فصل ۹

سامانه‌های ساختمانی

هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

۱. سامانه‌ی ساختمانی را تعریف نماید.

۲. مسیر انتقال بار در سازه‌های فولادی را شرح دهد.

۳. سامانه‌های باربر قائم و جانبی لرزه‌ای را تعریف کند.

٤. عناصر یا اجزای سامانه‌ی باربر قائم را شرح دهد.

۵. انواع سامانه‌های باربر جانبی را شرح دهد.

٦. سامانه‌های متداول در ساختمان‌های اسکلت فولادی را نام ببرد و ویژگی هر کدام را شرح دهد.

۹-۱- تعریف سامانه‌های ساختمانی

نحوه‌ی انتقال بارهای قائم و جانبی در سازه بستگی به نحوه‌ی ترکیب و آرایش اعضای باربر قائم سازه‌ای نظیر ستون‌ها، تیرها و اعضای باربر جانبی نظیر مهاربندها و نحوه‌ی اتصال این اعضا دارد. به این ترکیب سامانه‌ی ساختمانی (سیستم ساختمانی- Structural system) گویند.

۹-۲- مسیر انتقال بار در سازه‌های فولادی

سازه‌های فولادی شامل عناصر باربر قائم نظیر تیر و ستون به شکل قاب و عناصر باربر جانبی نظیر مهاربندها یا دیوارهای برشی می‌باشد. بدیهی است انتقال بارهای افقی و قائم از طریق این اجزاء صورت می‌گیرد.

۹-۳- سامانه‌های باربر قائم

سامانه‌ی باربر قائم قسمتی از سازه است که برای تحمل بارهای ثقلی به کار گرفته می‌شود.

۱- بارهای قائم ابتدا به سقف سازه (عنصر باربر اول) وارد می‌شود و از طریق آن به شاهتیرها (عنصر باربر دوم) منتقل می‌شود.

۲- شاهتیرها عنصر باربر دوم بوده و بار را از سقف گرفته و به دو انتهای خود یعنی محل اتصال به ستون منتقل می‌کنند.

۳- ستون‌ها که عنصر باربر سوم می‌باشند، بارها را از تکیه‌گاه‌های دو سر تیر به شالوده(عنصر باربر چهارم) انتقال می‌دهند.

ماهیت انتقال بار از طریق تیرها به تکیه‌گاه‌ها و روش قرارگیری تیرها (تیرریزی) به عوامل زیر بستگی دارد:

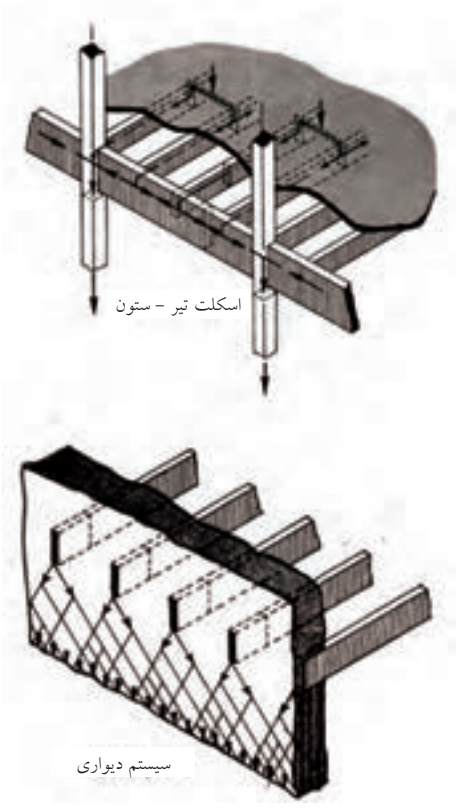
الف) نوع مقطع قابل استفاده با توجه به طراحی معماری

ب) فواصل تکیه‌گاه‌ها و طول دهانه‌ی تیر با توجه به طراحی سازه

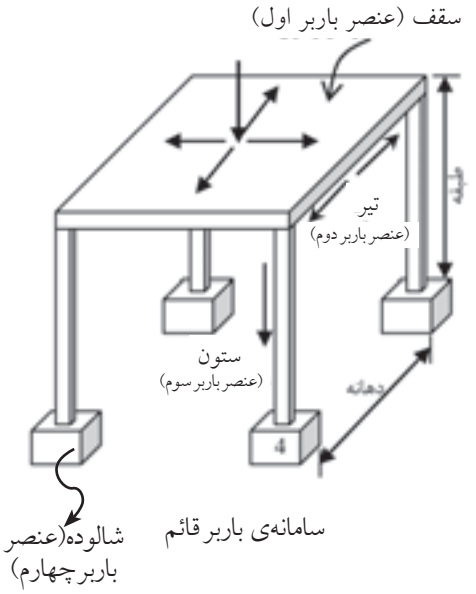
پ) روش انتقال بار توسط اجزای باربر

ت) سامانه‌ی تکیه‌گاهی انتخاب شده (صلب، نیمه‌صلب، ساده)

بارهای قائم وارد بر سازه شامل وزن ساختمان، وزن افراد و وزن تجهیزاتی است که در ساختمان وجود دارند.



مسیرهای انتقال بار



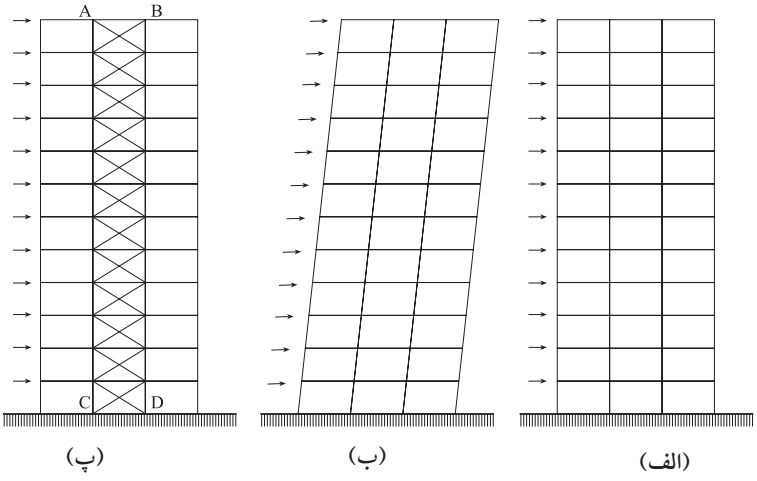
سامانه‌ی باربر قائم

۹-٤- سامانه‌های باربر جانبی

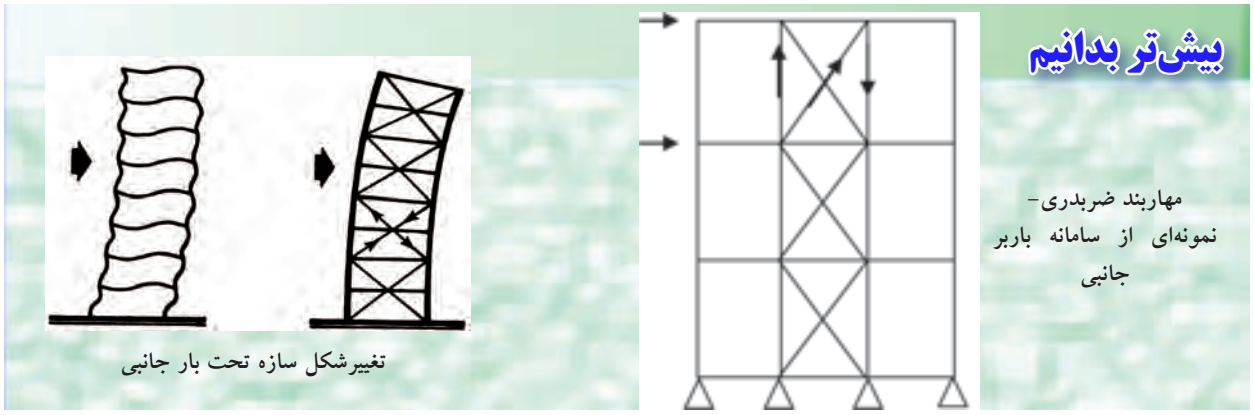
سامانه‌ی باربر جانبی قسمتی از کل سازه است که برای تحمل بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله به کار گرفته می‌شود.

در ساختمان‌های بلند اسکلت فلزی مرکب از تیر و ستون، استحکام و مقاومت آن‌ها در مقابل نیروهای جانبی (باد و یا زلزله) بستگی به درجه‌ی گیرداری اتصالات تیر و ستون‌شان دارد.

شکل ۹-۱-الف، را که نمای اسکلت یک ساختمان مرتفع است، در نظر می‌گیریم. اگراتصالات بین تیر و ستون طوری مستحکم باشند که زاویه‌ی میان آن‌ها تغییر نکند، ساختمان می‌تواند نیروهای جانبی را تحمل کند و از حالت شاقولی خارج نشود. اگرگیرداری بین تیر و ستون موجود نباشد و مثلاً اتصالات نزدیک به حالت مفصلی باشند، با وارد شدن نیروهای جانبی، زاویه‌ی بین تیرها و ستون‌ها تغییر خواهد کرد و ساختمان به وضع شکل ۹-۱-ب، به یک طرف متمایل می‌شود. واضح است که در این وضع، حالت تعادل پایدارنیست وسرانجام به خرابی ساختمان منجر خواهد شد. در حالت اخیر، اگر یک دهانه از قاب‌های ساختمان را در ارتفاع، با گذاردن قطعات چپ و راست به صورت شکل‌های مثلثی درآوریم (شکل ۹-۱-پ)، در بخش مرکزی ABCD، شکل مستحکم و تغییرناپذیری ایجاد خواهد شد و قسمت‌های دیگر ساختمان با تکیه بر روی آن حالت پایدار به خود خواهند گرفت، زیرا زوایای هر مثلث بدون تغییرطول اضلاع آن تغییر نخواهد کرد؛ به عبارت دیگر، نیروی بسیاری لازم است تا طول اضلاع تغییر یابد. انواع سامانه‌های باربر جانبی عبارتند از : قاب خمشی، دیوار برشی و مهاربندی



شکل ۹-۱- تاثیر سامانه‌ی باربر جانبی در رفتار سازه



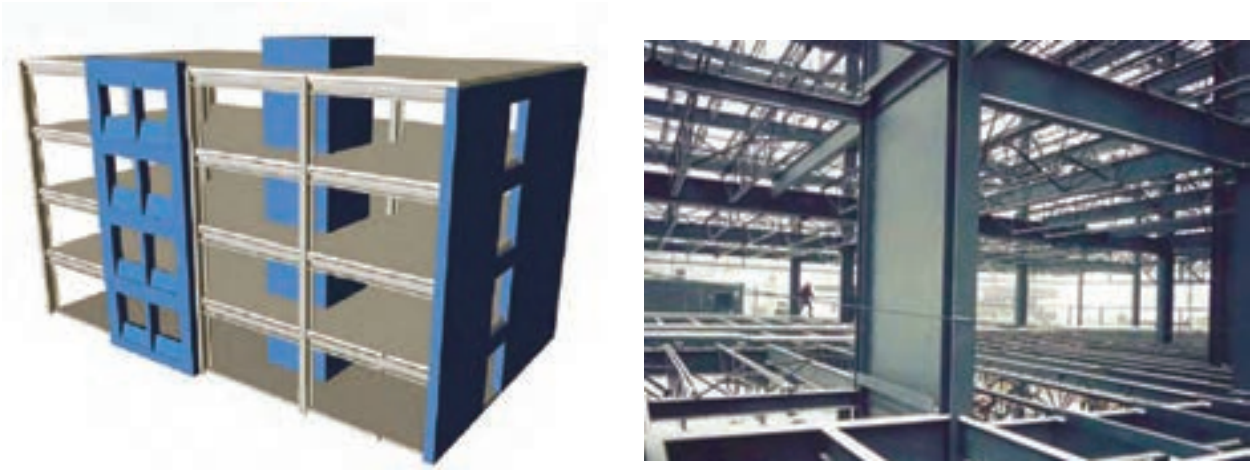
۹-٤-۱- قاب خمشی

قاب خمشی ، قابی است که در آن اتصالات تیرها به ستون‌ها به صورت گیردار است. در این نوع سامانه با بهره‌گیری از صلبیت اتصال بین تیر و ستون، نیروهای جانبی وارد به سازه مهار می‌شود.(شکل۹-۲)

شکل ۹-۲- قاب خمشی در سازه فولادی

۹-٤-۲- دیوار برشی

دیوار برشی، دیواری است عموماً بتنی که برای مقاومت در برابر نیروهای جانبی، (که در صفحه‌ی دیوار وارد می‌شوند) بکار گرفته خواهد شد. به این دیوارها دیافراگم قائم نیز گفته می‌شود.(شکل۹-۳)

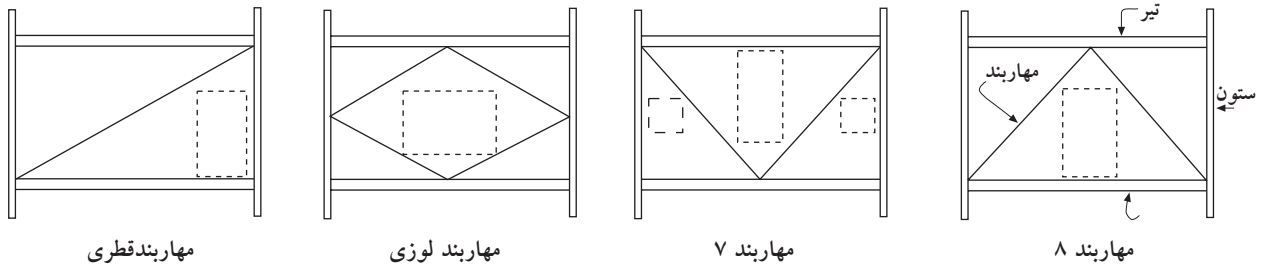


شکل ۹-۳- دیوار برشی بتنی در سازه فولادی

۹-٤-۳- قاب‌های مهاربندی شده

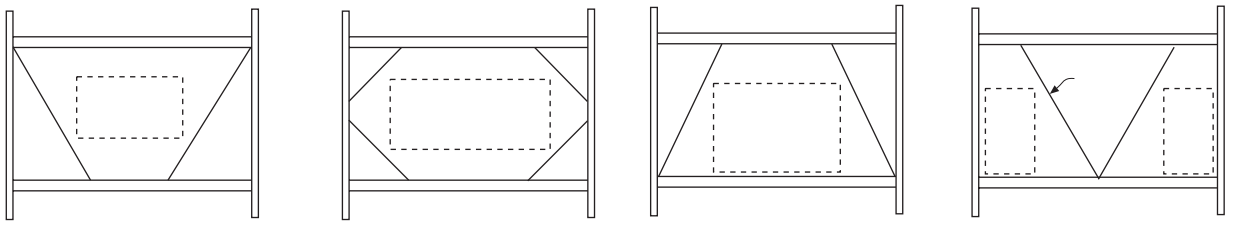
قاب‌های مهاربندی شده متشکل از اعضای قائم(ستون‌ها)، اعضای افقی(تیرها) و اعضای قطری (مهاربندها) هستند که برای مقابله با نیروهای جانبی در نظرگرفته می‌شوند و مانع کج‌شدن اسکلت ساختمان درهنگام اعمال نیروی جانبی می‌گردند. جانمایی مهاربندها در پلان ساختمان ترجیحاً باید به صورت متقارن باشد،

مهاربندها می‌توانند بصورت همگرا یا واگرا باشند. در مهاربند همگرا، محور اعضای قطری در یک نقطه از تیر یا ستون یا محل تقاطع آن‌ها متقاربند، لیکن در مهاربندهای واگرا قطرها می‌توانند از یک نقطه عبور نکنند. برحسب دلایل معماری می‌توان از انواع مهاربند مورد پذیرش آیین‌نامه‌های طراحی سازه (مثل مبحث دهم و استاندارد ۲۸۰۰) استفاده کرد. (شکل۹-٤ و ۹-۵) بطور مثال در دهانه‌هایی که می‌خواهیم از پنجره، نورگیر و یا در استفاده کنیم، از حالت‌های مختلف مهاربند مطابق شکل ۹-٤ استفاده می‌شود.



مهاربند ۸ | مهاربند ۷ | مهاربند لوزی | مهاربندقطری

الف- مهاربندهای همگرا



مهاربند ۷ واگرا | مهاربند ذوزنقه | مهاربند K | مهاربند ذوذنقه

ب- مهاربندهای واگرا

شکل ۹-۴- انواع مهاربند قائم در ساختمان

الف- مهاربندهای همگرا در اسکلت فولادی

ب- مهاربند ذوزنقه واگرا در اسکلت فولادی

شکل ۹-۵- نمونه‌هایی از مهاربندهای همگرا و واگرا

۹-۵- سامانه‌های متداول در ساختمان‌های فولادی متعارف

سامانه‌های متداول در ساختمان‌های فولادی عبارتنداز:

۱-سامانه‌ی نیمه اسکلت (کلاف دار)

۲-سامانه‌ی قاب با اتصالات ساده

۳-سامانه‌ی قاب با اتصالات صلب (سامانه‌ی قاب خمشی)

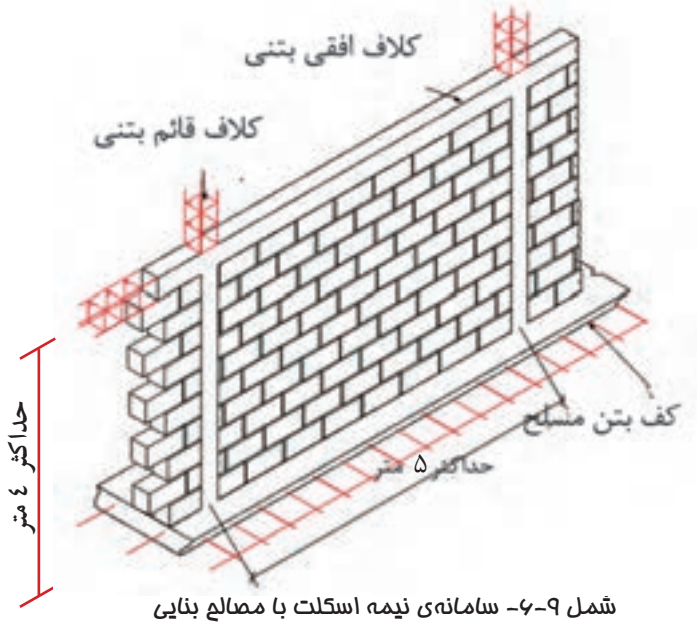
٤-سامانه‌ی دوگانه یا ترکیبی

۹-۵-۱- سامانه‌ی نیمه اسکلت کلاف‌دار

متشکل از دیوارهای باربر آجری با کلاف‌های بتنی قائم و افقی یا ستون‌های منفرد فولادی و سقفی از نوع طاق ضربی یا تیرچه بلوک می‌باشد. اکثر ساختمان‌های مسکونی موجود در شهرهای متوسط کشور با این سامانه ساخته شده یا در حال اجرا هستند. (شکل۹-٦ و ۹-۷)

طبق استاندارد ۲۸۰۰ (آیین‌نامه طرح ساختمان در برابر زلزله)، حداکثر تعداد طبقات چنین سامانه‌ای بدون احتساب طبقه‌ی زیرزمین، محدود به ۲ طبقه می‌باشد و همچنین تراز روی بام نسبت به متوسط تراز زمین مجاور نباید از ۸ متر تجاوز نماید. زیرزمین طبقه‌ای است که تراز روی سقف آن نسبت به متوسط تراز زمین مجاور از ۱/۵ متر بیشتر نباشد، درغیراینصورت این طبقه نیز به حساب تعداد طبقات ساختمان منظور می‌گردد. همچنین در چنین سامانه‌ای حداکثر ارتفاع یک طبقه ٤ متر می‌باشد. به طور کلی در این سیستم، بار قائم توسط دیوارهای باربر و یا ترکیبی از دیوارهای باربر و ستون‌های فولادی حمل می‌شود. سامانه‌ی سقف نیز ترکیبی از شاهتیرهای فولادی (یکسره یا ساده) و تیرهای فولادی با طاق ضربی (یا تیرچه بلوک) می‌باشد که بارهای وارده را به دیوارها و ستون‌ها انتقال می‌دهند. مقابله با نیروهای جانبی زلزله نیز برعهده‌ی دیوارها می‌باشد که مطابق ضوابط فصل سوم آیین‌نامه‌ی زلزله ایران باید دارای کلاف‌بندی قائم و افقی باشند.

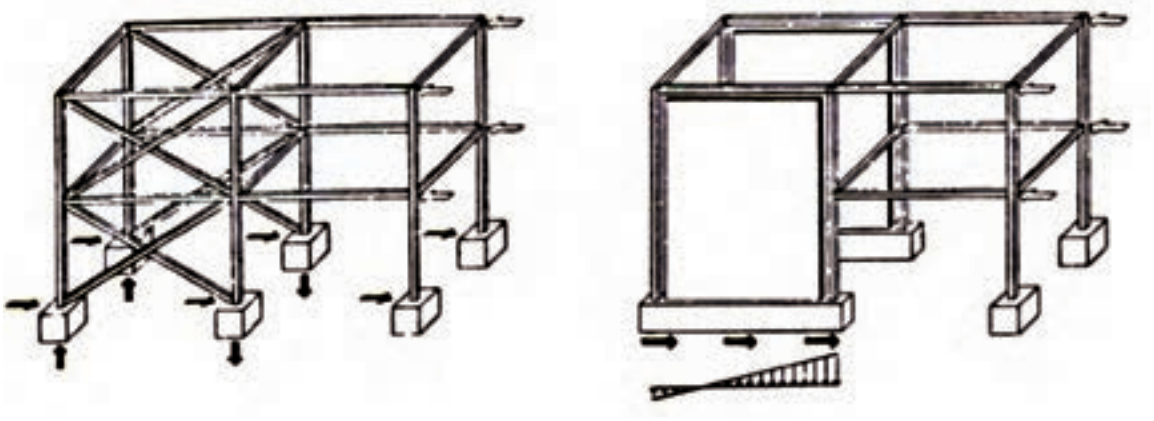
شکل ۹-۷- یک ساختمان با مصالح بنایی در حال ساخت



شکل ۹-۶- سامانه‌ی نیمه اسکلت با مصالح بنایی

۹-۵-۲- سامانه قاب با اتصالات ساده

متشکل از تیرها و ستون‌هایی است که به یکدیگر با اتصالات ساده (مفصلی) ترکیب شده و تشکیل قاب می‌دهند. در این سامانه اتصال تیر به ستون ساده بوده و هیچگونه لنگری بین این اعضا منتقل نمی‌شود.
این سامانه به تنهایی قدرت تحمل نیروهای قائم ساختمان را داشته و برای اینکه قدرت باربری نیروهای جانبی ساختمان (باد و زلزله) را نیز داشته باشد باید به کمک مهاربند و یا دیوار برشی تقویت گردد. (شکل۹-۸)
ساختمان‌های فولادی که اتصال تیر به ستون در آن‌ها بصورت نبشی نشیمن، نبشی جان و یا خورجینی طراحی شود در رده این نوع سامانه قرار می‌گیرد. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ این سامانه تا ارتفاع ۵۰ متر قابل استفاده است.
این سامانه به تنهایی کامل نیست و برای مقابله با بارهای جانبی نیاز به مهاربند یا دیوار برشی دارد.



شکل ۹-۸ – سامانه‌ی قاب با اتصالات ساده، تمام بار قائم توسط قابی متشکل از تیر و ستون با اتصالات ساده و نیروی جانبی توسط مهاربندها و دیوار برشی تحمل می‌شود.

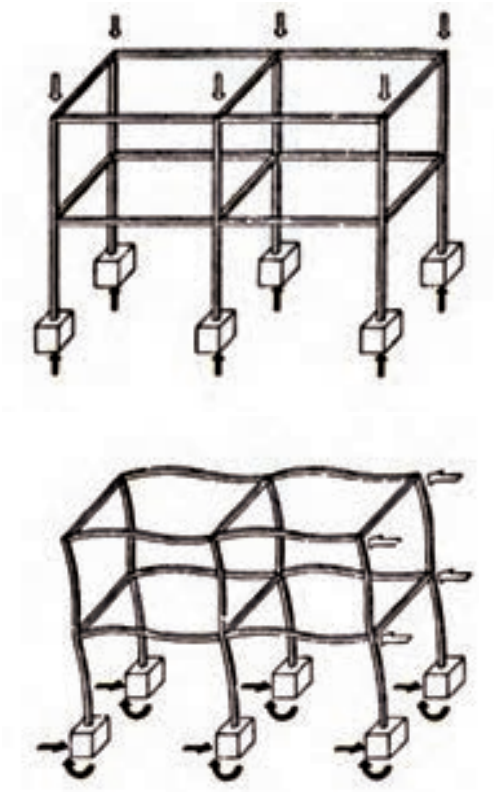
بیش‌تر بدانیم

اجرا و طراحی نا مناسب تیر و ستون و اتصالات آن‌ها که منجر به تخریب کلی سازه در زلزله شده است.

اجرا و طراحی مناسب اعضای اسکلت فولادی و پایداری آن‌ها در زلزله بم

۹-۵-۳- سامانه قاب با اتصالات صلب (سامانه قاب خمشی)

متشکل از تیرها و ستون‌هایی است که به یکدیگر با اتصالات صلب (خمشی) متصل شده و تشکیل قاب می‌دهند. یعنی اتصال قابلیت انتقال لنگر از تیر به ستون را داراست (شکل ۹-۹). این سامانه بدون هرگونه مهاربندی جانبی، قادر به تحمل نیروهای قائم و جانبی ساختمان می‌باشد. اتصال تیر به ستون با استفاده از ورق زیرسری و روسری و یا اتصال فلنجی (ورق انتهایی تیر) از جمله اتصالات متداول در اجرای قاب‌های خمشی در کشور می‌باشد.



اتصال صلب تیر به ستون

شکل۹-۹- سامانه‌ی قاب با اتصالات صلب، تمام بار قائم و نیروی جانبی به وسیله قاب‌های خمشی (بدون مهاربندها و دیوار برشی) تحمل می‌شود.

۹-۵-٤- سامانه‌ی دوگانه یا ترکیبی

سیستم مختلط شامل قاب فضایی خمشی و دیوارهای برشی یا مهاربندی‌ها که در آن بارهای قائم توسط قاب خمشی و نیروهای جانبی، تواماً توسط قاب خمشی و دیوارهای برشی و یا توسط قاب خمشی و مهاربندی‌ها تحمل می‌شود. نیروی جانبی بین قاب خمشی و دیوار برشی و یا بین قاب خمشی و مهاربندی‌ها به نسبت صلبیت آن‌ها توزیع می‌گردد؛ ولی در هر حال قاب به تنهایی باید ظرفیت تحمل حداقل ۲۵ درصد نیروی جانبی زلزله را داشته باشد. (شکل۹-۱۰)

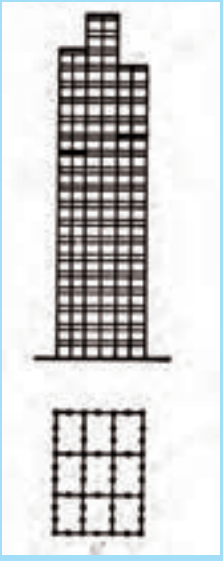
شکل ۹-۱۰-
سامانه مختلط قاب خمشی و مهاربندی

۹-۶- سامانه‌های نوین در سازه‌های فولادی بلند

۹-۶-۱- سامانه‌ی قاب محیطی یا لوله‌ای

(Framed tube structure)

در این سامانه تجمع ستون‌ها در قاب محیطی سازه بیشتر بوده و در ستون‌های محیطی بصورت یک لوله، سازه را در میان گرفته است و بارهای جانبی به این قاب محیطی وارد می‌شود. همچنین قاب محیطی نیز نمای مطلوبی به ساختمان می‌دهد. برجهای دوقلوی سازمان تجارت جهانی در نیویورک که مورد حمله تروریستی قرار گرفت، تحت این سامانه ساخته شده بودند. این سامانه برای ساختمان‌های بالای ۱۵۰ طبقه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

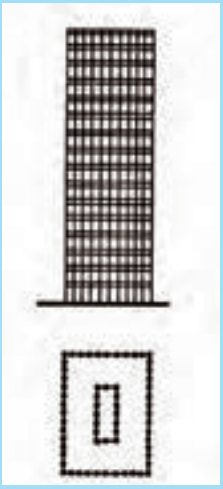


سامانه قاب محیطی(لوله‌ای)

۹-۶-۲- سامانه‌ی لوله در لوله

(Tube in tube Structure)

واکنش یک سامانه‌ی لوله در لوله در مقابل بارهای جانبی مشابه واکنش سازه مرکب از قاب صلب و دیوار برشی است؛ اما لوله‌ی قابی خارجی خیلی سخت‌تر از قاب صلب می‌باشد.
لوله‌ی خارجی، اکثر بار جانبی را در قسمت بالایی ساختمان تحمل می‌کند، در صورتی که هسته، بیشتر بار را در قسمت پائین ساختمان تحمل می نماید.
روش لوله در لوله در ساختمان ۳۸ طبقه برانسویک در شیکاگو به کار رفته است.

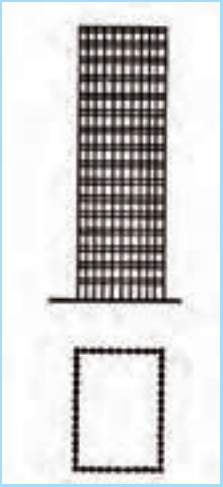


سامانه لوله در لوله

۹-۶-۳-سامانه‌ی لوله‌های چندگانه

(Multi tube Structure)

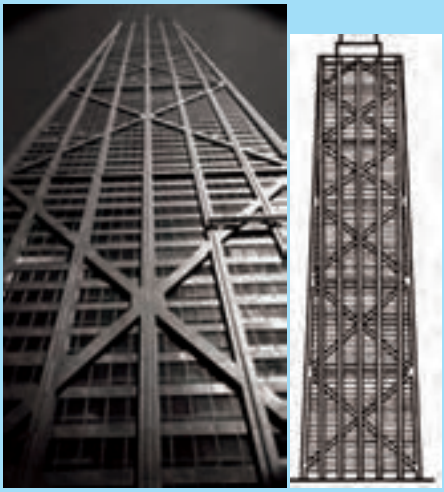
این سامانه نیز مانند قاب محیطی می‌باشد با این تفاوت که ساختمان از چند قاب محیطی تشکیل یافته است به عنوان مثال برج سیرزتاور در شیکاگو که بلندترین برج آمریکا می باشد، از چهار قاب محیطی ساخته شده است.



سامانه لوله‌های چندگانه

۹-۶-٤-سامانه‌ی ابرمهاربندی (Mega-Braced Structure)

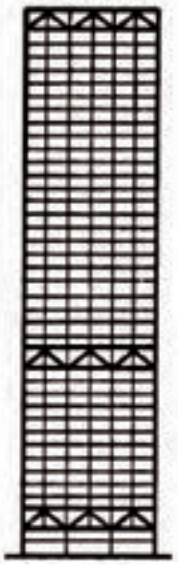
در ساختمان‌های متعارف، مهاربندی ساختمان در ارتفاع طبقه و به عرض دهانه انجام می‌شود. در دو دهه گذشته، در ساختمان‌های بلند و به جهت بازدهی بیشتر و حتی به عنوان ابزار معماری در نمای ساختمان، استفاده از مهاربندی‌هایی در مقیاس بزرگتر از یک طبقه و یک دهانه در سازه تکامل یافته است که به آن سامانه‌ی ابرمهاربندی گفته می‌شود.



سامانه ابر مهاربندی

۹-۶-۵-سامانه‌ی کمربند خرپایی (Outtrigger-Braced Structure)

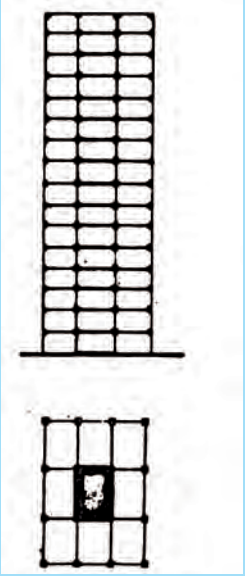
اگر تعدادی از طبقات یک ساختمان بوسیله‌ی یک کمربند در پیرامون سازه که از اعضای بادبندی تشکیل شده‌اند و در نمای ساختمان به شکل خرپا دیده می‌شوند، محصور گردد، مراکز تغییرشکل جانبی ساختمان به شدت کم می‌شود. به این سامانه، سامانه‌ی کمربند خرپایی گفته می‌شود.



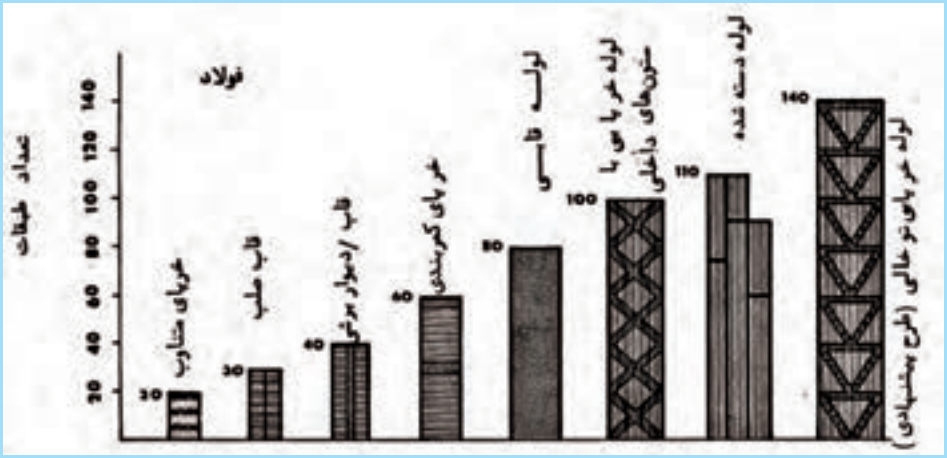
سامانه کمربند خرپایی

۹-۶-٦- سامانه‌ی هسته مرکزی (Core Structure)

در سامانه‌ی هسته مرکزی، به جای اینکه عناصر مقاوم جانبی در نقاط مختلفی از پلان قرار گیرند، با استفاده از سیستم دیوار برشی در مرکز ساختمان قرار می‌گیرند. در این حالت نمای ساختمان باز خواهد بود و از فضای هسته‌ی مرکزی می‌توان به عنوان راه پله یا محل نصب آسانسور استفاده نمود.



سامانه هسته مرکزی



شکل ۹-۱۱- انتخاب سامانه های ساختمانی با توجه به تعداد طبقات

به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱- انواع بارهای وارد برساختمان چیست و چه اعضایی در سازه در مقابل آن‌ها مقاومت می‌کنند؟

۲- بارهای قائم وارد بر سازه شامل چه مواردی است؟ بارهای جانبی وارد برسازه چطور؟

۳- علت پایداری قاب مهاربندی شده نسبت به قاب ساده چیست؟

٤- علاوه بر مهاربندی از چه روش‌های دیگری جهت پایداری قاب‌های ساختمانی می‌توان استفاده کرد؟

۵- تفاوت مهاربندهای واگرا و همگرا در چیست؟ از هرکدام بصورت ترسیمی چهار نمونه مثال بزنید؟

٦- سامانه‌ی نیم اسکلت کلاف‌دار عموماً در چه نوع ساختمان‌هایی مجاز است؟

۷- سامانه‌ی باربر جانبی در ساختمانی که دارای اتصالات تیر به ستون به صورت گیردار (صلب) به همراه مهاربندی ضربدری می‌باشد، چیست؟