**رفتار سیستم های مختلف باربر در سازه های بلند**

**اهمیت موضوع**

با توجه به خسارات و تلفات ناشی از زلزله در کشورهاي زلزله خیز، لزوم طراحی سازه هاي مقاوم در برابر زلزله امري انکار ناپذیر است. براي طرح یک ساختمان در مقابل زلزله لازم است اطلاعاتی جامع و کامل از رفتار آن در مقابل نیروهاي ناشی از زلزله در دست باشد. باید دانست که رعایت

ضوابط و مقررات مندرج در آیین نامه ها تضمین کنندة مقاوم شدن کامل ساختمانها در برابر نیروهاي ناشی از زلزله نیست. به همین جهت باید رفتار سازه ها را به طور کلی و به دقت مورد توجه قرار داد. شکل پذیري یکی از خواص بسیار مهم سازه هایی است که اگر تحت تأثیر نیروهاي لرزه اي واقع شوند، باید از خود بروز دهند. هر سازة پایدار یا مقاوم در برابر زلزله باید هم به صورت کلی و یک مجموعۀ کامل، شکل پذیر باشد و هم اعضاي آن به تفکیک شکل پذیر باشند. بنابراین با توجه به نوع سازه اي که براي مناطق زلزله خیز طراحی می شود، باید مصالح به کار رفته در آنها به نحوي اختیار و ترکیب شوند که نتیجۀ رفتار آنها، شکل پذیر بودن را تأمین نماید.

با تکیه بر روشهاي سنتی، نمی توان سازه بلندی ساخت که در برابر زلزله هاي مخرب مقاوم باشد. حتی اگر همه ضوابط آیین نامه زلزله از نظر طراحی و محاسبات رعایت شده باشد، با اجراي سنتی و دخالت انسان در اجزاي مقاوم کننده ساختمان همانند بتن ریزي ها و جوشکاري ها هرگز نمی توان به یک سازه مناسب دست پیدا کرد. فن آوريهاي نو تلاش می کنند تا دخالت انسان را در حین ساختن به حداقل رسانده و با صنعتی کردن اجرا، یک ساختمان همگن و مطمئن بنا نمایند.

ساختمان مسکونی از نظر اسکلت باید نه تنها مقاوم در برابر نیروهاي زلزله ساخته شود، بلکه باید داراي دوام لازم در مدت زمان پیش بینی شده براي بهره برداري از آن نیز باشد. اگرچه از نظر کارکرد اقتصادي می توان بخشهایی از ساختمان را از مصالح سبک بنا نمود، اما اسکلتی که بتواند کارکرد درست داشته باشد معمولاً وزن قابل ملاحظه اي از ساختمان را به خود اختصاص می دهد. با افزایش ارتفاع و به تبع آن نیروهاي حاصل از زلزله مقاطع باربر ساختمان بسیار بزرگ شده و تکانهاي ناشی از نیروي زلزله، در طبقات فوقانی شدید می شود. براي پیشگیری از این رویدادها، روشی تحت عنوان سوپرفریم R.C براي اسکلت ساختمان، در کشور ژاپن، ابداع شده و به عنوان جدیدترین فناوري به مورد اجرا گذاشته شده است. در این روش ضمن کاهش مقاطع باربر، با پیش ساخته نمودن ستون ها و همچنین کنترل حرکات ساختمان در حین زلزله و جذب انرژي به وسیله میراگرهاي هیدرومکانیکی، یک ساختمان مطمئن از نظر رفتار در برابر نیروها و بسیار مناسب براي سکونت ساخته می شود.

**فصل اول مقدمه و کلیات**

تعیین مشخصات ساختمان هایی که در گروه سازه های بلند قرار می گیرند بسیار مشکل است، زیرا بلندی خود یک حالت نسبی است و ساختمان ها را نمی توان بر حسب ارتفاع یا تعداد طبقات، دسته بندی و تعریف نمود. بلندی یک ساختمان بستگی به شرایط اجتماعی و تصورات فرد از محیط دارد، بنابراین ارائه یک معیار قابل قبول همگانی برای تعریف بلندی سازه غیرممکن است. از نظر مهندسی هنگامی می توان سازه را بلند نامید که ارتفاع آن باعث شود که نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله، بر طراحی آن اثر قابل توجهی گذارند. همچنین نمانند نیروهای ثقلی، تأثیر نیروهای جانبی در سازه ها کاملاً متغیر بوده و به سرعت با افزایش ارتفاع شدت می یابد. سه عامل اساسی که باید در طراحی تمام سازه های بلند در نظر گرفته شوند عبارتند از : 1- مقاومت 2- صلبیت 3- پایداری که در طراحی سازه های بلند سیستم سازه ای باید متناسب با این نیازها باشد. نیاز به مقاومت عامل غالب در طراحی سازه های کوتاه است، اما با افزایش ارتفاع صلبیت و پایداری اهمیت بیشتری می یابد. بنابراین در یک سازه بلند، سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی و قائم بر حسب ارتفاع سازه و نوع کاربری و نیز ماهیت و نوع نیروها متفاوت خواهد بود.

یکی از مسائل مهم در مهندسی عمران مقاوم کردن ساختمان ها در برابر نیروی ناشی از زلزله است. روش های معمول برای این منظور در سازه های فلزی، استفاده از بادبند و در سازه های اسکلت بتنی استفاده از دیوار برشی است. علاوه بر این دو، از توان قاب خمشی نیز در مقاومت در برابر نیروی زلزله بویژه برای سازه های بلند می توان استفاده کرد. آنچه تاکنون بطور جدی بدان پرداخته نشده بطوری که ضوابط آیین نامه ای برای آن وجود داشته باشد استفاده از بادبند در سازه های اسکلت بتنی برای نیروی زلزله است. در مقابل، استفاده از دیوار برشی در ساختمان های اسکلت فلزی رایج است و از نظر آیین نامه زلزله ایران، استاندارد 2800 مورد تأیید است. هر چند استفاده از دیوار برشی به جای بادبند در ساختمان های اسکلت فولادی در سال های اخیر رواج پیدا کرده اما بادبند مقاوم در برابر زلزله، از نظر اقتصادی، سرعت و سهولت اجرا همچنین از دیدگاه معماری و نیز بدلیل شکل پذیری بهتر عناصر فولادی می تواند در بسیاری از موارد، از دیوار برش مناسب تر باشد.

ارزیابی رفتار سازه ها در زمین لرزه هاي بزرگ نمایانگر ایجاد خسارت های قابل توجه حتی در ساختمانهاي طراحی شده بر پایه اصول مهندسی است و این به معناي ناکافی بودن پارامتر مقاومت به ویژه در زمین لرزه هاي بزرگ و در سطح فرو ریزش است. رفتار نامطلوب سازه ها در برابر زمین لرزه محققان را بر آن داشت تا پارامترهاي دیگري در طراحی سازهاي مد نظر قرار دهند. یکی از پارامترها که در نگرش نوین پژوهشگران به رفتار سازه ها مدنظر قرار گرفته است، مفهوم انرژي در سازه ها است. ایده برقراري مطلوب توازن انرژي در سازه از طریق بهینه سازي خسارت در حال گسترش است. خسارت های ناشی از زلزله ها، پژوهشگران را بر آن داشته است تا همواره به دنبال راه حل هایی برای جلوگیری از این خسارت ها باشند. مدت ها پیش در نظر گرفتن قابلیت شکل پذیری و اتلاف انرژی در سازه ها مطرح گشت و خود را توسط ضریبی به نام ضریب رفتار R در آیین نامه ها نشان داد.

زلزله های مختلف آسیب های کم یا زیادی بر حسب مقاومت و پایداری سازه ها در برابر زلزله به سازه ها وارد می سازد، لذا پایدار و مقاوم بودن سازه ها در برابر زلزله برای جلوگیری از تخریب های کلی و یا جزیی سازه ها و همچنین از دست رفتن سرمایه های مالی و جانی افراد از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. روش های مختلفی برای پایدار کردن سازه های فلزی در برابر نیروهای جانبی باد و زلزله وجود دارد. در این تحقیق نخست به معرفی و تشریح انواع سازه های باربر در سازه های بلند می پردازیم سپس به تمرکز بر روی سازه های باربر پرکاربرد و معمول در ساختمان های بلند خواهیم پرداخت. سازه هایی که در ساختمان های بویژه فولادی به منظور مقاومت در برابر بارهای جانبی وارد بر ساختمان شامل نیروی باد یا زلزله طراحی می شوند از نظر خواص مصالح مورد استفاده مانند سختی، شکل پذیری، مدول الاستیسیته، مدول پلاستیک یا میزان جذب انرژی زلزله مورد بررسی قرار می گیرند. هر چه سازه باربر جانبی دارای شکل پذیری بیشتری باشد دارای توان جذب انرژی بالاتری می باشد بدین معنا که نیروی جانبی زلزله باعث ایجاد تغییر شکل های بیشتری پیش از گسیختگی در سازه می شود و همین باعث کاهش تلفات جانی ناشی از زلزله می شود.

تجربه طراحان و سازندگان ساختمان های تجاری و اداری بلند در سال های اخیر نشان داده است که استفاده از دیوارهای برشی می تواند به سازه برای مقاومت در برابر نیروی جانبی زلزله کمک کند و با توجه به گسترش اجرای دیوار برشی همراه با قاب خمشی متوسط و ویژه در ساختمان های بلند در سال های اخیر مشکلات مربوط به اجرای آن نیز برطرف شده است و دیگر نمی توان ادعا کرد که اجرای سیستم ترکیبی دیوار برشی همراه با قاب خمشی دشوار است، هر چند هزینه اجرای سیستم ترکیبی زیادتر از اجرای قاب خمشی ویژه است. در این تحقیق می خواهیم رفتار چند سیستم رایج در ساخت و ساز را از لحاظ میزان جذب انرژی و مقاومت در برابر زلزله مورد بررسی قرار دهیم. برای این کار نخست باید به تشریح خواص و ویژگی های سیستم های مختلف باربر در سازه های بلند بپردازیم و نقاط ضعف و قوت آنها را بر می شمریم. در نظر داریم که سیستم های مختلف باربر در سازه های بلند وجود دارد که هر یک ویژگی های خود را دارد. برای نمونه قاب خمشی ویژه با وجود کاربرد کمتر نسبت به قاب خمشی متوسط دارای ضریب رفتار بالاتری است، از این رو می تواند انرژی بیشتری جذب کند و در برابر زلزله مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد. اما جریان غالب استفاده از دیوارهای برشی همراه با قاب های خمشی متوسط همراه با آسان شدن اجرای آن در ساختمان ها مانع از مطالعه بیشتر روی قاب های خمشی از لحاظ میزان مقاومت در برابر زلزله گردید.

هدف از انجام تحقیق پیش رو بررسی کارایی سیستم های مقاوم در برابر نیروهای جانبی در ساختمان های بلند شامل قاب های خمشی متوسط و ویژه و سیستم ترکیب دیوارهای برشی و قاب های خمشی، سیستم هاي لوله اي در سازه برج و فن آوري مدرن سوپر فریم R.C در ساختمانهاي بلند مسکونی از لحاظ میزان جذب انرژی و مقاومت در برابر زلزله است. از این رو پس از معرفی اجمالی انواع سیستم های مقاوم در برابر نیروهای جانبی زلزله برای ساختمان ها با کاربری ها و ارتفاع های مختلف، روی سیستم های متداول قاب های خمشی ویژه و ترکیب دیوار برشی تمرکز می کنیم و به بررسی کارایی آنها در مهار نیروهای جانبی زلزله از لحاظ میزان انرژی جذب شده می پردازیم. برای این کار باید به بررسی دقیق تر ویژگی های ساختاری و اجرایی انواع سازه های باربر بپردازیم و نقاط ضعف و قوت هر یک را از لحاظ مقاومت در برابر زلزله و میزان جذب و اتلاف انرژی حاصل از اعمال بارهای جانبی زلزله برشماریم تا از این طریق بتوانیم اولاً آنها را از منظر میزان جذب انرژی و مقاومت در برابر زلزله با یکدیگر مقایسه کنیم ثانیاً راهکارهایی برای تقویت هر یک از لحاظ ساختاری یا نحوه اجرا ارائه کنیم تا بتوانیم به سیستم های مقاوم تر و قابل اعتمادتری در برابر زلزله دست یابیم که دارای قابلیت جذب انرژی زلزله بیشتری باشند.

در این پژوهش به مطالعه سیستم های متداول براي سازه هاي بلند می پردازیم و میزان جذب انرژی و مقاومت در برابر زلزله را در هر یک مورد بررسی قرار می دهیم. همچنین انواع روش های اجرا، اتصال به سازه باربر قائم و محل قرارگیری سیستم باربر در اسکلت فولادی یا بتنی را مورد مطالعه قرار می دهیم و اثر هر یک در تعیین میزان جذب انرژی زلزله را مشخص می کنیم. پس از آن به معرفی سیستم باربر جانبی دیوار برشی می پردازیم و روش های مختلف اجرای دیوار برشی در انواع ساختمان ها، اتصال و محل قرارگیری آن در اسکلت ساختمان را بر می شمریم و اثر هر یک را در میزان جذب انرژی و مقاومت در برابر زلزله مورد بررسی قرار می دهیم.

برای این کار نخست، انواع سيستمهاي مقاوم در برابر بارهای جانبي در سازه های بلند معرفی می گردد. سپس به بررسی کارایی قاب های خمشی و دیوارهای برشی و سیستم ترکیبی از منظر میزان انرژی جذب شده و مقاومت در برابر زلزله می پردازیم. به‌طور کلی عناصر مقاوم در برابر نیروهای زلزله می‌توانند به‌صورت قاب خمشی، دیوار برشی ، بادبند و یا ترکیبی از قاب خمشی با یکی از این دو سیستم باشند. استفاده از قاب خمشی به‌عنوان عنصر مقاوم در برابر زلزله احتیاج به رعایت جزئیات خاصی دارد که شکل‌پذیری قاب را تأمین نماید. این جزئیات از لحاظ اجرائی غالباً دست و پا گیر بوده و در صورتی می‌توان از اجزاء دقیق آنها مطمئن شد که کیفیت اجراء و نظارت در کارگاه بسیار بالا باشد. از این‌رو استفاده از دیوار برشی به‌عنوان روشی مطمئن‌تر برای مقابله با نیروهای جانبی در سازه‌ ها مورد استفاده قرار گرفته است.

انواع مختلف سيستم هاي متداول مقاوم در برابر زلزله عبارتند از : سيستم مهاربندي جانبي، سيستم ديوار برشي، سيستم قاب مقاوم خمشي و سيستم دو گانه. سیستم قاب مقاوم خمشی به خاطر نوع رفتاری که در برابر بارهای جانبی دارد ، در بسیاری از سازه های فولادی بلند به کار برده می شود . مهمترین مشخصه آن، نحوه اتصال اعضاء می باشد، به نحوی که اتصالات در قاب مقاوم خمشی دارای چنان سختی می باشد که زاویه میان اعضاء تحت اثر بار ، بدون تغییر باقی می ماند. قاب خمشی از نظر سختی رفتار مناسبی نداشته آنچنان که برای جوابگویی به نیاز های تغییر شکل نسبی نیاز به مقاطع بزرگ و پر هزینه پیدا می کند.

یکی از متداول ترین روش ها برای مقابله با نیروهای جانبی در سازه هاي فولادي غیربلند استفاده از بادبند است. بادبندها به شکل هاي گوناگونی اجرا می شوند. پیکربندي سیستمهاي مهاربندي عموماً از نوع هم مرکز (هم محور) یا خارج از مرکز (برون محور) می باشد . مهاربندهاي هم مرکز سختی سازه را نسبت به قاب خمشی معادل به شدت افزایش داده و تغییر مکان جانبی سازه را محدود می نمایند. سیستم مهاربندي برون محور دو ویژگی سختی مناسب جانبی و جذب انرژي بالا را با یکدیگر ترکیب کرده و بکار می گیرد. در این سیستم، برون محوري اتصال مهاربندي سبب پدید آمدن لنگرهاي خمشی و نیروهاي برشی بزرگی در ناحیۀ تیر نزدیک به مهار می شود . به این ترتیب، تنشهاي این ناحیه از تیر وارد محدودة غیر ارتجاعی شده و سبب اتلاف انرژي ناشی از زمین لرزه می شود. این ناحیه از تیر، پیوند نام دارد. بادبندها به دلایل مختلف از قبیل سختی زیاد، سادگی اجرا و ارزان بودن، همواره مورد توجه طراحان و سازندگان قرار داشته اند. در سیستم مهاربندی هم محور ، بادبند ها از محل تقاطع تیر و ستون عبور می نمایند و در بعضی از فرم های این نوع مهاربندی، محور دو بادبند در یک نقطه مشترک بر روی تیر با هم تلاقی می کنند . این سیستم دارای سختی جانبی بسیار بالایی بوده و به علت اینکه نیروهای جانبی توسط اعضاء به صورت محوری منتقل می شوند سیستمی اقتصادی می باشند . مهار بندی هم محور علی رغم سختی بالا و مناسب و نیز سهولت طراحی و اجرا دارای اشکالاتی هم می باشد که از جمله مهمترین آن ها محدودیت معماری در مورد درب ها و پنجره ها و نیز شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی کم آن به دلیل کمانش بادبند ها می باشد. در قاب بادبندی شده برون محور به جای برخورد بادبند به محل اتصال تیر و ستون یا تقاطع محورهای دو بادبند در یک نقطه، با ایجاد یک انحراف بادبند به تیر متصل می شود. قسمتی از تیر که بین تیر و ستون یا بین دو بادبند قرار می گیرد، تیر پیوند نامیده می شود و به صورت یک فیوز شکل پذیر عمل می نماید. در این سیستم تیر پیوند در حالی که از وارد شدن نیروی بیش از حد به بادبندها و کمانش آن جلوگیری می کند، خود با تغییر شکل های پلاستیک در مود خمشی یا برشی، مقدار زیادی انرژی وارد شده از زلزله را مستهلک می نماید. در واقع می توان گفت که سیستم بادبندی برون محور ترکیب کننده سختی مناسب که خاصیت عمده سیستم بادبندی هم محور است و شکل پذیری بالا که ویژگی عمده قاب خمشی مقاوم می باشد. در بادبندهای واگرا پیوندهای کوتاه با قابلیت تغییر شکل های پلاستیک در خمش یا برش دارای ظرفیت استهلاک انرژی بالایی می باشند. در این سیستم حدود 5 تا 15 درصد از مصرف فولاد در مقایسه با قاب خمشی شکل پذیر کاسته می شود، اما به هر حال سیستم واگرا دارای نقاط ضعفی نیز می باشد. برای نمونه می توان گفت که استهلاک انرژی توسط تیر پیوند که بخشی از اعضای اصلی قاب است، انجام می شود که در نتیجه تعمیر یا تعویض آن بعد از یک زلزله شدید مشکل و پر هزینه خواهد بود. همچنین به منظور فعال کردن تیرهای پیوند، نیاز به اتصالات صلب در قاب می باشد. از دیگر معایب این سیستم می توان به اعوجاج بیش از حد سقف در اثر تغییر شکلهای زیاد تیرهای پیوند اشاره کرد.

در بهسازي لرزه اي سازه ها يكي از روش هاي كاهش نيروي جانبي ناشي از زلزله استفاده از ميراگرها مي باشد. در طي زلزله، انرژي زيادي به سازه اعمال مي گردد. اين انرژي به دو صورت جنبشي و پتانسيل (كرنشي ) بر سازه اعمال مي گردد كه به طريقي جذب يا مستهلك مي گردد. اگر سازه فاقد ميرائي باشد ارتعاش آن پيوسته خواهد بود اما بدليل وجود ميرائي در مصالح، ارتعاش كاهش مي يابد. در سيستم هاي جداسازي لرزه اي، استفاده از سيستمهاي مستهلك كننده انرژي، جايگاه ويژه اي را به خود اختصاص داده اند .افزايش ميرائي با استفاده از روشهاي مختلفي نظير جاري شدن يك فلز نرم، اصطكاك دو فلز بر روي هم، حركت يك پيستون درون يك ماده لزج و يا رفتار ويسكوالاستيك در موادي از جنس شبيه لاستيك امكان پذير مي باشد. در سالهاي اخير تلاشهاي جدي به منظور توسعه مفهوم اتلاف انرژي به عنوان يك تكنولوژي كاربردي جهت مقابله با زلزله صورت گرفته است . اساس روشهاي تحليل و طراحي امروزي بر مقاومت در برابر بارهاي جانبي استوار مي باشد . از ديدگاه انرژي نياز به بازنگري در روشهاي فعلي تحليل و طراحي ضروري مي باشد به نحوي كه مهندس طراح بايستي توجه خود را بر مديريت انرژي ورودي به سازه در اثر زمين لرزه متمركز نمايد.

جهت طراحي سيستم هاي مدرن ، براي يك طرح مقاوم لرزه اي مناسب ابتدا بايد سعي در حداقل نمودن مقدار انرژي هيسترتيك تلف شده در اعضاي اصلي سازه نمود .دو ديدگاه مهم جهت رسيدن به اين هدف وجود دارد. اولين ديدگاه شامل طرح هايي است كه در آن سعي در كاهش انرژي ورودي به سازه داريم كه به عنوان مثال سيستم هاي جداسازي پايه از آن جمله اند. دومين ديدگاه بر روي مكانيزم هاي اتلاف انرژي در خود سازه متمركز است . براي اين منظور از يك سري تجهيزات استفاده مي نماييم . اين تجهيزات به گونه اي طراحي مي شوند كه بخشي از انرژي ورودي به سازه را تلف مي نمايند و در نتيجه خسارت وارده به سازه اصلي كه ناشي از اتلاف انرژي به صورت هيسترتيك مي باشد ، كاهش مي يابد . انواع سيستم هاي مدرن مقاوم در برابر زلزله عبارتند از : 1- سيستم هاي جدا سازي پایه ای 2- سيستمهاي فعال و نيمه فعال 3- سيستمهاي منفعل.

از ميان سيستم هاي منفعل اتلاف انرژي ، ميراگرهاي فلزي به دليل عدم نياز به تكنولوژي پيچيده جهت ساخت ، عملي تر بودن كاربرد آنها در سازه ، رفتار پايدار در برابر زلزله و دخيل نبودن عوامل محيطي در رفتار مكانيكي آنها از اهميت خاصي برخوردارند . اين ميراگرها باعث افزايش ميرايي و سختي در سيستم سازه اي شده و ظرفيت اتلاف انرژي را افزايش مي دهند .افزودن ميراگرهاي فلزي به سازه باعث تمركز اتلاف انرژي در ميراگرها مي شود كه پس از وقوع زلزله مي توان ميراگرها را به راحتي تعويض نمود و جهت مقابله با زلزله هاي بعدي مقاوم نمود. اين قطعات انرژي ورودي به سازه را به انرژي كرنش پلاستيك يا انرژي هيسترتيك تبديل مي كنند . اين انرژي غيرقابل برگشت است و در سازه تلف مي شود. اخیراً استفاده از مصالح کامپوزیت با توجه به خصوصیات برتر مکانیکی و راحتی حمل‌و‌نقل به‌ عنوان روشی جایگزین روش‌های متداول قبلی جهت تقویت برشی مطرح شده است. دو حالت شکست خمشی و برشی را می‌توان برای دیوار برشی در نظر گرفت. شکست خمشی معمولاً با تسلیم میلگرد همراه می‌باشد. در این حالت کاهندگی مقاومت در حلقه‌های پسماند دیده نمی‌شود، اما کاهندگی سختی ناشی از تسلیم میلگردها مشخص می‌باشد. در شرایط خاصی که دیوار تحت نیروی فشاری زیادی نیز قرار گیرد شکست خمشی با خرد شدن بتن فشاری همراه است که در این حالت علاوه بر کاهندگی سختی کاهندگی مقاومت نیز به‌وجود می‌آید. دیوارهائی که نسبت بعدی (ارتفاع به‌طول) کمی دارند دچار شکست برشی می‌گردند، در این حالت ترک‌های قطری ظاهر می‌شوند. مود شکست در این حالت به‌صورت ترد در پای دیوار رخ می‌دهد.

**فصل دوم مروری بر ادبیات**

**2-1 مقدمه**

زمین لرزه یکی از مهلک ترین پدیده های طبیعی جهان در سال های گذشته بوده است بطوری که میزان تلفات انسانها در طی سال های 1947 تا 2005 حدود 550 هزار نفر در سراسر جهان اعلام شده است. بسیاری از مناطق ایران نیز خطر لرزه خیزی بالایی دارند و هر ساله چندین زمان لرزه در نقاط مختلف کشور روی می دهد. از آنجا که اغلب سازه های موجود بدون رعایت اصول مهندسی ساخته شده اند، هنگام وقوع زلزله شاهد تلفات جانی فراوانی هستیم. چنانچه در سه دهه اخیر بالغ بر دویست هزار نفر در اثر زلزله از بین رفته اند. علاوه بر تلفات جانی زمین لرزه ها، لطمات اقتصادی سنگین نیز به دنبال زمین لرزه ها مشهود است. بنابر این مقاوم ساختن ساختمان های مختلف در برابر زلزله اهمیت به سزایی دارد. برای مقاوم ساختن سازه ها در برابر نیروهای ناشی از زلزله راههای گوناگونی وجود دارد که یکی از آنها تعبیه دیوارهای برشی است که می توانند انرژی زلزله را کاملاً شبیه قاب ها مستهلک نمایند.

به منظور داشتن طرحی مقاوم در برابر زلزله های شدید، در نظر گفتن قابلیت شکل پذیری و اتلاف انرژی مناسب در سازه ها امری ضروری به نظر می رسد. از این رو پرداختن به جزییات روش های مختلف تحلیل سازه ها و چگونگی انتخاب ضرایب مختلف طراحی در آیین نامه ها امری اجتناب ناپذیر است. با توجه به زلزله هایی که تاکنون در دنیا رخ داده و خسارت های جانی و مالی فراوانی هم ببار آورده است پژوهشگران را به این فکر انداخته است تا پارامترهای دیگری را نیز در طراحی سازه ای مدنظر قرار دهند. یکی از این پارامترها، میزان جذب انرژی در سازه هاست. در سال 1984 پارك- انگ وون با استفاده از رابطه معروف شاخص خسارت پارك- انگ روشی در جهت طراحی سازه ها ارائه داد در این روش عمده ترین پارامترهاي اولیه طرح ، برش پایه و شاخص شدت زمین لرزه است که براساس آن شکل پذیري سازه بدست می آید. آکی یاما در کتاب خود (1985) روشی را براي طراحی سازه های بلند ارائه داد که مبتنی بر طیف انرژي ورودي از طریق طیف سرعت معادل و توزیع بهینه خسارت در کل سازه است. کراوینکلر و ناصر طراحی لرزهاي بر پایه شکل پذیري و خسارت تجمعی را مد نظر قرار دادند. در این روش با فرض سطح قابل قبولی از خسارت شکل پذیري متناظر با آن بدست می آید و سپس مقاومت لازم براي محدود کردن شکل پذیري خواسته به ظرفیت موجود، محاسبه می شود. این شیوه، نگرشی کلی به رفتار سازه دارد. در ادامه این تحقیقات، در سال 2000 ، شن و اکباس با توجه به طراحی براساس عملکرد، یک شاخص خسارت جدید که در آن انرژي ورودي، انرژي تلف شده و خصوصیات سازهاي ساختمان از قبیل جابجایی نسبی طبقات و شکل پذیري لحاظ شده بود. معرفی نمودند.

در این تحقیق نخست، انواع سيستمهاي مقاوم در برابر بارهای جانبي در سازه هاي بلند معرفی می گردد. سپس به مقایسه اجزا، ویژگی ها و کارایی آنها از منظر میزان انرژی جذب شده و مقاومت در برابر زلزله می پردازیم. به‌طور کلی عناصر مقاوم در برابر نیروهای زلزله در سازه های بلند می‌توانند قاب های خمشی متوسط و ویژه، سیستم ترکیبی قاب های خمشی همراه با دیوار های برشی ، سیستم هاي لوله اي در سازه های مرتفع و فن آوري مدرن سوپر فریم R.C در ساختمانهاي بلند مسکونی باشند. استفاده از قاب خمشی به‌عنوان عنصر مقاوم در برابر زلزله احتیاج به رعایت جزئیات خاصی دارد که شکل‌پذیری قاب را تأمین نماید. این جزئیات از لحاظ اجرائی غالباً دست و پا گیر بوده و در صورتی می‌توان از اجزاء دقیق آنها مطمئن شد که کیفیت اجراء و نظارت در کارگاه بسیار بالا باشد. از این‌رو استفاده از دیوارهای برشی همراه با قاب های خمشی به ‌عنوان روشی مطمئن‌تر برای مقابله با نیروهای جانبی در سازه‌ ها مورد استفاده قرار گرفته است.

در سال های اخیر چالش های زیادی در طراحی سازه های بلند بویژه در برابر بارهای ناشی از زلزله ایجاد شده است. روش های طراحی در اکثر آیین نامه های فعلی بر اساس معیار مقاومت می باشند. در حالی که تحقیقات و رفتار ساختمان ها در برابر زلزله های اخیر نشان داد که مقاوم نمی تواند معیار مناسبی باشد و افزایش مقاومت لزوماً به معنای افزایش ایمنی نمی باشد. بنابر این در آیین نامه های تازه به جای معیار مقاومت از معیار رفتار برای طراحی سازه استفاده می کنند. استفاده از معیار رفتار بدان معنی است که در یک ساختمان علاوه بر معیار مقاومت، نحوه توزیع مقاومت در اجزای سازه ای نیز مهم می باشد. این شیوه طراحی بر مبنای رفتار سازه، طراحی بر اساس عملکرد نامیده می شود. در طراحی بر اساس عملکرد، روش تحلیل استاتیکی غیر خطی نقش ویژه ای دارد و در تمام آنها از روش استاتیکی غیر خطی (Pushover) به عنوان روش اصلی استفاده می شود. روش های آنالیز سازه ها را می توان به دو دسته تقسیم بندی نمود:

1. روش های آنالیز خطی
2. روش های آنالیز غیر خطی

در آنالیزهای خطی فرض بر این است که تیرها و ستون ها در طول آنالیز دارای مقاومت نامحدود و سختی ثابت باشند. بر خلاف آن در مدل غیر خطی کاهش مقاومت اجزای سازه ای هنگام خسارت دیدن نیز مدنظر قرار می گیرد. آنالیزهای خطی و غیرخطی برحسب اینکه بارهای وارده استاتیکی باشد یا دینامیکی مانند زیر دسته بندی می شوند:

1. آنالیز استاتیکی خطی
2. آنالیز دینامیکی خطی
3. آنالیز استاتیکی غیر خطی
4. آنالیز دینامیکی غیر خطی

در سال های اخیر استفاده از روش های غیرخطی گسترش بیشتری یافته است. چون در ارزیابی ساختمان های موجود کارایی بیشتری دارند آیین نامه ATC-40 برای استفاده از روش های آنالیز غیر خطی استاتیکی برای پیش بینی تقاضای لرزه ای تأکید می کند. همچنین آیین نامه های FEMA-273 شامل دستورالعمل هایی برای آنالیز غیرخطی استاتیکی و دینامیکی می باشد. البته در آیین نامه ها توجه بیشتری به آنالیز غیرخطی در مقایسه با آنالیز غیرخطی دینامیکی شده است. علت آن است که آنالیز غیرخطی استاتیکی توانایی لازم در محاسبه تقریبی پارامترهای سازه ای بدون نیاز به مدل سازی و محاسبات پیچیده آنالیز غیر خطی دینامیکی را دارد.

در طی سال اخیر روش‌های متعددی برای مقاوم‌سازی دیوارهای برشی در ساختمان های بلند، پیشنهاد شده و یا مورد آزمایش قرار گرفته است برخی از این روش‌ها عبارتند از افزایش ضخامت دیوار با روش شاتکریت، پر کردن بازشوها با بتن مسلح، احداث و اضافه کردن دیوار برشی جدید در مجاورت دیوار قبلی و نیز استفاده از المان‌های مهارکننده فولادی برای دیوار. استفاده از ورق‌های فولادی مهار شده به‌عنوان راه‌حلی دیگر سبب افزایش سختی جانبی دیوار برشی می‌گردد اما از نظر معماری و زیبائی معمولاً غیرقابل قبول و نامطلوب شمرده می‌شوند زیرا سبب به‌هم خوردن نمای خارجی و یا داخلی ساختمان می‌گردد. همچنین سبب کاهش سطح و فضای قابل استفاده و مفید ساختمان می‌گردد. همچنین این نوع تقویت می‌تواند سبب افزایش قابل ملاحظه وزن ساختمان و در نتیجه افزایش نیروهای وارده بر آن گردد. اخیراً استفاده از مصالح کامپوزیت با توجه به خصوصیات برتر مکانیکی و راحتی حمل‌و‌نقل به‌عنوان روشی جایگزین روش‌های متداول قبلی جهت تقویت برشی مطرح شده است.

**2-2 رابطه شکل پذیری با میزان جذب انرژی**

برای اینکه یک سازه بتواند بارهای جانبی را با ضریب اطمینان کافی تحمل نماید باید دو عامل سختی کافی و انرژی پذیری و شکل پذیری مناسب را دارا باشد. بویژه هنگامی که بار جانبی وارده تناوبی باشد مانند زلزله. مسأله انرژی پذیری و مستهلک نمودن انرژی ورودی بسیار مهم است. قابلیت جذب و استهلاک انرژی را می توان با بررسی رفتار غیر ارتجاعی و غیرخطی سازه مشخص نمود.

شکل پذیری به عنوان معیاری برای تهیه طیف های بازتاب برای طراحی مقاوم سازه ها در برابر زلزله مورد استفاده قرار می گیرد. بدین ترتیب حداقل مقاومت مورد نیاز یک سازه بر اساس طیف بازتاب طرح غیرارتجاعی بدست خواهد آمد. نخستین بار در سال 1956، هوسنر یک تحلیل از طراحی حدی بر اساس انرژی پیشنهاد کرد که در آن ظرفیت جذب انرژی کافی سازه در برابر زلزله های بزرگ، به عنوان یک عامل اطمینان و سلامتی سازه مطرح می شود. او بر این باور بود که یک زلزله انرژی را به سازه وارد می سازد که قسمتی از آن مستهلک شده و بخش دیگر به صورت انرژی جنبشی (حرکت جرم) و انرژی کرنشی (تغییر شکل قابل برگشت اعضای سازه) باقی می ماند. بر این اساس طراحی را با استفاده از رابطه زیر به مفهوم انرژی پلاستیک مربوط دانست. به دیگر سخن، که حداکثر انرژی جنبشی سازه است که سازه با فرض حالت رفتار ارتجاعی در برابر زلزله از خود نشان می دهد. حداکثر انرژی جنبشی سازه است که سازه با فرض حالت رفتار ارتجاعی در برابر زلزله از خود نشان می دهد. انرژی کرنشی ذخیره شده است که سازه در تغییر مکان حد تسلیم در خود دارد. اگر چه معادله انرژی فوق یک حالت ابتدایی و مقدماتی دارد ولی اصول اولیه معادله انرژی را در خود دارد.

بدلیل وجود مشکلات معینی در تعیین انرژی نیاز و ظرفیت و نقش آنها در فرآیند طراحی، برای حدود یک ربع قرن مفاهیم مربوط به انرژی نادیده گرفته شد. ولی بعدها تقریباً از اوایل دهه 90 به بعد، بحث مربوط به استفاده از مفاهیم انرژی، توجهات زیادی را به خود جلب کرد و موضوع بطور جدی تر دنبال شد. در سال 1984، زهرا و همکارانش پارامترهای مؤثر در جذب انرژی لرزه ای در سیستم های SDOF را بررسی کردند و امکان در نظر گرفتن تعداد سیکل های پلاستیک معادل را به عنوان یک مشخصه مهم که بر اساس انرژی هیسترزیس حساب می شود، خاطر نشان ساختند و آکیاما در سال 1985 کتابی را در زمینه طراحی حالت حدی سازه ها منتشر ساخت که در آن سعی در تشریح اصول اولیه روش انرژی با استفاده از روش ارائه شده توسط هوسنر کرد و بر این اساس روشی برای طراحی سازه های فولادی ارائه کرد. بررسی عمیق و دقیق تر پارامترهای انرژی در معادله تعادل توسط یوآنگ در سال 1988 منجر به ارائه دو گونه معادله تعادل انرژی با تعاریف ریاضی مختلف گردید، ضمن اینکه ژرف نگری موجود در مطالعات آنها برخی نکات انحرافی موجود را در تحقیقات قبل تر از خود در ارتباط با انرژی ورودی و نیز محاسبه ظرفیت استهلاک انرژی هیسترزیس مشخص ساخت. شاید بتوان برترو و یوآنگ را از جمله افراد پیشرو در این موارد دانست که سبب گسترش فعالیت های موجود و توجه بیش از پیش دیگر پژوهشگران به این زمینه شدند. آنها پیشنهاد نمودند که استفاده از انرژی ورودی به عنوان مبنایی برای انتخاب زلزله های طراحی ممکن است مفید باشد و انرژی ورودی را به عنوان یک پارامتر قابل اطمینان و اتکا برای تعریف پتانسیل خرابی زمین لرزه ها معرفی نمودند. مطالعات پارامتری گسترده ای نیز که توسط فاجفر، ویدیک و فیشینگر درباره طیف های انرژی ورودی و انرژی هیسترزیس و نسبت این دو انجام گردید تأثیر پارامترهای مختلف روی آنها را مشخص نمود. نتیجه تلاش آنها معرفی پارامتر جدید γ گردید که انتظار می رود بیانگر تأثیر پدیده خستگی کم سیکل باشد. آنها از این پارامتر برای تعریف شکل پذیری معادل نیز استفاده کردند.

همزمان با معرفی پارامترهای انرژی، بحث محاسبه اندیس های خرابی برای سازه ها، از مزایای تجمعی بودن این پارامتر استفاده نمود. ماکابه و همکارانش و پارک و همکارانش مدل هایی را بر اساس انرژی ارائه دادند که دومی به عنوان یکی از پرطرفدارترین مدل های خرابی در ارزیابی خرابی لرزه ای در سازه های بتنی به شمار می رود. اگر چه ایده اولیه محاسبه اندیس های خرابی، ارزیابی خرابی لرزه ای پس از زلزله بود ولی بعدها امکان استفاده از مدل های خرابی برای تعیین معیارهایی برای طراحی نیز مطرح گردید.

رفتار غیر خطی سازه را می توان با استفاده از منحنی های هیسترزیس بررسی نمود که عموماً بر پایه تحلیل روی سیستم های یک درجه آزادی بدست می آیند و همچنین می توان میزان جذب انرژی سازه را نیز مشخص نمود. بنابراین با شناخت کافی از رفتار غیر خطی مصالح می توان از مقاومت موجود در این مرحله استفاده کرد. برای طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله همراه با استفاده از سازه های باربر جانبی مانند سازه های متداول دیوار برشی و مهاربندها یا قاب های خمشی، تغییر شکل ناشی از شکل پذیری برای بدست آوردن پاسخ غیر الاستیک معیاری مطلوب می باشد. حداقل مقاومت لازم در برابر زلزله بر اساس این طیف های پاسخ غیر الاستیک قابل بدست آوردن می باشد.

در انجام طراحی سازه ها در مقابل زلزله باید در نظر داشت که طراحی طوری انجام شود که سازه ها تحت زلزله های ضعیف تا متوسط رفتار بدون خسارت داشته باشد و علاوه برآن نباید تحت زلزله های شدید با زمان بازگشت بیش از 50 سال سقوط کند. در سازه های مقاوم در برابر زلزله رفتار غیر الاستیک دارای اهمیت فراوان است زیرا اولاً سازه در برابر زلزله های شدید در مقابل خرابی ایمن می باشد و در عین حال که دارای شکل پذیری برای جذب انرژی زلزله می باشد به علت تغییر شکل های بزرگ دچار تخریب نمی گردد و ثانیاً در زلزله های متوسط آسیب های وارده حداقل بوده و با جایگزین کردن قسمت هایی که وارد مرحله غیر الاستیک شده و آسیب دیده اند امکان بازسازی سازه و تجهیز آن برای زلزله بعدی وجود دارد.

در واقع هدف تنها تأمین مقاومت در برابر نیروهای جانبی استاتیکی نیست بلکه بوجودآمدن ساختاری است که علاوه مقاومت و سختی کافی دارای شکل پذیری و جذب انرژی بالایی نیز باشد. از آنجا که در زلزله های شدید اعضای سازه ای تحت اثر تنش ها و تغییر شکل هایی در ناحیه غیر الاستیک قرار می گیرند، ضریب شکل پذیری را بر مبنای قابلیت تغییرشکلی که در محدوده غیر الاستیک وجود دارد ارزیابی می کنند. شکل پذیری عبارت است از نسبت تغییر شکل حداکثر (بدون خرابی) به تغییر شکل هنگام تسلیم شدن یا جاری شدن. تعریف شکل پذیری برای یک عضو منفرد به راحتی قابل بیان است بویژه هنگامی که مصالح تشکیل دهنده عضو نقطه جاری شدن معینی داشته باشد اما برای سیستمی که تعداد زیادی عضو که هر کدام در مراحل مختلفی از تغییر شکل هستند کار مشکلی می باشد.

شناخت و بررسی رفتار یک ماده مشخص اولین گام در جهت تحلیل درست و دقیق می باشد. اگر اطلاعات کافی از رفتار مصالح بکار رفته در سازه وجود داشته باشد بر پایه آن می توان رفتار سازه را دقیق تر برآورد نمود. برای شناسایی رفتار سازه بهترین و قابل اطمینان ترین روش، انجام آزمایش روی آن است. از جمله مهم ترین و کاربردی ترین آزمایش ها بر روی سازه ها برای شناخت بهتر رفتار آنها، آزمایش کشش و فشاری محوری می باشد که با آن می توان به میزان شکل پذیری مصالح سازه مانند فولاد در سازه های فولادی یا بتنی پی برد.

در ارزیابی آسیب پذیري سازه هاي بتنی نحوه برخورد مناسب با پدیده زلزله و پیش بینی صحیح و دقیق اثرات آن برسازه از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. با رخ دادن زلزله هاي بزرگ و مخرب در چند دهه اخیر همچنین توسعه روش هاي مطالعاتی و امکانات آزمایشگاهی ثابت شده است که

افزایش مقاومت سازه به عنوان تک پارامتر طراحی در روش سنتی نمی تواند به تنهایی ایمنی کافی را تأمین نموده و یا خسارت سازه اي را کاهش دهد.

**2-3 مفهوم انرژی و رابطه آن با انرژی هیسترتیک**

امروزه یکی از پارامترهایی که در نگرش نوین پژوهشگران به رفتار سازه ها مدنظر قرار گرفته، مفهوم انرژي در سازه ها می باشد. انرژي هیسترتیک که پس از رخداد تسلیم و در حلقه هاي هیسترزیس آن تلف می شود اثر بسیار عمده اي در ایجاد خسارت سازه اي سیستم دارد و مهم ترین جزء معادله انرژي وارده به سازه هاست. لذا کنترل این مقدار انرژي، می تواند به کنترل رفتار سازه و میزان خسارت آن رهنمون گردد. میزان انرژي هیسترتیک در یک سازه می تواند شاخصی از سطح خسارت وارده و یا میزان نرمی آن باشد. براي ارزیابی آسیب پذیري اسکلت فولادی می توان از شاخص خسارت پارك-انگ به علت تأثیر انرژي هیسترتیک در آن استفاده کرد. برای این کار تعدادي اسکلت فولادی که برخی دارای بادبند و بقیه دارای دیوار برشی و بارگذاري جانبی آنها مطابق ضوابط مندرج در آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله انتخاب و طراحی شده اند. قاب تحت سه زمین لرزه شبیه سازی شده با استفاده از نرم افزار تحلیل دینامیکی غیر خطی شده و میزان خسارت وارده بر هر طبقه محاسبه شده است. در ادامه نمودارهاي درصد توزیع نسبی طبقات و توزیع خسارت در هر طبقه رسم شده است، انرژي هیسترتیک با توجه به نمودارهاي توزیع خسارت و انرژي هیسترتیک در طبقات می توان نتیجه گرفت که تمرکز خسارت و انرژي در یک یا چند طبقه می باشد که این امر موجب عدم بهره برداري از حداکثر ظرفیت سیستم می باشد، بنابراین تک پارامتر مقاومت در طراحی لرزه اي کافی نبوده و می بایست از پارامتر دیگري به نام انرژي هیسترتیک در طراحی سازه ها استفاده نمود.

پژوهشهاي مختلف نشان می دهند که اثرات مخرب زلزله بسیار متأثر از انرژي لرزه اي رسیده به سازه در طول زمان زلزله است که پیش بینی آن با طیف پاسخ غیرخطی مقاومت و یا حتی تغییر شکل به طور کامل مقدور نمی باشد. در ادامه این پژوهشها، با بررسی هاي صورت گرفته مشخص شد که تقریبا تًمامی پارامترهاي مؤثر در رفتار لرزه اي سازه ها در قالب مفاهیم انرژي قابلیت توجیه و یا اعمال در فرآیند طراحی را می یابند. لذا ایده مطلوب توازن انرژي در سازه از طریق بهینه سازي توزیع خسارت، در حال گسترش می باشند. یکی از روش هاي متعارف محاسبه انرژي هیسترتیک در نرم افزارهاي غیرخطی، محاسبه مساحت زیر منحنی نیرو- تغییرمکان کلیه اجزایی می باشد که وارد ناحیه غیرارتجاعی می شوند. این روش مستلزم بررسی رفتار کلیه اجزا سیستم در لحظات مختلف پاسخ است و باید حین تحلیل غیرخطی انجام پذیرد. این روش دقیق است و در برنامه هاي تحلیل غیرخطی از آن استفاده می شود.

در نزم افزار IDARC برای محاسبه آسیب از شاخصی بر مبنای الگوی ارائه شده توسط پارک و همکارانش (1984) استفاده می شود. شاخص آسیب پارک-انگ برای یک المان سازه ای مانند زیر تعریف می شود:

که در آن تغییر شکل ماکزیمم ناشی از بار زلزله، تغییر شکل نهایی قابل تحمل المان، مقاومت حد تسلیم ،مقاومت حد تسلیم و انرژی هیسترزیس جذب شده توسط المان در طول تاریخچه پاسخ است.

براي کاهش مقاومت اسمی، پارك و همکارانش مقدار را پیشنهاد کرده اند. با استفاده از این مدل سه شاخص آسیب محاسبه می شود.

\* شاخص آسیب المان : تیرها و ستون ها

\* شاخص آسیب طبقه : اجزاي افقی و قائم و آسیب کل طبقه

\* آسیب کل ساختمان

به عبارت دیگر در این مدل میزان خسارت به صورت تجمعی در کلیه اعضاء ، طبقات و کل سازه در نظر گرفته می شود. براي محاسبه خسارت در طبقات ابتدا خسارت تیرها و ستون هاي هر طبقه به عنوان اعضاي آن IDARC در نرم افزار طبقه محاسبه شده سپس با استفاده از ضرائب وزنی که بر مبناي انرژي هیسترزیس مستهلک شده در اجزاء و تراز طبقات می باشند، خسارت طبقات و کل قاب محاسبه می گردد.

تحقیقات نشان داده است که اکثر سازه ها در زمین لرزه هاي مخرب وارد محدودة غیرارتجاعی می شوند. انرژي هیسترتیک، که پس از رخداد تسلیم و در حلقه هاي هیسترزیس آن تلف می شود اثر بسیار عمده اي در ایجاد خسارت سازه اي سیستم دارد و مهمترین جزء معادله انرژي وارده به سازه هاست. لذا کنترل این مقدار انرژي، می تواند به کنترل رفتار سازه و میزان خسارت آن رهنمون گردد. میزان انرژي هیسترتیک در یک سازه می تواند شاخصی از سطح خسارت وارده و یا میزان نرمی آن باشد. اما این مقدار کلی هرگز بیانگر توزیع خسارت در المانهاي مختلف سازه، شکل رفتاري سازه و نوع ساز و کار تسلیم و یا فروریزش آن نخواهد بود.

براي بررسی نحوة جذب و اتلاف انرژي و همچنین توزیع خسارت در طبقات سازه های بلند، نمودارهاي توزیع انرژي هیسترتیک، حداکثر جابجایی نسبی و توزیع خسارت در طبقات سازه در زمین لرزه هاي مختلف، باید مورد ارزیابی قرار گرفته گیرند. نتایج به دست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که هر چند میزان خسارت وارده به سازه ها پایین است اما نمودارهاي توزیع خسارت و انرژي هیسترتیک در طبقات، بیانگر تمرکز خسارت و انرژي در یک یاچند طبقه خواهد بود که این امر موجب عدم بهره برداري از حداکثر ظرفیت سیستم خواهد شد.

**2-5 روش های تقویت لرزه ای سازه های باربر جانبی ساختمان**

در سيستم هاي جداسازي لرزه اي، استفاده از سيستمهاي مستهلك كننده انرژي، جايگاه ويژه اي را به خود اختصاص داده اند .افزايش ميرائي با استفاده از روشهاي مختلفي نظير جاري شدن يك فلز نرم، اصطكاك دو فلز بر روي هم، حركت يك پيستون درون يك ماده لزج و يا رفتار ويسكوالاستيك در موادي از جنس شبيه لاستيك امكان پذير مي باشد. در سالهاي اخير تلاشهاي جدي به منظور توسعه مفهوم اتلاف انرژي به عنوان يك تكنولوژي كاربردي جهت مقابله با زلزله صورت گرفته است . اساس روشهاي تحليل و طراحي امروزي بر مقاومت در برابر بارهاي جانبي استوار مي باشد . از ديدگاه انرژي نياز به بازنگري در روشهاي فعلي تحليل و طراحي ضروري مي باشد به نحوي كه مهندس طراح بايستي توجه خود را بر مديريت انرژي ورودي به سازه در اثر زمين لرزه متمركز نمايد. سیستم های غیرفعال اتلاف انرژی که میراگر فلزی به عنوان یکی از انواع این سیستم ها می باشد، امروزه مورد توجه فراوان قرار گرفته اند. استفاده از این سیستم ها باعث تمرکز اتلاف انرژی در میراگرها شده و در نهایت تقاضای اتلاف انرژی در اعضای اصلی سازه کاهش می یابد.

جهت طراحي سيستم هاي مدرن ، براي يك طرح مقاوم لرزه اي مناسب ابتدا بايد سعي در حداقل نمودن مقدار انرژي هيسترتيك تلف شده در اعضاي اصلي سازه نمود .دو ديدگاه مهم جهت رسيدن به اين هدف وجود دارد. اولين ديدگاه شامل طرح هايي است كه در آن سعي در كاهش انرژي ورودي به سازه داريم كه به عنوان مثال سيستم هاي جداسازي پايه از آن جمله اند. دومين ديدگاه بر روي مكانيزم هاي اتلاف انرژي در خود سازه متمركز است . براي اين منظور از يك سري تجهيزات استفاده مي نماييم . اين تجهيزات به گونه اي طراحي مي شوند كه بخشي از انرژي ورودي به سازه را تلف مي نمايند و در نتيجه خسارت وارده به سازه اصلي كه ناشي از اتلاف انرژي به صورت هيسترتيك مي باشد ، كاهش مي يابد . انواع سيستم هاي مدرن مقاوم در برابر زلزله شامل سيستم هاي جدا سازي پایه ای، سيستمهاي فعال و نيمه فعال و سيستمهاي منفعل می شود.

از ميان سيستم هاي منفعل اتلاف انرژي ، ميراگرهاي فلزي به دليل عدم نياز به تكنولوژي پيچيده جهت ساخت ، عملي تر بودن كاربرد آنها در سازه ، رفتار پايدار در برابر زلزله و دخيل نبودن عوامل محيطي (درجه حرارت ، رطوبت و ...) در رفتار مكانيكي آنها از اهميت خاصي برخوردارند . اين ميراگرها باعث افزايش ميرايي و سختي در سيستم سازه اي شده و ظرفيت اتلاف انرژي را افزايش مي دهند .افزودن ميراگرهاي فلزي به سازه باعث تمركز اتلاف انرژي در ميراگر ها مي شود كه پس از وقوع زلزله مي توان ميراگرها را به راحتي تعويض نمود و جهت مقابله با زلزله هاي بعدي مقاوم نمود. اين قطعات انرژي ورودي به سازه را به انرژي كرنش پلاستيك يا انرژي هيسترتيك تبديل مي كنند . اين انرژي غير قابل برگشت است و در سازه تلف مي شود.

اخیراً استفاده از مصالح کامپوزیت در سال های اخیر با توجه به خصوصیات برتر مکانیکی و راحتی حمل‌و‌ نقل به‌ عنوان روشی جایگزین روش‌های متداول قبلی جهت تقویت برشی مطرح شده است. دو حالت شکست خمشی و برشی را می‌توان برای دیوار برشی در نظر گرفت. شکست خمشی معمولاً با تسلیم میلگرد همراه می‌باشد. در این حالت کاهندگی مقاومت در حلقه‌های پسماند دیده نمی‌شود، اما کاهندگی سختی ناشی از تسلیم میلگردها مشخص می‌باشد. در شرایط خاصی که دیوار تحت نیروی فشاری زیادی نیز قرار گیرد شکست خمشی با خرد شدن بتن فشاری همراه است که در این حالت علاوه بر کاهندگی سختی کاهندگی مقاومت نیز به‌ وجود می‌آید. دیوارهائی که نسبت بعدی (ارتفاع به‌طول) کمی دارند دچار شکست برشی می‌گردند، در این حالت ترک‌های قطری ظاهر می‌شوند. مود شکست در این حالت به‌صورت ترد در پای دیوار رخ می‌دهد.

کمبود شکل‌پذیری به‌عنوان عمده‌ترین ضعف دیوارهای برشی موجود برای مقابله با نیروی جانبی محسوب می‌گردد. جهت رسیدن به شکل‌پذیری مناسب لازم است که از تمام حالات شکست ترد جلوگیری اجتناب نمود. از طرف دیگر انرژی وارد به دیوار نیز باید از طریق ایجاد مفصل پلاستیک در ارتفاع دیوار جذب و مستهلک گردد. بنابراین در نواحی مستعد تشکیل مفصل پلاستیک، لازم می‌باشد که المان‌های مرزی به‌نحو مناسبی محصور گردند و از کمانش آرماتورهای طولی دیوار در این قسمت‌ها نیز جلوگیری کرد. به‌طور کلی افزایش ظرفیت برشی دیوار با FRP باید به‌حدی باشد که امکان تشکیل مفصل پلاستیک در طول دیوار بدون وقوع شکست برشی انجام گردد. رفتار با تغییر مکان دیوار تقویت شده در محل وصله به کمک حلقه‌های هیسترتیک نشان می‌دهد که مقدار زیادی خمش غیرالاستیک در پای دیوار ایجاد می‌گردد که سبب جذب مقدار قابل توجهی انرژی می‌گردد.

**2-6 انواع اجزای جذب کننده انرژی**

در اثر اعمال بارهای دینامیکی به سازه، تغییر مکان حاصله همراه با سرعت و شتاب خواهد بود. برای مقابله با این موارد، نیروهای اینرسی و میرایی در سازه بوجود می آیند. نیروی میرایی، نیرویی است که باعث استهلاک انرژی ورودی می شود. میرایی یک سازه بستگی به مصالح آن، چگونگی اتصالات، کیفیت اجرا و ساخت سازه، نوع پی و عوامل دیگر دارد. هر اندازه که میرایی در سازه بیشتر باشد، انرژی های وارد بر سازه، از جمله انرژی زلزله زودتر مستهلک می شود. رفتار سازه تحت بارهای لرزه ای بستگی زیادی به ظرفیت آن در اتلاف انرژی زلزله دارد. در سیستم های متداول سازه ای، انرژی وارده به صورت های گوناگون جذب می شود. در قاب های خمشی، اتلاف انرژی زلزله در لولاهای پلاستیک، که در تیرها و اتصالات تیر به ستون تشکیل می شود و همچنین در چشمه اتصال تیر به ستون، از طریق ایجاد تسلیم در این ناحیه، صورت می گیرد. بادبندهای CBF که به صورت درست طراحی شده باشند نیز از طریق سیکل های متوالی کمانش غیرالاستیک در فشار و تسلیم در کشش انرژی هیسترزیس را اتلاف می نمایند. بادبندهای EBF هم انرژی را به صورت تسلیم کنترل شده اتصالات خمشی یا برشی هدر می دهند. همچنین مقداری از انرژی در تیرهای پیوند مستهلک می شود.

در مقوله جذب انرژی زلزله دو رویکرد وجود دارد. رویکرد اول شامل طرح هایی می شود که باعث کاهش انرژی ورودی به سازه می شود و سیستم های جداسازی پایه برای نمونه جزو این دسته می باشد. دیدگاه دیگر بر روی مکانیسم های اتلاف انرژی در سازه است. این تجهیزات به صورتی طراحی می شوند که بخشی از انرژی ورودی مصرف شده و در نتیجه خسارت وارده به سازه اصلی که ناشی از اتلاف هیسترتیک می باشد کاهش یابد. طبیعی است که برای یک زمین لرزه بزرگ، این تجهیزات بخش عمده ای از انرژی زلزله را جذب می کنند. برای یک طرح مقاوم لرزه ای مناسب، ابتدا باید تلاشی برای کمینه کردن مقدار انرژی هیسترتیک تلف شده توسط سازه نمود. با اضافه شدن میراگرها به سازه و صرف بخشی از انرژی زلزله در آنها، سهم انرژی میرایی و هیسترتیک اعضای سازه ای کاهش می یابد. با کاهش یافتن انرژی هیسترتیک در اعضای سازه ای، خسارت سازه ای کاهش می یابد.

روی هم رفته اجزای جذب کننده انرژی را می توان به سه گروه طبقه بندی نمود:

1. اجزای وابسته به تغییر مکان که انرژی جذب شده در آنها به صورت انرژی هیسترتیک و نیروهای پدید آمده در این قطعات ناشی از تغییر مکان در آنها است و مستقل از سرعت و فرکانس بارگذاری می باشند. مانند میراگرهای فلزی تسلیم شونده و میراگرهای اصطکاکی
2. اجزای وابسته به سرعت که انرژی جذب شده در آنها به صورت انرژی میرایی می باشد و نیروهای وجودآمده در آنها ناشی از سرعت بوده و وابسته به دمای محیط، فرکانس و سرعت بارگذاری می باشند. مانند میراگراهای مایع ویسکوز و میراگرهای ویسکوالاستیک.
3. دیگر اجزا که در این دو گروه قرار نمی گیرند. مانند فلزات حافظه دار، میراگرهای اصطکاکی با قابلیت برگشت پذیری مرکزی و میراگرهای مایع با قابلیت ذخیره نیرو.

در اجزای هیسترتیک معمولاً آستانه ای برای فعال شدن جزء وجود دارد که تا نیروی محرک به آن حد نرسد، جذب انرژی آغاز نمی شود ولی در میراگرهای ویسکوز معمولاً چنین آستانه ای وجود ندارد و تقریباً در تمام شدت های بارگذاری انرژی جذب می کنند.

یک نوع مهم از میراگرها، میراگرهای فلزی می باشند. استفاده از اجزای فلزی جاری شونده به عنوان جاذب انرژی به علت انعطاف پذیری آنها می باشد که اجازه ایجاد تغییر شکل های بزرگ پلاستیک را بدون ایجاد گسیختی می دهد. میراگرهای فلزی دارای میرایی هیسترتیک می باشند. این اجزا قسمتی از انرژی ورودی به سازه را به انرژی کرنش پلاستیک یا انرژی هیسترتیک تبدیل می کنند. این انرژی غیر قابل بازگشت است و در سازه تلف می شود. تاکنون چند نوع از میراگرهای فلزی توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته اند. میراگرهای ADAS و TADAS از جمله این میراگرهای فلزی هستند. قطعات فلزی جاذب انرژی دیگری نیز با نام لوله های جدار نازک فلزی جاذب انرژی در صنایع مختلف از جمله خودروسازی مورد استفاده قرار گرفته اند.

میراگرها را می توان به سه دسته کلی تقسیم نمود. دو گروه اول از اهمیت بالاتری برخوردارند و میراگرهای متداول ساختمانی معمولاً در این دو گروه قرار می گیرند. تا کنون میراگرهای مختلفی مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته اند و به دلیل کارایی مناسب، توسعه پیدا کرده و به عنوان میراگر انرژی باد و زلزله در ساختمان مورد استفاده قرار گرفته اند. هر گروه از میراگرها از مکانیسم خاصی برای استهلاک انرژی استفاده می کنند که با توجه به مکانیسم مورد استفاده، به چهار گروه تقسیم می شوند. این گروه ها عبارتند از :

1. میراگرهای اصطکاکی
2. میراگرهای ویسکوالاستیک
3. میراگرهای ویسکوز
4. میراگرهای فلزی

نیروهای جانبی وارد شده روی سازه ها به سبب ایجاد تغییر مکان های جانبی زیاد و در نتیجه بوجود آمدن لنگرها و نیروهای بزرگ در اعضای سازه ای، همیشه نقش مهمی در تحلیل و طراحی سازه ای ایفا می کنند.

اثر نیروهای جانبی هنگامی بیشتر مشخص می شود که بدنبال طراحی سازه هایی با ارتفاع زیاد و یا با بارگذاری های سنگین باشیم. در این نوع سازه ها اگر طراحی تنها بر مبنای رفتار الاستیک انجام گیرد به علت بوجود آمدن ابعاد بزرگ مقاطع طرح اقتصادی نخواهد بود. از این رو بررسی رفتار پلاستیک سازه ها نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. از این رو بررسی رفتار انواع سازه های مقاوم در برابر بارهای جانبی الاستیک و پلاستیک، بخش عمده ای از زمینه های تحقیق در مهندسی سازه را تشکیل می دهد. بویژه از نظر میزان جذب انرژی که نقش عمده ای در کاستن از انرژی زلزله و خرابی های ناشی از آن دارد. در تحقیقاتی که توسط پژوهشگران در سال های اخیر برای مطالعه رفتار سازه های باربر جانبی هنگام زلزله صورت گرفته است، مشخص شده است که نوع ساختمان (بتنی یا فولادی) و نوع سازه باربر جانبی نیز نقش زیادی در میزان جذب انرژی زلزله و مهار نیروهای ناشی از آن دارد. البته نمی توان صراحتاً در مورد میزان کارایی هر کدام ازین سیستم ها هنگام رخداد زلزله قضاوت نمود. البته نتایج تحقیقات انجام شده عملاً کارایی برخی سیستمهای مهار جانبی را از لحاظ مقاومت در برابر زلزله زیر سوال برده و همین باعث منسوخ شدن برخی انواع سازه ها و یا سازه های باربر جانبی گردیده است. برای نمونه سیستم طاق ضربی و یا خورجینی که امروزه عملاً استفاده ازآن در ساختمان ها ممنوع گردیده است. اما کارایی برخی سیستم ها مانند سیستم مهاربندی بویژه همگرا هنوز بطور جدی زیرسوال نرفته است. هرچند امروزه با وجود دشواری اجرای سیستم دیوار برشی نسبت به مهاربندهای همگرا، این سیستم عملاً در حال جانشینی سیستم مهاربندی همگراست و علت چیزی جز درک جمعی کارایی مناسب تر این سیستم مهاربندی جانبی نسبت به مهاربندهای همگراست. از این رو محقق نیز کنجکاو است بداند آیا واقعاً در مجموع استفاده از دیوار برشی برای مهاربندی جانبی ساختمان مناسب تر از مهاربندهای همگراست.

**2-7- تأثیر نوع سیستم باربر بر رفتار سازه های بلند**

نیروهای جانبی اعمال شده بر روی سازه ها به دلیل ایجاد تغیبر مکان های جانبی زیاد و در نتیجه بوجود آمدن لنگرها و نیروهای بزرگ در اعضای سازه ای همواره نقش مهمی را در تحلیل و طراحی سازه ها ایفا می کنند. اثر نیروهای جانبی هنگامی بیشتر مشخص می شود که طراحی سازه ها با ارتفاع زیاد و یا با بارگذاری های سنگین مدنظر باشد. در این نوع سازه ها اگر طراحی تنها بر مبنای رفتار الاستیک انجام بگیرد به علت بوجود آمدن ابعاد بزرگ مقاطع طرح اقتصادی نخواهد بود. بنابراین بررسی رفتار غیر الاستیک سازه ها نیز اهمیت زیادی دارد. از این رو مطالعه روی رفتار انواع سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی (الاستیک و غیر الاستیک) از مهم ترین زمینه های تحقیق و بررسی در مهندسی سازه می باشد. برای نمونه قاب ممان گیر جزو سیستم های اولیه برای مقابله با بارهای جانبی می باشد. در این قاب اتصال بین تیر و ستون گیردار بوده و هنگامی که قاب تحت تأثیر بار حانبی قرار می گیرد به علت انتقال لنگر بین تیر و ستون، هر دو این اعضا در مقابل بار جانبی از خود مقاومت نشان می دهند. در قاب ممان گیر به دلیل اینکه سختی خکشی اعضا جهت مقابله با لنگرهای منتجه از بار جانبی عمل می کند و این میزان سختی آن چنان قابل توجه نمی باشد، تغییر ممان جانبی در این سیستم زیاد است. همچنین در این قاب ها به علت لنگرهای فوق العاده زیادی که در انتهای ستون و تیر بوجود می آید ابعاد مقاطع خیلی زیاد شده و طرح غیر اقتصادی می گردد.

برای مقاوم نمودن و سخت تر نمودن سیستم قاب خمشی مقاوم می توان ترکیبی از قاب ممان گیر و المان زانویی را استفاده نمود. این سیستم دارای شکل پذیری بیشتر و پایدارتری نسبت به قاب خمشی می باشد، اما با افزایش نیروی جانبی این سیستم نیز مقاومت کافی نخواهد داشت. با توجه به عدم مقاومت کافی قاب ممان گیر استفاده از سازه های خرپایی اجتناب ناپذیر می باشد. در قاب های مجهز به سازه های خرپایی سختی محوری عضو خرپا برای مقابله با نیروی جانبی عمل می کند و این سختی به مراتب بیشتر از سختی خمشی می باشد. بنابراین این قاب ها دارای سختی کافی برای مقابله با بارهای جانبی می باشند. اعضای خرپا که به صورت ضربدری دهنه های مشخصی از قاب از تراز پایین تا بالای سازه اجرا می گردد. حالت دیگر اعضای خرپا به فرم زنجیره ای متوالی می باشد. بدین صورت که پس از اجرای خرپا در دهانه طبقه همکف، خرپا در قاب دهانه مجاور در طبقه بعدی اجرا می شود و همین عمل تا بالاترین طبقه ادامه می یابد.

تحقیقات و بررسی های انجام شده بر روی سازه های خرپایی نشان دهنده عملکرد بسیار خوب آن در محدوده الاستیک می باشد. اعضای خرپا در محدوده الاستیک از سختی بالایی برخوردارند و می توانند در کنترل تغییر مکان جانبی بسیار مؤثر عمل کنند. رفتار هیسترزیس اعضای خرپایی منظم است و بنابراین این سیستم در محدوده غیرخطی رفتار قابل اطمینانی خواهد داشت.

اصولاً قاب های خمشی مهارشده توسط اعضای خرپایی در نواحی با خطر زلزله زیاد مورد استفاده هستند. در این سیستم ها اتلاف انرژی از طریق تعیین رفتار غیرخطی اعضای محوری قابل تعیین است. البته باید توجه داشت که در تغییر مکان های بزرگ دیگر اعضای قاب مهاربندی شده به شکل اعضای محوری عمل نمی کنند و خمش ناشی از انتقال جانبی قاب هم عامل مؤثری خواهد بود اما رفتار غیر خطی محوری می تواند یک تقریب نسبتاً خوب حتی برای این حالت باشد. در نواحی با خطر زلزله زیاد اینکه اجازه دهیم سازه تحت یک حادثه لرزه ای شدید وارد ناحیه غیر خطی چه از نوع مصالح و چه از نوع هندسی شود، یک موضوع معمول است. بعلاوه مقاومت قاب های فلزی مهاربندی شده در مقابل زلزله به ظرفیت اعضای قاب مهاربندی شده تحت سیکل های تغییر شکل غیرخطی مختلف، شامل کشیدگی تحت نیروی کششی و کمانش تحت نیروی فشاری بستگی دارد.

مطالعات و آزمایش های مختلفی درباره رفتار غیرخطی اعضای مورب مهاربندی تحت تأثیر بارگذاری رفت و برگشتی انجام شده تا اطلاعاتی برای طراحی اعضای مهاربندی تحت بارگذاری رفت و برگشتی جمع آوری شود. اطلاعات بدست آمده ثابت می کند که کمانش کلی، کمانش موضعی، گسیختگی کششی و خرابی اتصالات، مدهای اصلی خرابی اعضای مهاربندی می باشند. علاوه بر این کمانش و کاهش ظرفیت ناشی از آن یکی از دلایل پیچیدگی رفتار چنین اعضایی می باشد. می توان از مطالعات گذشته به این نتیجه گیری رسید که رفتار رفت و برگشتی اعضای مهاربندی به دلیل برخی پدیده های فیزیکی مانند تسلیم تحت کشش، کمانش تحت فشار، کاهش ظرفیت فشاری ناشی از رفتار بعد از کمانش، کاهش سختی محوری تحت بارگذاری رفت و برگشتی و اثر بوشینگر، بسیار پیچیده است. این عوامل بطور مؤثری روی روند رابطه سازی رفتار غیرخطی مهاربندی های فلزی اثر می گذارند.

روش های مختلفی در تحلیل اعضای فشاری بکار می رود که ساده ترین آنها روش مقدار ویژه یا آنالیز مودال می باشد که در آن طرف دوم معادلات دیفرانسیل یا مشتق جزیی حاکم صفر بوده و اطلاعاتی راجع به رفتار پس از کمانش به ما نمی دهد و فقط به بازشناسی مدهای کمانشی ممکن می پردازد. در این روش سعی بر این است که مقدار مقاومت بیشینه یک عضو محوری بدون خروج از محوری و کاملاً مستقیم تحت فشار پیدا شود بدون اینکه تغییر مکان ها بطور دقیق مشخص شده باشد. در این روش یک عضو محوری ایده آل در نظر گرفته می شود و فرض می شود تنها تغییر مکانی که می تواند رخ دهد در جهت بار فشاری اعمال شده می باشد و بار فشاری که درست بر محور عضو عمل می کند تولید تغییر مکان عرضی نمی کند تا زمانی که بار کمانشی یا بطور دقیق تر نقطه دوشاخگی فرا برسد. اما از آنجا که یک عضو محوری واقعی دارای نقص های اولیه ای از قبیل خروج از محوری اولیه می باشد و در این گونه اعضا تغییر مکان عرضی از همان شروع اعمال نیروی محوری فشاری شروع می شود و هیچگونه نقطه دوشاخگی یا تغییر ناگهانی در تغییر مکان در حین افزایش بار فشاری وجود ندارد. بنابراین مقاومت کمانشی یا ظرفیت بیشینه تحمل بار فشاری برای اعضای فشاری دارای نقص عضو اولیه که آن را از حالت ایده آل خارج می کند، باید توسط روش های دیگری تعیین شود که روش اجزای محدود از آن جمله است. در این روش ها باید رفتار بار محوری فشاری –کوتاه شدگی در طول کل مسیر بارگذاری تا بار نهایی که شامل شاخه پایین افتادگی یا باربرداری در منحنی بار محوری فشاری- کوتاه شدگی می باشد، تعیین شود.

**فصل سوم روش تحقیق**

**3-1- مقدمه**

با توجه به خسارات و تلفات ناشی از زلزله در کشورهاي زلزله خیز، لزوم طراحی سازه هاي مقاوم در برابر زلزله امري انکار ناپذیر است. براي طرح یک ساختمان در مقابل زلزله لازم است اطلاعاتی جامع و کامل از رفتار آن در مقابل نیروهاي ناشی از زلزله در دست باشد. باید دانست که رعایت ضوابط و مقررات مندرج در آیین نامه ها تضمین کنندة مقاوم شدن کامل ساختمانها در برابر نیروهاي ناشی از زلزله نیست. به همین جهت باید رفتار سازه ها را به طور کلی و به دقت مورد توجه قرار داد.

برای طراحی مطمئن و اقتصادی سازه ها برای مقابله با بارهای جانبی مانند باد و زلزله رفتار سازه را باید بطور کامل شناخت. در این جهت بررسی رفتار اتصالات و همچنین شکل اجزای خرپایی و میزان جذب انرژی آنها بسیار مهم می باشد. دو عامل مهم در یک اتصال یا مهاربندی مطمئن، وجود سختی مناسب و انرژی پذیری بالا می باشد. بدین معنا که سازه علاوه بر اینکه در مقابل زلزله دارای سختی لازم می باشد توانایی جذب انرژی را نیز داشته باشد. جذب انرژی را می توان یا با استفاده از میراگر بدست آورد و یا با استفاده از رفتار هیسترتیک سازه آن را بررسی نمود. در رفتار هیسترتیک، شکل اجزا و اتصال تأثیر مهمی خواهد داشت. در طراحی هندسه های مختلف خرپاها، اقسام مختلف خرپاها مورد استفاده قرار گرفته است و رفتار آنها بوسیله آزمایش های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است.

تأمین شکل پذیری سازه ها متأثر از رفتار غیر خطی اعضا و اتصالات آن در زمان وقوع زلزله است که تعمیر و بازسازی آن ها بعد از وقوع زلزله تابع گستردگی المان های مقاوم در حجم سازه خواهد بود. بهمین دلیل تعمیر و بازسازی سازه های خمشی از هزینه قابل ملاحظه ای برخوردار است. در مقابل، دیوارهاي برشی به خاطر صلبیت و مقاومت مناسب در بسیاري از سازه هاي مقاوم در برابر زلزله به کار می روند. مشاهدات عینی در زلزله هاي اخیر نشان می دهد که دیوارهاي برشی علاوه بر ایمن سازي سازه باعث جلوگیري از بروز خسارت غیر سازه هاي سنگین و پرهزینه در خلال زلزله هاي با شدت متوسط می گردند. براي مقاوم بودن دیوارهاي برشی در مقابل زلزله لازم است آنها داراي استحکام بالا، ظرفیت اتلاف انرژي خوب و حداقل تنزل سختی باشند. هر سازة پایدار یا مقاوم در برابر زلزله باید هم به صورت کلی و یک مجموعۀ کامل، شکل پذیر باشد و هم اعضاي آن به تفکیک شکل پذیر باشند. بنابراین با توجه به نوع سازه اي که براي مناطق زلزله خیز طراحی می شود، باید مصالح به کار رفته در آنها به نحوي اختیار و ترکیب شوند که نتیجۀ رفتار آنها، شکل پذیر بودن را تأمین نماید.

**3-2 ارتباط شکل پذیری با میزان جذب انرژی در سیستم های باربر سازه های بلند**

مصالح شکل پذیر به موادي گفته می شود که در حین تحمل بار، کرنشهاي زیادي را از خود نشان می دهند. براي سازه ها، شکل پذیري به معناي توانایی حمل تغییر شکل هاي غیر ارتجاعی قابل توجه قبل از تخریب عضو می باشد. یک عضو شکل پذیر باید اولاً قادر باشد به قدر کافی تغییرشکل هاي غیر ارتجاعی زیادي را تحمل کند بدون اینکه مقاومتش به طور چشمگیري کاسته شود و ثانیاً قادر باشد مقدار قابل توجهی از انرژي زلزله را از طریق چرخه هاي رفتاري پایدار، جذب و مستهلک نماید. در ساختمانهاي فولادی براي اینکه اعضا بتوانند بارهاي متناوب ناشی از زلزله را در چندین سیکل متوالی تحمل نمایند، آنها را به صورتی طراحی می کنند که رفتار اعضا از حد ارتجاعی فراتر رود و تغییر شکل هایی در اعضا بوجود آید، در این حالت اگر اعضا و اتصالاتی بتوانند در برابر این تغییر شکلها مقاومت کنند، در این صورت خود قاب به عنوان میرا کنندة بارهاي متناوب عمل نموده و مقدار زیادي انرژي زلزله را جذب خواهد کرد.

آنچه در این تحقیق با آن سروکار داریم مطالعه رفتار دیوارهای برشی، قاب های خمشی و سیستم های ترکیبی قاب خمشی و دیوار برشی و همچنین قاب های فولادی با سازه های خرپایی است. تحلیل رفتار دیوار برشی و قاب های فولادی با سازه های خرپایی از نوع تحلیل غیر خطی استاتیکی است و رفتار غیر خطی از نوع رفتار غیرخطی مواد می باشد. اما در مورد قاب های خمشی و سیستم های ترکیبی شامل قاب های خمشی و دیوارهای برشی در سازه های بلند ناگزیر به انجام تحلیل دینامیکی هستیم. در این بخش ابتدا در مورد انواع رفتار غیرخطی سازه بحث می کنیم و سپس مراحلی را که طی آن آنالیز سازه انجام می شود بیان می گردد.

علل رفتار غیر خطی سازه را می توان به سه دسته تقسیم بندی نمود:

1. تغییر حالت: برخی از رفتارهای غیرخطی بستگی به حالت ماده یا سازه دارد. برای نمونه عضو خرپایی که فقط کشش را تحمل می کند یا در حالت کشیده و محکم است و یا در حال شل و افتاده. یک تکیه گاه لغزشی یا در حالت تماس است یا در حالت بدون تماس.
2. رفتار غیرخطی هندسی: اگر عاملی تغییر شکل بزرگی را در سازه بوجود آورد، تغییرشکل هندسی سازه می تواند باعث پاسخ غیرخطی شود. برای نمونه وقتی یک تیر طره تحت بار روی آن خم می شود، این بار جانبی باعث می شود تغییر شکلی در طره ایجاد گردد که با افزایش بار، سختی تیر افزایش یابد.
3. رابطه غیر خطی تنش- کرنش یک عامل عمومی در رفتار غیرخطی مواد می باشد. عوامل زیادی بر رفتار و خصوصیات تنش-کرنش ماده اثر می گذارند. این عوامل شامل تاریخچه بارگذاری به صورت پاسخ الاستو- پلاستیک، وضعیت های محیطی مانند گرما و مدت زمان بارگذاری می باشند. انواع رفتار غیر خطی مواد عبارتند از :
4. پلاستیسیته
5. خزش
6. الاستیسیته غیرخطی
7. هایپر الاستیسیته
8. ویسکوالاستیسیته
9. تورم

آنچه در تحلیل رفتار قاب های خمشی، دیوار برشی و قاب های فولادی با اعضای خرپایی مورد توجه قرار می گیرد، رفتار غیرخطی ماده از نوع پلاستیسیته است. تئوری پلاستیسیته رابطه ریاضی که پاسخ الاستو-پلاستیک ماده را مشخص می کند، فراهم می کند. تئوری پلاستیسیته شامل سه قسمت است که در زیر اشاره شده است:

1. معیار تسلیم: میزان تنشی که در آن تسلیم شروع می شود را مشخص می کند. برای حالت تنش چند مؤلفه ای معیار تسلیم به صورت تابعی از مؤلفه های منفرد بیان می شود. بدین صورت که تابع مزبور، تنش منفردی را به نام تنش معادل تعریف می کند:

که در آن تنش معادل و بردار تنش می باشد.

وقتی تنش معادل مساوی پارامتر تسلیم ماده شود کرنش های پلاستیک در ماده ایجاد می گردند:

اگر تنش معادل کوچکتر از شود، ماده در حالت الاستیک است و تنش ها بر اساس رابطه تنش-کرنش الاستیک ماده گسترش خواهند یافت باید توجه داشت که تنش معادل هرگز نمی تواند از حد تسلیم ماده بیشتر شود زیرا در این حالت کرنش های پلاستیک گسترش می یابند بطوری که باعث کاهش تنش تا حد تسلیم ماده شوند.

1. قانون جریان

این قانون جهت گسترش کرنش های پلاستیک را معین می کند و مانند زیر بیان می شود:

که در آن افزایش کرنش پلاستیک، ضریب پلاستیک که میزان کرنش پلاستیک را مشخص می کند و تابعی از تنش است که پتانسیل پلاستیک را بیان می کند و جهت کرنش پلاسیتک را تعیین می کند.

اگر همان تابع تسلیم باشد، قانون جریان را متحد می خوانند و کرنش های پلاستیک در جهت عمود بر صفحه تسلیم اتفاق می افتند.

1. قانون سخت شدگی:

قانون سخت شدگی، تغییر صفحه تسلیم را با پیشرفت تسلیم بیان می کند، بطوری که اوضاع برای حد تسلیم های بعدی معین می شود. دو قانون سخت شدگی در دسترس می باشند. یکی سخت شدگی کار و دیگری سخت شدگی سینماتیک. در سخت شدگی کار، صفحه تسلیم به همان اندازه قبلی در اطراف خط مرکزی اولیه باقی می ماند و تنها اندازه آن تغییر می کند. در سخت شدگی سینماتیک فرض می شود که اندازه صفحه تسلیم ثابت باقی می ماند ولی صفحه تسلیم در فضای تنش با پیشرفت تسلیم انتقال می یابد.

شكل پذيري به مفهوم خسارت است، يعني وقتي از ابزار شكل پذيري براي كاهش نيروهاي ناشي از زلزله در طراحي استفاده مي گردد، انتظار خسارت نيز بعد از زلزله بايد وجود داشته باشد. يك مبحث مهم در طرح لرزه اي حدود شكل پذيري مي باشد، دو حد شكل پذيري به صورت زير تعريف مي شوند:

1. شكل پذيري موجود: اين شكل پذيري مربوط به سازه مي باشد و به پيكربندي، خصوصيات مصالح، نوع سطح مقطع، بارهاي ثقلي، كاهش سختي و مقاومت در بارهاي رفت و برگشتي و غیره بستگي دارد.
2. شكل پذيري مورد نياز: اين شكل پذيري نتيجه اثرهاي زلزله مي باشد و به پارامترهاي مانند بزرگي زلزله، نوع حركت زمين، تأثير خاك، پريود طبيعي سازه در مقابل پريود حركت، تعداد سيكلهاي رفت و برگشتي و غیره بستگي دارد.

چنانچه شكل پذيري مورد نياز كمتر از شكل پذيري موجود باشد سازه توانسته است كه تغيير شكل مناسب در طي زلزله را بدون كاهش مقاومت از خود بروز بدهد. بارهاي رفت و برگشتي ميتوانند تأثير بسزايي بر روي رفتار سازه و عضوهاي آن داشته باشند. ترسيم نمودار بار در مقابل تغيير مكان وقتي بار به صورت رفت و برگشتي باشد، نمودار هيسترتيک ناميده مي شود. از روی نمودار هيسترتيک می توان موارد زیر را دریافت:

1. سطح زير منحني نمودار هيسترزيس بيانگر ميزان انرژي مستهلك شده ناشي از زلزله مي باشد، هر چه ميزان اين سطح بزرگتر باشد، بيانگر ميزان شكل پذيري بيشتر است.
2. تقارن در نمودار هيسترزيس بيانگر يكسان بودن رفتار سازه در بارهاي رفت و برگشتي است، هر چه ميزان تقارن در اين نمودار بيشتر باشد، رفتار يكنواخت تري از سازه در زلزله مورد انتظار است.
3. چنانچه شيب نمودار در سيكل هاي متوالي كاهش پيدا كند، سازه داراي زوال سختي مي باشد.
4. چنانچه ارتفاع نمودار در سيكل هاي متوالي كاهش پيدا كند، سازه داراي زوال مقاومت مي باشد.
5. چنانچه ارتفاع نمودار در سيكل هاي متوالي افزايش پيدا كند، سازه داراي سخت شدگي مي باشد.
6. چنانچه نمودار در يك سيكل مسير يكنواختي را طي نكند سازه داراي لغزش مي باشد.
7. تعداد سيكلهاي نمودار بيانگر عملكرد سازه در زلزله مي باشد.

پاسخ شكل پذير يك سازه فولادي منوط به دستيابي به تسليم فولاد مي باشد. پاسخ غيرشكل پذير سيستمهاي فولادي نتيجه شكست و يا ناپايداري مي باشد. در نتيجه، پارامتر كليدي در طراحي شكل پذير سازه ها براي حداكثر تسليم در المان هاي قابهاي فولادي، تأخير در شروع ناپايداري و شكست مي باشد.

براي تحقق اين موضوع اولين قدم انتخاب محل هاي جاري شدن (تسليم) فولاد در قابها مي باشد، به اين محل ها مفصل پلاستيك گفته می شود. اين مكانها عبارتند از :

1. انتهاي تيرها در قابهاي خمشي
2. عضوهاي مهاري در قابهاي فولادی با اعضای خرپایی

طرح لرزه اي در سازه های فولادي از دو بخش تشکيل مي يابد:

1. طراحي شکل پذير (Ductility Design)
2. طراحي ظرفيت (Capacity Design)

جهت طراحي سيستم هاي مدرن ، براي يك طرح مقاوم لرزه اي مناسب ابتدا بايد سعي در حداقل نمودن مقدار انرژي هيسترتيك تلف شده در اعضاي اصلي سازه نمود .دو ديدگاه مهم جهت رسيدن به اين هدف وجود دارد. اولين ديدگاه شامل طرح هايي است كه در آن سعي در كاهش انرژي ورودي به سازه داريم كه به عنوان مثال سيستم هاي جداسازي پايه از آن جمله اند. دومين ديدگاه بر روي مكانيزم هاي اتلاف انرژي در خود سازه متمركز است . براي اين منظور از يك سري تجهيزات استفاده مي نماييم . اين تجهيزات به گونه اي طراحي مي شوند كه بخشي از انرژي ورودي به سازه را تلف مي نمايند و در نتيجه خسارت وارده به سازه اصلي كه ناشي از اتلاف انرژي به صورت هيسترتيك مي باشد ، كاهش مي يابد . انواع سيستم هاي مدرن مقاوم در برابر زلزله شامل سيستم هاي جدا سازي پایه ای، سيستمهاي فعال و نيمه فعال و سيستمهاي منفعل می شود. از ميان سيستم هاي منفعل اتلاف انرژي ، ميراگرهاي فلزي به دليل عدم نياز به تكنولوژي پيچيده جهت ساخت ، عملي تر بودن كاربرد آنها در سازه ، رفتار پايدار در برابر زلزله و دخيل نبودن عوامل محيطي مانند دما و رطوبت و در رفتار مكانيكي آنها از اهميت خاصي برخوردارند . اين ميراگرها باعث افزايش ميرايي و سختي در سيستم سازه اي شده و ظرفيت اتلاف انرژي را افزايش مي دهند .افزودن ميراگرهاي فلزي به سازه باعث تمركز اتلاف انرژي در ميراگر ها مي شود كه پس از وقوع زلزله مي توان ميراگرها را به راحتي تعويض نمود و جهت مقابله با زلزله هاي بعدي مقاوم نمود. اين قطعات انرژي ورودي به سازه را به انرژي كرنش پلاستيك يا انرژي هيسترتيك تبديل مي كنند . اين انرژي غيرقابل برگشت است و در سازه تلف مي شود.

**3-3 انواع سیستم های باربر در سازه های بلند**

سیستم هاي باربر متداول در سازه هاي بلند عبارتند از :

1. سیستم هاي مرکب از قاب و دیوار برشی - هسته برشی
2. سیستم هاي لوله اي در سازه های بلند
3. فن آوري سوپر فریم R.C در ساختمان هاي بلند مسکونی

**3 -3 -1 سیستم ترکیبی قاب خمشی و دیوار برشی**

سیستم هاي قاب خمشی ویژه براي ساختمان هاي مرتفع تر از 30 طبقه عملی نمی باشد. در چنین مواردي یکی از انواع دیوار برشی نیز در قاب به کار برده می شود تا بارهاي جانبی را مقاومت کند. دیوارهاي برشی یا بتنی می باشند و یا از مهار بندي فولادي مشبک (خرپایی) تشکیل می گردند. این دیوارها ممکن است هسته هاي داخلی، بسته مانند هسته هاي دور محوطه هاي آسانسورها و پله ها، یا دیوارهاي موازي در داخل ساختمان، و یا خرپاهاي نمایی قائم باشند .شکل هاي گوناگون نقشه هاي افقی، راه حل هاي مختلف ممکن را براي طرح هاي افقی نشان می دهند. سیستم هاي هسته اي در ارتباط با فرم ساختمان از نقطه نظرهاي زیر طبقه بندي می شوند:

**3-3 -1 -1** **محل و موقعیت هسته ها**

1. هسته هاي نمایی خارجی
2. هسته هاي داخلی :هسته هایی نمایی،هسته ها در داخل ساختمان
3. هسته هاي خارجی از مرکز

**3-3 -1 -2** **تعداد هسته ها**

1. هسته هاي منفرد
2. هسته هاي شکافته
3. هسته هاي چندتایی

**3-3 -1 -3** **شکل هسته ها**

1. شکل هاي بسته : مربعی، مستطیلی، دایره اي و مثلثی .
2. شکل هاي باز : I شکل و ناودانی شکل
3. شکل هایی که از فرم ساخمان الهام می گیرند .

سیستم هاي مرکب از قاب و دیوار برشی بر اساس رفتارشان تحت بارگذاري جانبی دسته بندي می شوند که ممکن است یکی از سه نوع زیر باشند .

1. سیستم هاي مرکب از قاب مفصلی و دیوار برشی : در این سیستم چون اتصال تیرهاي قاب به ستون ها مفصلی می باشد، قاب فقط می تواند بارهاي وزن را تحمل کند. دیوار برشی در برابر تمام بارهاي جانبی مقاومت می کند .
2. سیستم هاي مرکب از قاب مفصلی، قاب ویراندیل و دیوار برشی : نیروهاي جانبی به وسیله دیوار برشی و قاب صلب (قاب ویراندیل) مشترکاً مقاومت می گردند. قاب هاي داخلی و قاب هاي نمایی طولی فقط بارهاي وزن را تحمل می کنند .
3. سیستم هاي مرکب از قاب صلب و دیوار برشی : به کار بردن فقط دیوارهاي برشی به منظور جذب بارهاي جانبی براي ارتفاعات بیش از 500 فوت غیر عملی می باشد. براي اینکه هسته ها به اندازه کافی قوي باشند باید ابعاد آنها خیلی بزرگ انتخاب شود که در این صورت دیگر براي دستگاه هاي حمل و نقل قائم و توزیع انرژي مناسب نخواهند بود .

به علاوه تغییر شکل آنها ممکن است چنان زیاد باشد که در دیوارهاي جدا کننده و پنجره ها ترك ایجاد کند و یا حتی در ساکنین ساختمان واکنشهاي روانی ناگوار به وجود آورد. با به کار بردن قاب صلب که براي مقاومت نیروهاي جانبی با دیوار برشی سهیم می شود بر صلبیت جانبی ساختمان به مقدار زیادي افزوده می گردد. تغییر شکل کل سیستم هاي متشکل از دیوار برشی و قاب صلب که روي یکدیگر اثر متقابل دارند با جمع کردن حالت هاي تغییر شکل جداگانه دیوار و قاب بدست می آید .

1. تغییر شکل حالت برش قاب صلب : توجه کنید که شیب منحنی تغییر شکل در پاي ساختمان در جایی که بیشترین برشاثر می کند حداکثر می باشد .
2. تغییر شکل حالت خمش دیوار برشی : دیوار برشی ممکن است یک دیوار بتنی توپر یا یک خرپاي فولادي قائم باشد. این دیوار برشی ممکن است یک هسته داخلی، دیوار هاي داخلی، دیوار هاي داخلی موازي و یا یک دیوار نمایی باشد. دیوار برشی مانند یک تیر طره اي قائم عمل می کند و مانند آن خم می شود. توجه کنید که شیب منحنی تغییر شکل در بالاي ساختمان حداکثر می باشد و این دلالت بر این قسمت ساختمان دیوار برشی در ایجاد سختی کمترین سهم را دارد .
3. تاثیر متقابل قاب و هسته برشی : براي یافتن اثر متقابل قاب و دیوار برشی تغییر شکل هاي دو حالت فوق را با هم جمع می کنیم که یک منحنی **S** کشیده حاصل می شود. به علت خصوصیات تغییر شکلی مختلف دیوار برشی و قاب، دیوار برشی به وسیله قاب در قسمت بالاي ساختمان به عقب کشیده می شود و در قسمت پایین ساختمان به جلو رانده می شود. از این رو برش ناشی از باد یا زلزله در قسمت بالاي ساختمان به وسیله قاب و در قسمت پایین ساختمان به وسیله دیوار برشی گرفته می شود.

**3-3 -1 -4** **هسته برشی :**

یکی از سیستمهاي رایج مقاوم در برابر بارهاي جانبی استفاده از سیستم مختلط دیوار برشی و قاب خمشی است. اگر چند دیوار برشی رو طوري در کنار هم قرار گیرندکه یک محیط بسته ایجاد شود به شکل مستطیل ، مربع ، مثلث ، دایره یا هر شکل بسته دیگر، چنین سیستمی سختی پیچشی فوق العاده زیادي دارد طوري که سختی قابها در مقابل آن قابل صرفنظر کردن است . اگر چنین سیستمی در مجاورت مرکز جرم سازه متمرکز شود، چون باید اختلاف مرکز جرم و مرکز سختی به حداقل برسد تا بازوي لنگر پیچشی وارده بر سازه تا حد امکان کوچک شود، در واقع یک هسته برشی در ساختمان ایجاد شده است که وظیفه جذب و انتقال نیروهاي جانبی نظیر باد و زلزله را دارد .

**3 -3 -2 سیستم هاي لوله اي در سازه برج**

اخیراً در طرح سازه هاي بلند ایده جدیدي ارائه شده است که موسوم به سیستم لوله اي می باشد. در حال حاضر در چهار مورد از پنج ساختمانی که بلندترین ساختمان هاي دنیا می باشند از این روش استفاده شده است. این ساختمان ها عبارتند از، ساختمان هنکاك برج سیرز و ساختمان استاندارد اویل در شیکاگو و ساختمان مرکز تجارت دنیا در نیویورك . بازده سازه اي سیستم هاي لوله اي به قدري زیاد می باشدکه در اکثر موارد مقدار مصالح سازه اي مصرف شده براي هر فوت مربع کف (یا سقف) قابل مقایسه با مقدار مصالح مصرف شده در ساختمان هاي قابی متداول به ارتفاع نصف می باشد .

در طرح لوله اي فرض می شود که عناصر سازه اي پیرامونی ساختمان در مقابل بارهاي جانبی همچون یک تیر با مقطع قوطی تو خالی که از زمین طره شده است عمل کند. چون دیوارهاي خارجی تمام یا بیشتر بار جانبی را تحمل می کنند، مهار بندي هاي قطري یا دیوارهاي برشی داخلی پر هزینه حذف می گردند .

دیوارهاي لوله از ستون هایی تشکیل می شوند که به فواصل کم در مجاورت یکدیگر در اطراف محیط ساختمان قرار می گیرند و به یکدیگر با تیرهاي با عمق زیاد که در بالا و پایین آنها سوراخ هاي پنجره قرار دارند متصل می شوند. این سازه مانند دیواري با سوراخ هاي فراوان به نظر می رسد. سختی دیوار نما را می توان با افزودن مهار بندي هاي مورب که اثر خرپا مانند ایجاد می کنند زیاد تر نمود .صلبیت لوله چنان زیاد است که در مقابل بارهاي جانبی به صورت یک تیر طره اي عمل می کند. لوله خارجی می تواند به تنهایی تمام بارهاي جانبی را تحمل کند یا اینکه با افزودن نوعی مهار بندي داخلی می توان لوله را بیشتر تقویت نمود و سخت تر کرد .در زیر کار بردهاي مختلف سیستم لوله اي که تا امروزه به کار رفته اند بررسی می گردند. این بخش به موضوع هاي زیر تقسیم می شود :

1. سازه لوله توخالی در ساخت برج
2. لوله قابی
3. لوله خرپایی شامل:
4. لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطري
5. لوله خرپایی مشبک
6. برج با سازه لوله با مهار بندي داخلی
7. لوله با دیوارهاي برشی موازي
8. لوله در لوله
9. لوله اصلاح شده شامل :
10. لوله قابی توأم با قاب هاي صلب
11. لوله در نیم لوله
12. لوله هاي دسته شده

**3 -3 -2 -1 لوله قابی**

کاربرد نخستین سیستم لوله اي قابی بود که براي اولین بار در ساختمان آپارتمانی 43 طبقه دویت چست نات در شیکاگو ( 1961 ) به کار رفت. در این سیستم لوله اي دیوار هاي خارجی سا ختمان از شبکه اي از تیرهاي نزدیک به هم تشکیل می شود که با اتصالات صلب به یکدیگر متصل می باشند (به صورت قاب ویراندیل) و این دیوارهاي خارجی به توسط عمل لوله طره شده بدون استفاده از مهار بندي داخلی بارهاي جانبی را تحمل می کنند. فرض می شود که ستون هاي داخلی فقط بارهاي وزن را تحمل می نمایند و در سختی لوله خارجی سهمی ندارند. کف هاي سخت طبقات همچون دیافراگم نیروهاي جانبی را به دیوارهاي پیرامونی توزیع می کنند .

مثال هاي دیگري از ساختمان هایی که در آنها از لوله قابی تو خالی استفاده شده عبارتند از :

ساختمان 83 طبقه استاندارد اویل در شیکاگو و ساختمان 110 طبقه مرکز تجارت دنیا در نیویورك با وجود اینکه این ساختمان ها داراي هسته داخلی می باشند مانند لوله هاي تو خالی عمل می کنند زیرا هسته ها در آنها براي تحمل بارهاي جانبی طرح نگردیده اند .

لوله ویراندیلی بطور منطقی از سازه قاب صلب معمولی نتیجه می شود و در حقیقت تکامل یافته آن می باشد. این سیستم داراي سختی جانبی و مقاومت پیچشی بالا می باشد و در عین حال از لحاظ تقسیم بندي فضاي داخل آن انعطاف پذیر است.ستون ها و تیرها در شبکه به قدري نزدیک یکدیگر و با فاصله کم قرار داده می شوند که می توان از آنها به عنوان چهار چوب یا قاب پنجره ها استفاده نمود .

در طرح سیستم هاي لوله اي قابی ایده ال آن است که دیوارهاي خارجی به صورت واحد و مشترك عمل کنند و در مقابل بارهاي جانبی کاملا مانند یکتیر طره اي خم شوند . در چنین حالتی تمام ستون هایی که لوله را می سازند، مشابه تارهاي یک تیر، تحت کشش یا فشار محوري مستقیم خواهند بود .

اما رفتار واقعی لوله در جایی ما بین رفتار تیر طره اي خالصقاب خالصقرار دارد. اضلاعی از لوله که موازي امتداد نیروهاي جانبی می باشند، با توجه به انعطاف پذیري تیرها ، تمایل دارند که مانند قاب هاي صلب چند دهانه و مستقل عمل کنند. این انعطاف پذیري باعث می شود که در قاب تغییر شکل هاي ناشی از برش ایجاد شود که به نام لنگی برش خوانده می شود. بنابراین در ستون ها و تیرها خمش بوجود می آید .

اثر تغییر شکل برشی در روي عمل لوله منجر به توزیع غیر خطی فشار در امتداد پوش ستون ها می گردد، ستون هایی که در گوشه هاي ساختمان واقع شده اند مجبور می باشند سهم بیشتري از بار را نسبت به ستون هاي ما بین آنها تحمل کنند. تغییر شکل کل ساختمان دیگر شباهت به تغییر شکل تیر طره اي نخواهد داشت زیرا تغییر شکل حالت برش اهمیت بیشتري پیدا می کند .

مسئله برش شدیداً در روي کار آیی سیتم هاي لوله اي تأثیر می گذارد و تمام پیشرفت هاي بعدي در طرح لوله اي سعی بر بر طرف نمودن این اشکال دارد. چنین به نظر می رسد که روش لوله قابی براي ساختمان هاي فولادي تا 80 طبقه و براي ساختمان هاي بتنی تا 60 طبقه اقتصادي باشد .

**3 -3 -2 -2 لوله خرپایی :**

ضعف لوله قابی در انعطاف پذیري تیرهاي آن قرار دارد . با اضافه نمودن عناصر مورب به مقدار زیادي بر صلبیت لوله افزوده می گردد. در این صورت قسمت عمده برش به وسیله عناصر قطري جذب می شود نه به وسیله تیرهایی که در بالا و پایین آنها پنچره قرار دارد. اعضای قطري مستقیماً بارهاي جانبی را اساساً به صورت نیرو هاي محوري تحمل می کنند. این کاهش تغییر شکل برشی ناشی از لنگی برش رفتار خالص طره اي را تامین می کند

**3 -3 -2 -2 -1 لوله خرپایی مرکب از ستون و عناصر قطري :**

در این سیستم از عناصر قطري در داخل شبکه مستطیلی تیرها و ستون ها استفاده می شود. عناصر قطري و تیرها با یکدیگر در مقابل بارهاي جانبی صلبیت دیوار مانندي بوجود می آورند. این اعضاء قطري نه فقط قسمت اعظم بارهاي جانبی را حمل می کنند بلکه همچون ستون هاي مایل عمل می نمایند و بار هاي وزن را نیز تحمل می کنند .

معمولاً کشش ایجاد شده در اثر بار هاي جانبی بر فشار تولید شده در اثر بارهاي وزن غلبه نمی کند. وظیفه دوگانه اعضاء قطري این سیستم را براي ساختمان هاي خیلی بلند (تا حدود100 طبقه براي ساختمان هاي فولادي) نسبتاً پر بازده می سازد . استفاده از عناصر قطري موجب می شود که بتوان فاصله ستون ها را خیلی بیشتر از فاصله ستون ها در لوله قابی اختیار کرد .

یک ویژگی اصلی این سیستم قابلیت آن در توزیع یکنواخت بارهاي متمرکز در سراسر سازه می باشد .

تیرها بارهاي وزن بین ستون ها را حمل می نمایند و مانند مهارهایی از کشیده شدن کف ها جلوگیري می کنند. بدین طریق آنها بر کار آیی عناصر قطري به عنوان سیستم اصلی توزیع بار می افزایند .

روش جالبی براي ایجاد عناصر قطري در دیوارهاي خارجی بتنی در پروژه تحصیلی یکی از دانشجویان انستیتوي تکنولوژي ایلینوي پیشنهاد شده است. در آن عناصر قطري با پر نمودن سوراخ هاي پنچره در یکطرح مورب بوجود می آید .

**3 -3 -2 -2 -2 لوله خرپایی مشبک:**

در این سیستم ، لوله از عناصر مورب نزدیک بهم بدون هیچ ستون قائمی ساخته می شود. اعضای مورب مانند ستون هاي مایل عمل می کنند، تمام بارهاي وزن را حمل می نمایند و سازه را در مقابل بارهاي جانبی سخت تر می سازند. عناصر مورب را ممکن است به وسیله تیرهاي افقی به یکدیگر متصل کرد .

عناصر مورب در مقابل بار هاي جانبی فوق العاده پر بازده می باشند ولی در انتقال بارهاي وزن به زمین نسبت به ستون هاي قائم بازده کمتري دارند. بعلاوه تعداد زیاد اتصالاتی که بین این عناصر مورب لازم می باشد و مشکلات مربوط به جزئیات پنجره ها سیستم خرپاي مشبک را به طور کلی چندان عملی و قابل استفاده نمی سازد.

**3 -3 -2 -3 برج با سازه لوله با مهار بندي داخلی**

1. لوله با دیوارهاي برشی موازي
2. لوله در لوله
3. لوله اصلاح شده
4. لوله هاي دسته شده

لوله خارجی را ممکن است یا با افزودن عناصر قطري در صفحه هاي خارجی تقویت نمود و یا آن را از داخل با اضافه نمود دیوار هاي برشی یا هسته هاي داخلی تقویت کرد. در قسمت هاي زیر چند روش براي مهار بندي داخلی بررسی می گردند .

**3 -3 -2 -3 -1 لوله با دیوارهاي برشی موازي**

دیوار لوله اي خارجی را می توان با ترکیب نمودن دیوارهاي برشی داخلی در نقشه افقی سازه تقویت کرد. دیوار هاي لوله خارجی را می توان مانند بال هاي یک تیر تشکیل شده از اعضای متصل به هم از این تجسم نمود که در آن دیوارهاي برشی جان تیر را تشکیل می دهند.

تنشها در دیوارهاي لوله خارجی اساساً محوري می باشند زیرا لنگر برش در این سیستم حداقل می باشد.

**3 -3 -2 -3 -2 لوله در لوله**

با به کار بردن هسته نه فقط براي بارهاي وزن بلکه همچنین براي تحمل بار هاي جانبی سختی سیستم لوله تو خالی به مقدار خیلی زیادي افزایش می یابد. سازه کف لوله هايخارجی و داخلی را به یکدیگر متصل می کند و همگی در مقابل نیروهاي جانبی به صورت واحد و مشترك عمل می نمایند .

واکنش یک سیستم لوله در لوله در مقابل بار هاي جانبی مشابه واکنش ساده مرکب از قاب صلب و دیوار برشی است. اما لوله قابی خارجی خیلی سخت تر از قاب صلب می باشد .

لوله خارجی بیشتر بار جانبی را در قسمت بالا ساختمان مقاومت می کند، در صورتی که هسته بیشتر بار را در قسمت پائین ساختمان تحمل می نماید .

روش لوله در لوله در ساختمان 38 طبقه برانسویک در شیکاگو و ساختمان 52 طبقه شماره1 میدان شل در هوستون به کار رفته است . با به کار بردن یک سیستم سه لوله اي تو در تو ، طراحان یک ساختمان 60 طبقه اداري در توکیو سیستم لوله در لوله را یک قدم به جلو بردند. در این سیستم لوله خارجی به تنهایی بارهاي باد را تحمل می نماید، ولی هر سه لوله که بوسیله سیستم هاي کف (دیافراگم ها) به یکدیگر متصل شده اند در تحمل بارهاي زلزله که عامل مهمی در ژاپن می باشد شرکت کرده و روي یکدیگر اثر متقابل دارند .

**3 -3 -2 -3 -3 لوله اصلاح شده**

سیستم لوله اي در مورد ساختمان هاي با نقشه افقی دایره و تقریبا مربع بیشترین بازده را دارد. ساختمان هایی که از این شکل ها منحرف می شوند، در موقع استفاده از سیستم هاي لوله اي ملاحظات سازه اي ویژه اي را لازم دارند. دو مثال زیر چنین شرایطی را تشریح می کند . شکل شش ضلعی ساختمان 40 طبقه اداري در شارلوت واقع در ایالت کارولایناي شمالی طراحان را وادار کرد تا روش لوله اي را اصلاح کنند، گوشه هاي تیز این ساختمان شش ضلعی لنگی برش زیادي را نشان داد که استفاده موثر از سیستم لوله اي را غیر ممکن می ساخت .

اضافه نمودن قاب هاي صلب در جهت عرض ساختمان موجب گردید که دیوارهاي خارجی به یکدیگر متصل شوند، بدین ترتیب دیوارهاي انتهایی در دو انتهاي مثلثی شکل ساختمان به وسیله قاب هاي صلب تقویت گردیدند. با متصل کردن و بستن دیوار هاي پیرامونی به یکدیگر سیستم لوله اي مؤثري بدست آمد.

لوله در نیم لوله :

نقشه افقی نا منظم ساختمان 32 طبقه بانک ملی و ستون پنسیلوانیا در پیتسبورگ موجب راه حل ویژه دیگري در طرح لوله اي گردید، در اغلب ساختمان هاي لوله اي عمل لوله اي به وسیله دیوار هاي خارجی ایجاد می گردد اما در این ساختمان، دو هشت ضلعی متقاطع یک لوله سازه اي در قسمت مرکزي ساختمان تشکیل می دهند .

دو قسمت انتهایی ساختمان به وسیله سیستم هاي قاب – دیواري ناودانی شکل تقویت می شوند. نیروهاي جانبی (در اینجا باد) مشترکاً به توسط لوله داخلی و دیوارهاي انتهایی ناودانی شکل بسیار بزرگ مقاومت می گردند .

**3 -3 -2 -3 -4 لوله هاي دسته شده:**

آخرین پیشرفت در طرح روش لوله هاي دسته شده می باشد. این روش براي ساختمان سیرز در شیکاگو به کار برده شده که در حال حاضر بلندترین ساختمان دنیاست . لوله قابی خارجی در این روش به وسیله دیافراگم هاي عرضی داخلی در هر دو جهت تقویت می گردد. بدین ترتیب مجموعه اي از لوله هاي حجره اي تشکیل می شود. هر یک از این لوله ها مستقلاً قوي هستند، بنابراین ممکن است آنها را به هر شکلی دسته کرد و در هر ترازي قطع نمود. برتري دیگر سیستم لوله هاي دسته شده در محصور کردن سطوح بسیار وسیع طبقات قرار دارد .

دیافراگم هاي داخلی در موقع مقاومت نیروهاي برشی مانند جان هاي یک تیر طره اي عظیم عمل می کنند و در نتیجه تأخیر برش را به حداقل می رسانند. به علاوه این دیافراگم ها در تحمل خمش نیز سهیم می باشند . دیافراگم هایی که موازي بارهاي جانبی هستند(یعنی جان هاي تیر) برش را جذب می کنند

و در نتیجه در نقاط تلاقی با دیوارهاي عمود بر آنها (یعنی بال ها) نقاط تنش حداکثر ایجاد می شود که نشان دهنده عمل جداگانه هر یک از لوله ها می باشد، به اختلاف توزیع تنش محوري با حالتی که هیچ تقویت کننده داخلی وجود ندارد یعنی فقط یک لوله تنها باشند. با وجود اینکه تا حدودي تأخیر برش رخ می دهد، دیافراگم هاي قائم سعی بر توزیع یکنواخت تنش هاي محوري دارند. ولی انحراف از رفتار لوله اي ایده آل که با خطوط منقطع در شکل نشان داده شده به نظر نمی رسد که قابل ملاحظه باشد.

**3 -3 -2 -4 ساختمان هاي مرکب لوله اي**

در سیستمی که به وسیله شرکت اسکیدمور، اوبنگز و مریل طرح و تکمیل شده است قاب فولادي خارجی در مقابل تغییر شکل جانبی به وسیله دیوار پیرامونی مشبک (سوراخ دار ) بتنی ریخته شده در محل تقویت می گردد. ساختمانی که بدین ترتیب بر پا می شود شباهت به لوله صلبی دارد که از زمین طره شده باشد. در این روش اجراي سریع و مقاومت زیاد (و در نتیجه انعطاف پذیري فضاي داخل) ساختمان فولادي با محفوظ از آتش بودن، عایق بندي، صلب جانبی ، و قالب پذیري دیوار خارجی بتنی ترکیبمی شود. این سیستم در ساختمان36 طبقه گیت وي- 3 در شیکاگو، ساختمان 50 طبقه برج شماره 1 میدان شل در نیواورلئان و ساختمان 24 طبقه سی-دي-سی در هستون که در آن قطعات پیش ساخته نما بعنوان قالب بندي بتن ریخته شده در محل به کار رفتند، مورد استفاده قرار گرفته است .

روش اجراي این سیستم بدین ترتیب است که ابتدا قاب فولادي به اندازه 8 تا 10 طبقه بالا آورده می شود. ستون هاي خارجی باید بارهاي اجرایی را تحمل کنند. براي تأمین پایداري جانبی، قاب خارجی به طور موقت بوسیله کابل مهاربندي می شود. سپس فولادهاي کف در محل قرار می گیرد و بتن کف ریخته می شود تا پایداري اسکلت فولادي تأمین گردد و بتوان کار داخل ساختمان را شروع کرد. بعد از اینکه شبکه هاي فولادي بتن مسلح و قالب هاي بتن در اطراف ستون ها و براي شاه تیرها در محل قرار داده شد، بتن ریخته می شود تا یک دیوار محیطی پیوسته مشبک(سوراخ دار) تشکیل گردد. این سلسله عملیات در هر 8 تا 10 طبقه ساختمان تکرار می شود.

اما اختلاف حرکت بین ستون هاي خارجی بتن – فولادي و ستون هاي داخلی فولادي مشکلی ایجاد می کند، براي اینکه کوتاه شدن نامساوي ستون ها در اثر رفتار ارتجاعی، انقباض و خزش برطرف شود . در جا گذاري شاه تیر ها باید تعدیلی صورت گیرد . چون جدار لوله اي در این سیستم همه بارهاي جانبی را مقاومت می کند، ستون ها، شاه تیرهاي تشکیل دهنده قاب هاي هسته تأسیسات ضروري (آسانسور، آب، برق، گاز و غیره) می توانند سبکتر باشند زیرا آنها فقط بارهاي وزن را تحمل می کنند. همچنین کف قابل استفاده خالص در طبقات بالا در آنها سطح هسته را می توان کاهش داد افزایش می یابد .

شرکت رید و تاریکس در سانفرانسیسکو سیستم ساختمانی مرکب لوله اي دیگري ابداع کرده است. آنها از شاه تیرهاي فولادي و ستون هاي فولادي لوله اي پر شده با بتن به عنوان سازه نما استفاده کردند. در این مورد نیز پوش ساختمان سختی کافی براي حمل تمام بارهاي جانبی را تأمین می نماید. در این سیستم از قطعات پیش ساخته اي استفاده می شود که هر یک شامل یک ستون لوله اي به ارتفاع دو طبقه و دو شاه تیر فولادي طره اي می باشد. این قطعات پیش ساخته در وسط دهانه شاه تیرها و در وسط ارتفاع ستون ها به یکدیگر پیچ کرده می شود. از لحاظ بار گذاري جانبی این نقاط اتصال تحت کمترین تنش می باشد . پیوستگی طبیعی شاه تیرها در محل ستون ها که تنشها بیشترین مقدار را دارند از بین نمی رود، شاه تیرها در ستون ها فرو می روند و فقط جان آنها به لوله متصل می شود. بدین ترتیب از تعداد اتصالات ساختمان که تحت تنشهاي زیاد می باشند به مقدار زیادي کاسته می شود.

روي دیوارهاي خارجی سازه هاي قابی فولادي معمولاً قطعات پیش ساخته دیواري متصل می گردد، این قطعات نا سازه اي می باشند و منحصراً براي حفاظت در مقابل محیط خارج ساختمان به کار می روند. میسفان در روهه یکی از اولین آرشیتکت هایی بود که از روکش( پوشش) فولادي در سازه نماي ساختمان هاي بلند استفاده کرد، در یک ساختمان آپارتمانی، او از صفحات فولادي16 اینچ براي پوشاندن بتن محافظ قاب فولادي در مقابل آتش – رنگشده به ضخامت 5 سوزي اسفاده نمود. موقعی که پوشش فولادي به توسط بر آمدگی هاي میخ شکلی به بتن مسلح متصل می گردد، نه فقط در مقابل هوا ، قاب پنجره و نمایش معماري مطلوب بوجود می آورد بلکه سختی سازه اي نیز ایجاد می کند، در اغلب سازه هاي قاب صلب، قسمت اعظم مقاومت در مقابل تغییر مکان جانبی به وسیله شاه تیرها ایجاد می شود. اما عمل مرکب پوسته فولادي و قاب متشکل از فولاد و بتن مسلح مقاومت جانبی را به قدري زیاد می کند که شاه تیرهاي داخلی سختی کمتري لازم دارند. به علاوه بدون افزایش وزن سازه، تغییر مکان جانبی ساختمان 20 تا 50 در صد کاهش می یابد. چون پوشش فولادي نسوز نمی باشد. آیین نامه ها استفاده از آن را براي تحمل بارهاي وزن مجاز نمی دانند.

**3-3 -3**  **فن آوري سوپر فریم R.C در ساختمانهاي بلند مسکونی**

با توجه به قرار گرفتن کشور ما بر روي کمربند زلزلۀ آلپ – هیمالیا، سالانه شمار قابل ملاحظه اي زلزله در آن رخ می دهد. براساس آمار موجود، تقریباً همه ساله، زلزله ای با بزرگی بیش از 6 ریشتر و در هر چند سال، زلزله ای مخرب بزرگتر از 7 ریشتر، در کشور رخ می دهد. این مسأله نشان می دهد که توجه کردن به پایداري ساختمان در برابر زلزله، یک ضرورت اصلی است. اگر چه در سال هاي اخیر بلند مرتبه سازي در کشور رونق فراوانی یافته است، اما اغلب روش ساخت به صورت سنتی انجام پذیرفته و تنها با بزرگ کردن ابعاد یک ساختمان سنتی دو یا سه طبقه اقدام به ساخت بناهاي بیست طبقه و یا بلندتر شده است.

**3 -3 -3 -1** **فلسفه استفاده از فن آوری سوپر فریم**

واضح است که با تکیه بر روشهاي سنتی، نمیتوان ساختمان بلندي که در برابر زلزله هاي مخرب مقاوم باشد، ساخت. حتی اگر کلیه ضوابط آیین نامه زلزله از نظر طراحی و محاسبات رعایت شده باشد، با اجراي سنتی و دخالت انسان در اجزاي مقاوم کننده ساختمان همانند بتن ریزي ها و جوشکاري ها هرگز نمی توان به یک سازه مناسب دست پیدا کرد.

ساختمان حتی اگر در محدوده کوچکی اشکال اجرایی داشته باشد، در زمان وقوع زلزله از آن ناحیه، آسیب دیده و خرابی به سایر نقاط سرایت خواهد نمود. فناوريهاي نو تلاش می کنند تا دخالت انسان را در حین ساختن به حداقل رسانده و با صنعتی کردن اجرا، یک ساختمان همگن و مطمئن بنا نمایند.

ساختمان مسکونی از نظر اسکلت باید نه تنها مقاوم در برابر نیروهاي زلزله ساخته شود، بلکه باید داراي دوام لازم در مدت زمان پیش بینی شده براي بهره برداري از آن نیز باشد. اگرچه از نظر کارکرد اقتصادي می توان بخشهایی از ساختمان را از مصالح سبک بنا نمود، اما اسکلتی که بتواند کارکرد درست داشته باشد معمولاً وزن قابل ملاحظه اي از ساختمان را به خود اختصاص میدهد. با افزایش ارتفاع و به تبع آن نیروهاي حاصل از زلزله مقاطع باربر ساختمان بسیار بزرگ شده و تکانهاي ناشی از نیروي زلزله، در طبقات فوقانی شدید می شود (شتاب و تغییر مکانهاي بیشتر از حد مجاز). براي اجتناب از این مسائل، روشی تحت عنوان سوپرفریم R.C براي اسکلت ساختمان، درکشور ژاپن، ابداع شده و به عنوان جدیدترین فناوري به مورد اجرا گذاشته شده است. با توجه به امکان انطباق و اجراي این روش با پتانسیل هاي موجود در داخل کشور، روش سوپرفریم به عنوان یک روش اقتصادي و فنی جهت اجراي ساختمان برج مسکونی پردیسان تبریز انتخاب شده است.

روش سوپرفریم r.cیکی از روش هاي مدرن و مناسب براي کشور ما است که در سال هاي اخیر، به خصوص پس از وقوع زلزله مخرب کوبه در کشور ژاپن، ابداع شده و هم اکنون ساختمانهاي بلند مسکونی زیادي را با آن روش به مورد اجرا می گذارند. در این روش ضمن کاهش مقاطع باربر، با پیش ساخته نمودن ستون ها و همچنین کنترل حرکات ساختمان در حین زلزله و جذب انرژي به وسیله میراگرهاي هیدرومکانیکی، یک ساختمان مطمئن از نظر رفتار در برابر نیروها و بسیار مناسب براي سکونت ساخته می شود.

در کشور ژاپن ترجیح می دهند که ساختمان هاي مسکونی را با اسکلت بتن آرمه بنا کنند. اسکلت فلزي بیشتر براي اجراي ساختمانهاي اداري و تجاري، ایستگاه ها و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. دلیل انتخاب اسکلت بتن آرمه، را براي ساختمانهاي مسکونی، می توان به شرح زیر بیان نمود:

1. ساختمانهاي بتن آرمه اغلب ارزانتر از ساختمانهاي فلزي ساخته می شوند.
2. ساختمانهاي بتن آرمه در مقابل سوانح آتش سوزي و انفجار دوام بیشتري دارند.
3. در ساختمانهاي بتن آرمه، انتقال صدا بین طبقات (با توجه به اهمیت آن به خصوص در کاشانه هاي مسکونی) کمتر است.
4. با توجه به هماهنگی مناسب بین اجزاي جذب کننده نیروهاي زلزله و اسکلت (با قراردادن دیوار برشی) رفتار ساختمان مناسب تر خواهد بود.

**3 -3 -3 -2** **توصیه هاي طراحی و ساخت**

اغلب آیین نامه هاي زلزله براي ساختن بناهاي مقاوم در برابر زلزله توصیه هایی را ارائه می نمایند. ابداع هر نوع فناوري باید این توصیه ها را در برگیرد :

1. پلان ساختمان به شکل ساده و متقارن در دو امتداد عمود بر هم و بدون پیش آمدگی و پس رفتگی زیاد باشد و از ایجاد تغییرات نامتقارن پلان در ارتفاع ساختمان نیز احتراز شود.
2. عناصري که بارهاي قائم را تحمل می نمایند در طبقات مختلف بر روي هم قرار داده شوند تا انتقال بار این عناصر به یکدیگر با واسطه عناصر افقی صورت نگیرد.
3. عناصري که نیروهاي افقی ناشی از زلزله را تحمل می کنند موکداً طوري طراحی شوند که انتقال نیروها به سمت شالوده به طور مستقیم انجام شود و عناصري که با هم کار می کنند در یک صفحه قائم قرار داشته باشند.
4. براي کاهش نیروهاي پیچشی ناشی از زلزله، مرکز جرم هر طبقه بر مرکز سختی آن طبقه منطبق و یا فاصله آنها در هریک از امتدادهاي ساختمان از 5 درصد بعد ساختمان در آن امتداد کمتر باشد.
5. از احداث طره هاي بزرگتر از 1.5 متر حتی المقدور احتراز شود.
6. از ایجاد سوراخهاي بزرگ و مجاور یکدیگر در دیافراگم هاي کف ها خودداري شود.
7. با به کار بردن مصالح سازهاي با مقاومت زیاد و مصالح غیرسازهاي سبک، وزن ساختمان به حداقل رسانده شود.
8. ساختمان و اجزاي آن به نحوي طراحی گردد که داراي شکلپذیري مناسب باشند.
9. ساختمان به نحوي طراحی گردد که عناصر قائم (ستونها) دیرتر از عناصر افقی (تیرها) دچار خرابی شوند.
10. اعضاي غیرسازه اي، به خصوص دیوارهاي داخلی و نماها، طوري اجرا شوند که حتی الامکان مزاحمتی براي حرکت اجزای سازه اي در جریان زلزله ایجاد نکنند. در دیگر صورت اثر اندرکنش این اعضا با سیستم سازهاي باید در تحلیل سازه در نظر گرفته شود.
11. اعضاء و قطعات غیرسازهاي، به خصوص قطعات نما و شیشه ها، آن چنان طراحی و اجرا شوند که در هنگام وقوع زلزله از سازه جدا نشده و با فرو ریختن خود ایجاد خسارات احتمالی جانی و مالی نمایند.
12. روش ابداعی سوپرفریم نه تنها توصیه هاي مذکور را در نظر می گیرد بلکه با ملحوظ نمودن انواع توصیه هاي ایمنی دیگر مانند آتش سوزي و انفجار و…مسائل جدیدي را از دید اجراي بخش هاي تأسیساتی در نظر گرفته دارد تا علاوه بر دسترسی آسان به کلیه بخش هاي تأسیساتی، هرگونه تعمیر و تعویض در آنها بدون ایجاد مزاحمت، براي سایر همسایه ها، عملی شده و همه دسترسی ها از داخل خود واحدها صورت گیرد.

**3-3 -3 -3** **اجزاي اصلی سازه سوپرفریم R.C**

با تشریح اسکلت یک ساختمان اجرا شده، به روش سوپرفریم، می توان به نحوه کارکرد آن پی برد. بخش هاي باربر ساختمان از شش جزء تشکیل شده است. این اجزا را می توان به صورت زیر تشریح نمود:

**3-3 -3 -3** **-1- سوپروال**

سوپروال یا دیوار برشی مرکزي، هسته اصلی باربر نیروهاي قائم و به خصوص نیروهاي زلزله می باشد که با مقطع I شکل اجرا می شود. این دیوار برشی، که در هسته ساختمان قرار می گیرد، از بخش پایین بر روي فونداسیون قرار گرفته و در بخش بالاي خود به سوپر بیم منتهی می شود. دیوار برشی به صورت بتن در جا، اجرا می گردد که بتن آن در بخش هاي پایین بتن با مقاومت بالاست. با در نظر گرفتن شکل پذیري ساختمان، مقاومت بتن سوپروال از 60 نیوتن بر میلیمترمربع در بالاي فونداسیون به مرور به مقدار 36 نیوتن بر میلی مترمربع در بخش بالایی آن کاهش می یابد. آرایش میلگرد آن بر اساس انجام آزمایش هایی، بر روي قطعات مدل، طراحی شده است. از نظر اجرایی، سوپروال همیشه دو طبقه جلوتر از اجراي کفها پیش می رود تا وقفه اي در کار ایجاد نشود. شبکۀ میلگردهاي این بخش، به دلیل سنگینی زیاد در سطح زمین ساخته شده و به وسیله جرثقیل برجی در محل خود نصب می شود. جرثقیل برجی باید حداقل قادر به جابجایی 10 تن بار باشد.

**3 -3 -3 -3** **-2- ستونهاي اتصالی**

در طرح سوپرفریم، در هریک از نماهاي ساختمان دو ستون اتصالی و جمعاً به تعداد هشت عدد، اجرا میگردد. این ستونها که بزرگترین مقطع (ستون) را در ساختمان دارند (مقطع 1.1\*1.1 متر) به دلیل قرار گرفتن در نماي ساختمان، فضاي داخلی را اشغال نمی کنند. وظیفه اصلی این ستونها، انتقال نیروي زلزله از بالاي ساختمان بر روي پی می باشد. این ستونها به صورت پیش ساخته در سطح کارگاه ساخته می شوند. با توجه به اهمیت آنها در محافظت ساختمان از تصادم اشیاي خارجی در حین بهره برداري و با عنایت به کارکرد آنها، کنترل کاملاً دقیقی بر روي قطعات پیش ساخته انجام می شود و اگر بتن ستونی مناسب نبوده باشد آن ستون از رده خارج میشود. مقاومت بتن در این ستونها نیز به صورت هماهنگ با

سوپروال از 60 تا 36 نیوتن بر میلی مترمربع متغیر است.

**3 -3 -3 -3** **-3- لوازم جذب انرژي (میراگرها)**

یک ساختمان بلند باید در مقابل تکان هاي شدید ناشی از زمین لرزه رفتار کاملاً پیش بینی شده اي را داشته باشد. قراردادن لوازم جذب انرژي اگر چه از حدود 30 سال پیش در دنیا رواج پیدا کرده است، اما گذاشتن نوع خاصی از آنها در بالاي ساختمان، تنها در تکنیک سوپرفریم استفاده می شود. لوازم جذب انرژي که همانند یک کمک فنر بسیار بزرگ عمل می کنند رفتار ساختمان را کنترل کرده و سطح تنش ها را به میزان قابل ملاحظه اي کاهش می دهند. در ساختمان سوپرفریم با ارتفاع 33 طبقه تعداد 32 عدد از آنها که چهار عدد بر روي هر ستون اتصالی قرار می گیرد نصب خواهد شد. بنابراین در هنگام وقوع زلزله، نیروهاي حاصل از زلزله بر دیافراگم هاي هر طبقه اثر کرده و نیروها به سوپروال منتقل می شود. سوپروال با جذب نیروها تغییر مکانها را به بالاترین نقطه ساختمان منتقل می کند. تغییر

مکانها به چهار عدد سوپربیم که در بالاي سوپروال قرار می گیرند منتقل شده و از طریق آنها به لوازم جذب انرژي انتقال می یابند. این لوازم هم به صورت فشاري و هم کششی عمل کرده و نیروهاي زلزله را پس از کاهش دادن بر روي ستونهاي اتصالی منتقل می کنند و همانطور که ذکر شد، نیروها سپساز طریق ستونهاي اتصالی به صورت قائم بر روي پی منتقل می شوند.

**3 -3 -3 -3** **-4- سوپربیم**

در بالاترین بخش اسکلت ساختمان چهار عدد تیر با مقطع بزرگ ( 1\*4 متر) بالاي سوپروال قرار می گیرند که تغییر مکان هاي آنرا به لوازم جذب انرژي منتقل می نمایند. این تیرها کارکرد بسیار حساسی را در هنگام وقوع زلزله و یا برخورد یک شیء خارجی به ساختمان از خود نشان می دهند.

**3 -3 -3 -3** **-5- ستونهاي ساده**

ساختمان با سوپرفریم، فري پلان نیز نامیده می شود واین بدان معنا است که به دلیل مسطح بودن کفها و عدم وجود ستونهاي میانی زیاد (تنها یک ستون میانی در یک کاشانه 235 مترمربع وجود دارد) می توان هر نوع پلان دلخواه را در هر طبقه پیاده نمود. درحقیقت نه تنها تکنیک سوپرفریم، از منظر سازه اي، آخرین دستاورد به شمار می رود بلکه این تکنیک، از نظر معماري، نیز به آخرین دستاوردها متکی است در واقع سازنده باید طرح اجرایی را با سلیقه استفاده کنندگان تطبیق دهد.

**3 -3 -3 -3** **- 6- دیافراگم ها**

کلیه کف سازي ها به صورت دال دیافراگمی اجرا شده و تنها یک تیر میانی از تقاطع دالها در دو تراز مختلف و با اختلاف 30 سانتیمتر شکل می گیرد. این کفها به صورت کاملا مشخص نیروهاي زلزلۀ طبقات را به هسته مرکزي (سوپروال) منتقل می نمایند. این نوع کفها ارجحیت زیادي دارد، به طوري که عدم وجود تیرهاي با ارتفاع زیاد انعطاف در پلان را زیاد می کند و در نتیجه سقفها مزاحمتی براي اجراي تأسیسات ایجاد نکرده و ساختمان را براي شرایط فری پلان (پلان آزاد) مهیا می سازد. در طراحی سقف ها که به صورت دال اجرا می شوند دو سطح با اختلاف 30 سانتیمتر در نظر گرفته شده است. بخشهاي داخلی که سرویس ها و آشپزخانه و غیره بر روي آن قرار می گیرند 30 سانتیمتر پایین تر از کف اتاق ها و سایر قسمتها اجرا می گردند. از این بخش کلیه خطوط لوله آب و فاضلاب و گاز واحدها عبور داده

می شود که با اجراي کف کاذب در مواقع اضطراري می توان از داخل هر واحد به لوله ها دسترسی پیدا کرد.کلیه خطوط برق، تلفن و تهویه مطبوع در زیر سقف ها به آن متصل می شوند و یک سقف کاذب کم وزن روي آنها را می پوشاند.

**3-3 -3 -4** **سایر موارد فنی**

موارد فنی متعددي در ساختمان قابل مشاهده است. به طورکلی نه تنها ستونها بلکه دیوارهاي نما به همراه اجزاي نماسازي آنها به صورت پیش ساخته اجرا می شوند. ستونها که به طور عمده براي حمل نیروهاي قائم عمل می کنند در کنار کارگاه به صورت خوابیده اجرا می شوند تا در زمان مقرر به وسیله جرثقیل در جاي خود نصب گردند. دیوار برشی با استفاده از قالب لغزنده اجرا می شود. معمولاً با تعبیه مناسببه صورت قائم و با قرار دادن یک آسانسور ساده می توان در کنار کارگاه میلگردها را با ارتفاع 12 متر آماده نموده و سپس به وسیله جرثقیل برجی آنرا به بخش هاي لازم منتقل نمود. کلیه ارتباطات قائم ساختمان از نظر مسیر خطوط اصلی، راه پله ها و آسانسورها در جوار دیوار برشی ساخته می شوند.

معمولاً می توان در زمان اجراي طبقه هشتم، طبقه همکف را از نظر تأسیسات و نازك کاري به اتمام رساند. اجزاي جدا کننده به صورت دیوارهاي گچی پوسته اي پیش ساخته (دراي وال) نصب می شوند. بر روي کفها یک لایۀ سه لایی به ضخامت حدود 20 میلیمتر نصب شده و کف پوشها بر روي آن اجرا می گردند. قالب بندي سقف ها به دلیل یکنواخت بودن آنها به صورت قالب هاي سبک فلزي بوده که سریعاً قابل باز و بسته کردن هستند.