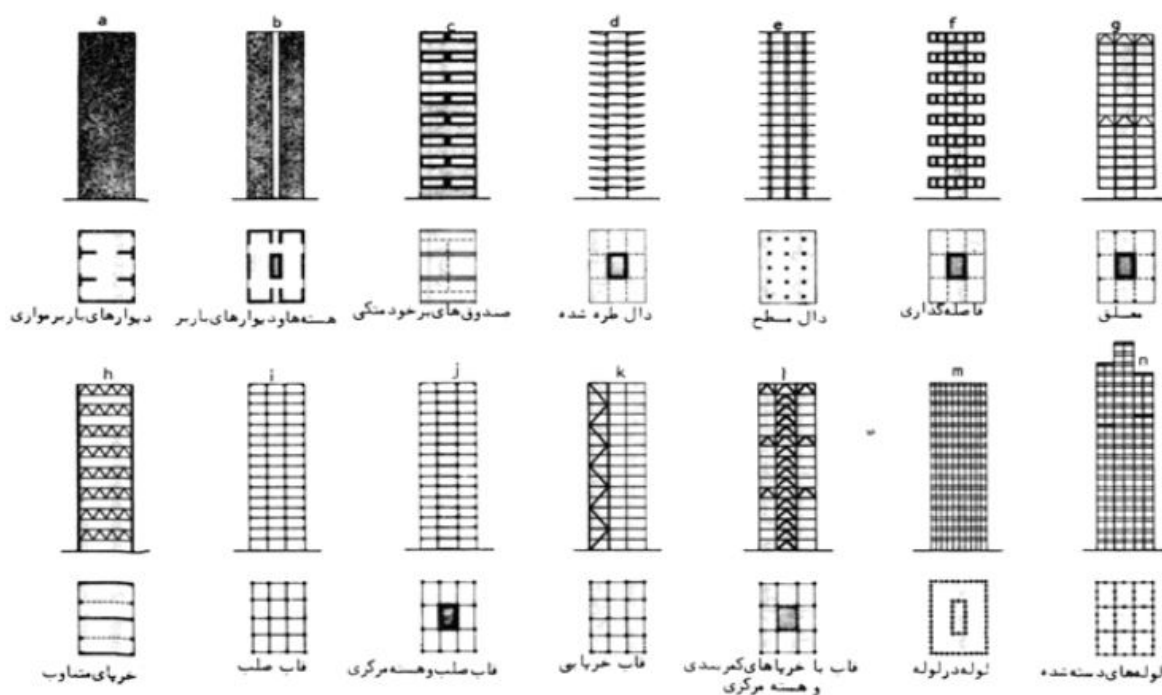
6 -Trussed Frame

7 -Tube In Tube

ستونها و تیرهای خارجی ساختمان چنان مجاور هم قرار داده می شوند که نمای ساختمان ظاهراً شبیه دیواری با سوراخهای متعدد پنجره ای می باشد و تمام ساختمان مانند یک لوله توخالی که از زمین طره شده باشد عمل می کند. لوله داخلی با لوله نما در حمل بارها سهیم می باشد و بر سختی ساختمان می افزاید

۲۵: سیستم لوله های دسته شده

سیستم لوله های دسته شده را می توان به صورت مجموعه ای از لوله های انفرادی تجسم کرد که تشکیل یک لوله چند واحدی را می دهند. بدین ترتیب آشکار است که بر سختی سازه افزوده می گردد. این سیستم برای ساختمانهای بسیار بلند با سطح زیربنای بسیار زیاد بکار می رود



۲۶: سازه های لوله ای مهاربندی شده

راه دیگر افزایش بازدهی قابهای محیطی در جهت افزایش فاصله بین ستونها و بالا بردن پتانسیل آن برای استفاده در ساختمانهای بلندتر اضافه کردن مهاربندهای قطری در پیرامون سازه است. این نوع سازه اولین بار در سال ۱۹۶۹ در ساختمان جان هانکوک ۸ شیکاگو و سپس به سال ۱۹۸۵ در ساختمان بتنی خیابان سوم ۹ نیویورک به کار گرفته شد. در قاب محیطی فلزی، مهاربندها بر روی قابهای اطراف ساختمان به صورت مورب قرار میگیرند. ولی در

سازه بتنی، مهاربندها شامل پانلهای بتنی به ابعاد بازشوها می باشند که در جا با قابها ریخته شده و به صورت قطری در وجوه ساختمان اجرا می گردند.

از آن جا که مهاربندهای قطری در هر تقاطع به ستونها متصل می شوند، لنگی برش را عملاً در جان و بال قابها حذف می کنند. در نتیجه رفتار سازه تحت اثر بارهای جانبی بسیار شبیه قابهای مهاربندی شده است، به اضافه این که خمش در اعضای قابها نیز به مقدار زیادی کاهش می یابد. لذا فاصله بین ستونها بیشتر و عمق شاه تیرها کمتر و ابعاد بازشوها در مقایسه با قابهای محیطی معمولی بزرگتر خواهد شد.

در سازه قاب محیطی مهاربندی شده، مهاربندها کارآیی قابهای محیطی در تحمل بارهای قائم را نیز افزایش می دهند. در این فرم سازه ای اختلاف تنشهای ناشی از بارهای قائم در ستونها، با انتقال بارهای محوری توسط مهاربندها از ستونهای با تنش زیاد به ستونهای با تنش کم از بین رفته، در نتیجه تنشها یکنواخت می گردند

۲۷: قاب های میان پر ۱۰

در بسیاری از کشورها، قابهای میان پر متداولترین فرم سازه ای برای ساختمانهای بلند تا ۳۰ طبقه است. در این نوع سازه ها، قابهای بتن آرمه و گاهی فولادی با مصالح بنایی نظیر آجر یا بلوک سیمانی و یا بتن در جا پر می شوند. هنگامیکه یک قاب میان پر تحت اثر بار جانبی قرار می گیرد، پرکننده ها بعنوان اعضای مهاربندی های قطری فشاری بطور موثری عمل می کنند. از آنجا که پرکننده ها کار دیوارهای خارجی و یا تیغه های داخلی را نیز انجام می دهند، سیستمی اقتصادی برای مقاوم ساختن و سخت نمودن سازه می باشند.

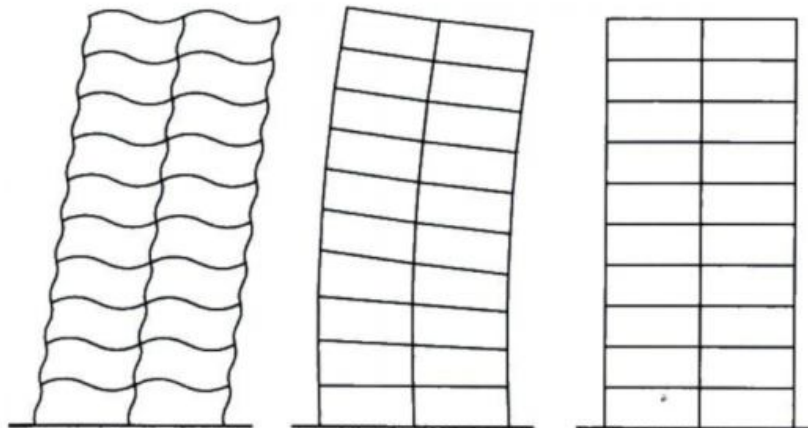
رفتار پیچیده پرکننده در قاب و عدم یکنواختی کیفیت مصالح بنایی، تعیین دقیق مقاومت و سختی، قابهای میان پر را با مشکل مواجه می سازد. تاکنون - زمان نگارش - برای آنالیز قابهای میان پر، روشی که مورد قبول همگان باشد ارائه نشده است. لذا به دلایل مزبور و ترس از برداشتن نا آگاهانه احتمالی دیوارها در زمانی در طول عمر ساختمان، از پرکننده ها برای مهاربندی سازه های بلند، فقط بعنوان مکمل در قابهای صلب بتن آرمه استفاده شده است

(۱) تغییر شکل جانبی ناشی از خمش طره: یا رانش و تری، بر اثر کوتاه و بلند شدن طول ستون ایجاد می شود

حدود ۲۰٪ تغییر شکل جانبی کل سازه را تشکیل می دهد

(۲) تغییر شکل ناشی از خمش تیرها و ستونها: به لنگی برشی نیز معروف است حدود ۸۰٪ تغییر شکل جانبی

کل سازه را تشکیل می دهد که ۶۵٪ ناشی از خمش تیرها و ۱۵٪ ناشی از خمش ستونها می باشد



(ج)

(ب)

(الف)

نمونه‌ای از قاب خمشی و انواع تغییر شکل‌های ناشی از بارهای جانبی در آن؛

الف) قاب خمشی؛ ب) تغییر شکل رانش و تری؛ ج) تغییر شکل لنگی برش

سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی	سیستم سازه
۱- دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه ۲- دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط ۳- دیوارهای برشی بتن آرمه معمولی ۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	الف - سیستم دیوارهای باربر
۱- دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه ۲- دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط ۳- دیوارهای برشی بتن آرمه معمولی ۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح ۵- مهاربندی برون محور فولادی ۶- مهاربندی هم محور فولادی	ب - سیستم قاب ساختمانی ساده
۱- قاب خمشی بتن آرمه ویژه ۲- قاب خمشی بتن آرمه متوسط ۳- قاب خمشی بتن آرمه معمولی ۴- قاب خمشی فولادی ویژه ۵- قاب خمشی فولادی متوسط ۶- قاب خمشی فولادی معمولی	پ - سیستم قاب خمشی
۱- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه ۲- قاب خمشی بتنی متوسط + دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط ۳- قاب خمشی فولادی متوسط + دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط ۴- قاب خمشی فولادی ویژه + مهاربندی برون محور فولادی ۵- قاب خمشی فولادی ویژه + مهاربندی هم محور فولادی ۶- قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربندی برون محور فولادی ۷- قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربندی هم محور فولادی	ت - سیستم دوگانه یا ترکیبی

روشهای کنترل نیمه فعال

سیستم های کنترل نیمه فعال سیستم هایی از کنترل فعال می باشند که انرژی خارجی مورد نیازشان بسیار کمتر از سیستمهای کنترل فعال معمول است. نمونه هایی از چنین دستگاههایی عبارتند از:

میراگرهای بامنفذ خروجی متغیر: میراگر با منفذ خروجی متغیر، با تنظیم جریان سیال موجود در یک محفظه، می تواند نیروی عکس العمل میراگر را کنترل نماید.

میراگرهای مبتنی بر سیال کنترل پذیر: در مورد این میراگرها، اساس کار به این صورت است که سیالاتی وجود دارند که خصوصیات فیزیکی آنها تحت اثر یک تحریک خارجی مانند اثر ناشی از قرارگیری در یک میدان الکترومغناطیسی تغییر می یابد. اساس عملکرد میراگرهای مبتنی بر سیال کنترل پذیر، بر کنترل نیروهای داخلی در چنین سیالاتی قرار دارد.

آلیاژهای شکل یاب: آلیاژهای شکل یاب موادی هستند که تحت بارگذاری، قادر به تحمل کرنشهای پلاستیک بزرگ بوده و متعاقباً می توانند طی یک روند حرارتی مناسب شکل اولیه خود را بازیابند. این تغییر غیرعادی اثر شکل یابی نامیده میشود.

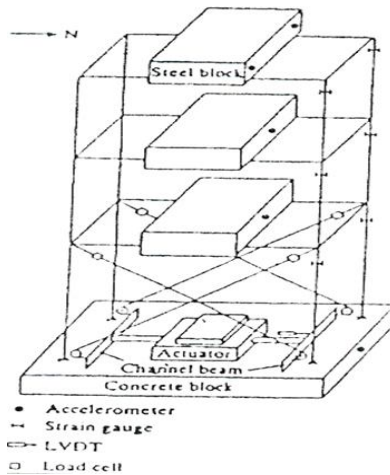
به عنوان مثالهایی دیگر از کنترل نیمه فعال می توان از میراگرهای اصطکاکی با اصطکاک متغیر، دستگاه های با سختی متغیر، سیستمهای دارای اینرسی چرخشی و میراگرهای مایع فعال نام برد.

کنترل فعال

کنترل فعال سازه ها مستلزم یک منبع انرژی خارجی می باشد تا نیروی کنترل را در فواصل کوتاه و به میزان مورد نظر به سازه اعمال نماید

سیستم مهاربندی فعال

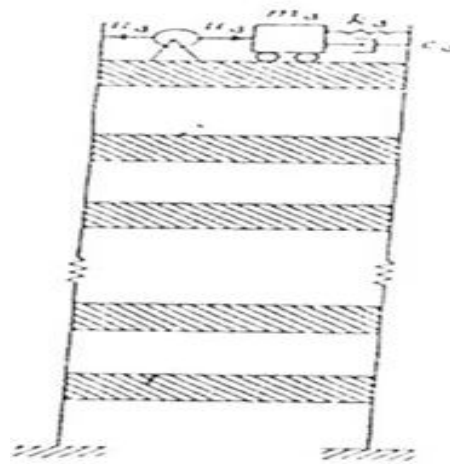
سیستم مهاربندی بصورت مجموعه ای از کابلهای پیش تنیده در نظر گرفته می شود که میزان کشش آنها توسط محرکهایی کنترل شده و از این طریق نیروی کنترل به سازه ساختمان، اعمال می گردد. این سیستم به نام سیستم مهاربندی فعال شناخته شده است. سیستم مهاربندی فعال بطور تئوریک برای استفاده در سازه های لاغر، سازه های بلند، پلها و سازه های دریایی مورد مطالعه قرار گرفته است



مدل آزمایشگاهی ساختمان سه طبقه با سیستم مهاربندی فعال

سیستم جرم-میراگر تنظیم شده فعال

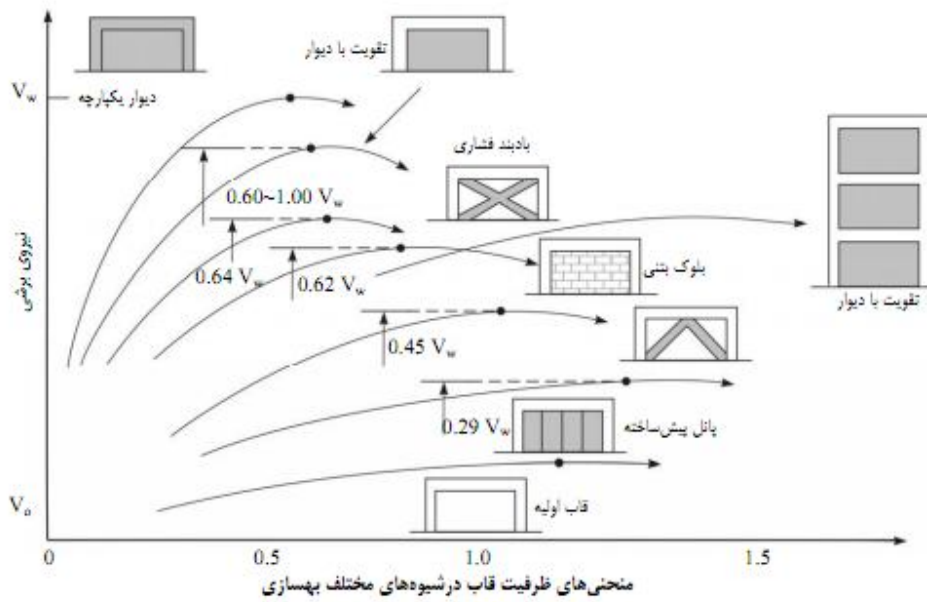
این سیستم یک جرم بزرگ در یکی از طبقات ساختمان نصب گردیده و از طریق فنرها و میراگرهایی با میزان سختی و میرایی مشخص به سازه متصل می گردد. این جرم قادر است روی یک سطح صاف و یا بر روی ریلهایی با اصطکاک ناچیز بلغزد. دستگاه محرک در تراز همان طبقه و یا طبقات مجاور نصب گردیده و با دستور پردازشگر در هر لحظه، نیروی کنترل را به جرم مذکور وارد میسازد که از این طریق ارتعاشات سازه کنترل می گردد.



شماتیک سیستم جرم میراگر فعال

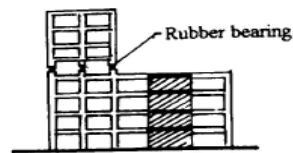
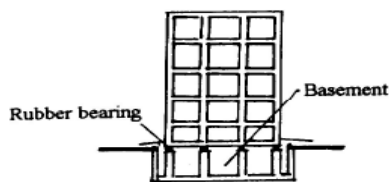
روشهای کنترل توام یا مختلط

این روش شامل دو سیستم کنترل فعال و غیر فعال بصورت توام می باشد که در ابتدای تحریک، کاهش ارتعاشات سازه توسط سیستم غیر فعال صورت گرفته و پس از رفع تاخیر زمانی، سیستم فعال نیز وارد عمل می شود و در اینجا سیستم فعال ممکن است به فعالیت خود ادامه داده و یا در صورت عدم نیاز به آن از دور خارج شود.



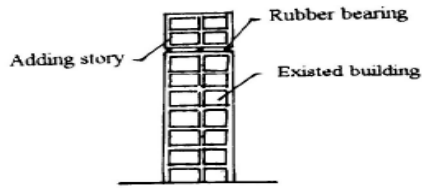
مقایسه رفتار کیفی سیستم های مختلف سازه ای

شکل پذیری	مقاومت	سیستم های سازه ای
متوسط	خوب	مهارند CBF
خوب	بسیار خوب	دیوار برشی بتنی معمولی
بسیار خوب	بسیار خوب	دیوار برشی بتنی متوسط
عالی	عالی	دیوار برشی بتنی ویژه
کم	کم	میان قاب های بتنی
متوسط	متوسط	میان قاب های مسلح
عالی	عالی	مهارند BRBF
بسیار خوب	بسیار خوب	مهارند EBF
عالی	بسیار خوب	مهارند ADAS
متوسط	متوسط	قاب خمشی معمولی فولادی یا بتنی
خوب	متوسط	قاب خمشی متوسط فولادی یا بتنی
عالی	متوسط	قاب خمشی ویژه فولادی یا بتنی
عالی	خوب	دیوار برشی فولادی

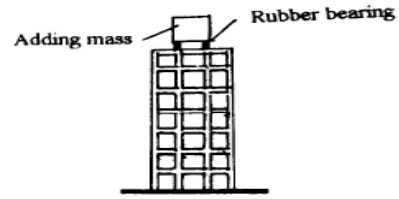


Isolators on top of column in basement Isolators in Inter-Stories Isolation (ISI) structures

TURNED STORIES DAMPING (TSD) SYSTEM

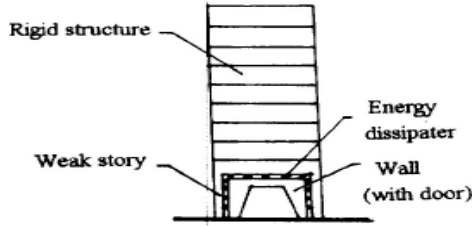


(a) Adding stories on top of building

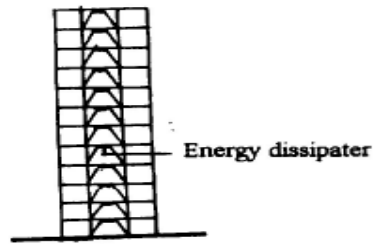


(b) Adding mass on stories of building

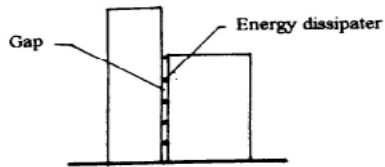
**Tuned Stories Damping (TSD) system
ENERGY DISSIPATION SYSTEM**



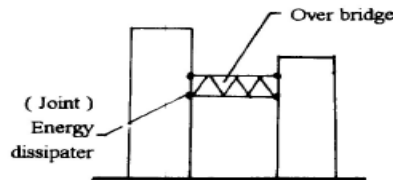
Energy Dissipation Art Wall



Energy Dissipation Art Bracing

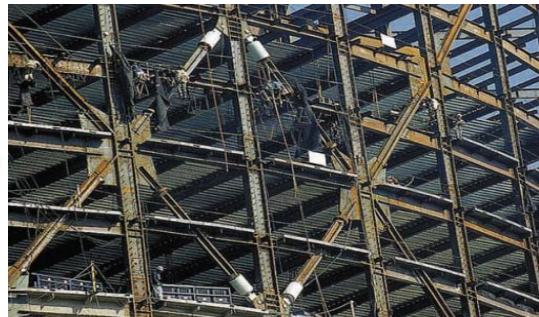
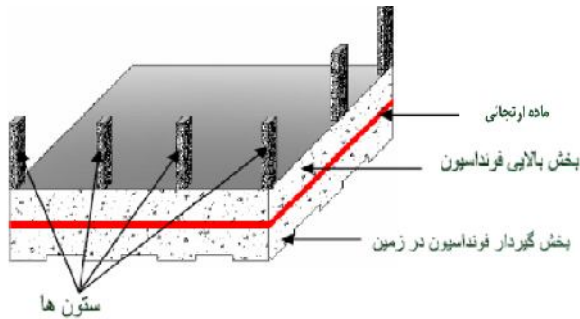


(a) Energy dissipaters in the gap

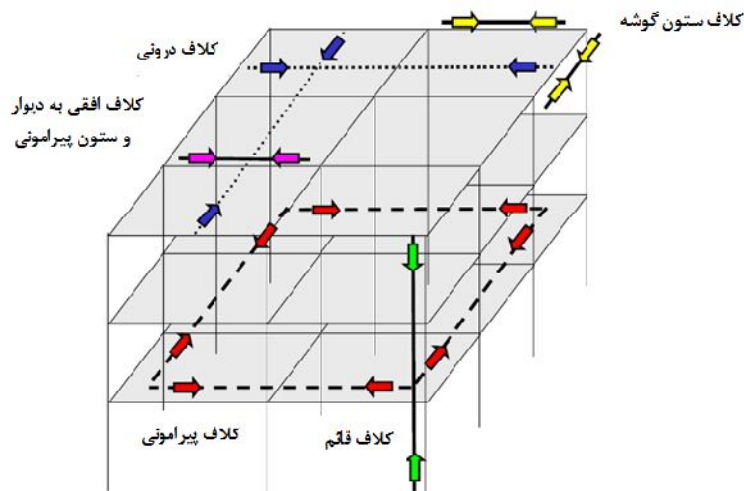


(b) Energy dissipaters in connection joint

Energy Dissipation Joint



نوعی جداگر لرزه ای برای شکل پذیر کردن رفتار روسازه و استهلاک انرژی زلزله یا انفجار
نوعی دمپر خاص برای میرا کردن انرژی و امواج زلزله و انفجار



تصویری از نیروهای داخل کلاف‌ها در قاب ساختمانی

منابع

- [۱] عادل، ح. سازه های ساختمان بلند، انتشارات دهخدا، چاپ اول، بهار ۱۳۵۸.
- [۲] استفورد اسمیت، ب، ترجمه دکتر حسن حاجی کاظمی، آنالیز و طراحی سازه های بلند، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم، بهار ۱۳۷۹.
- [۳] ایمان الیاسیان، سیستم سازه ای سازه های بلندسایت civil808.com
- [۴] ایمان الیاسیان، انواع سیستمهای سازه های ساختمان بلند سایت iransaze.com
- [۵] ایمان الیاسیان، سیستمهای سازه ای ساختمان بلند با رویکرد برجهای دوقلوی پتروناس مالزی سایت iransaze.com
- [۶] Safe rooms and Shelters Protecting People Against Terrorist Attacks, FEMA453, May 2006
- [۷] ایمان الیاسیان، کنترل ارتعاشات در سازه سایت iransaze.com
- [۸] ایمان الیاسیان کاربرد آلیاژ حافظه دار شکلی سایت iransaze.com
- [۹] ایمان الیاسیان، نقش میراگرها در مقاوم سازی سازه ها و استهلاک انرژی سایت iransaze.com
- [۱۰] ایمان الیاسیان، استهلاک انرژی از طریق جداگر لرزه ای سایت iransaze.com