

## بررسی مسائل پیرامون مقاومت در برابر زلزله

محسن صالحی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

### چکیده

ایران کشوری است که بر روی گسل زلزله خیز قاره آسیا قرار گرفته و کسانی که در ایران جز دست اندرکاران ساخت و ساز هستند، باید نسبت به مقاوم سازی ساختمان در برابر زلزله توجه ویژه ای داشته باشند. این موضوع علاوه بر حفظ جان انسان ها، به افزایش پایداری سازه های مهم در برابر زمین لرزه کمک می کند. حفظ سرمایه های ملی و ارتقای توانایی کشور برای مدیریت مطلوب بحران ناشی از زلزله، از دیگر اهداف مقاوم سازی آن به شمار می رود. در این تحقیق به بررسی مسائل پیرامون مقاومت در برابر زلزله پرداخته شده است. یکی از موارد مهمی که در هنگام ساخت و ساز باید مورد بررسی قرار گیرد افزایش استحکام آن در برابر نیروهای جانبی مانند زلزله می باشد. اگر سازه در برابر زلزله مقاومت لازم را نداشته باشد با کوچک ترین ضربه و فشاری ممکن است از بین برود و صدمات جانی و مالی جبران ناپذیری را به بار آورد. توجه به امر مقاوم سازی ساختمان ها، تاسیسات مهم و شریان های حیاتی بسیار ضروری به نظر می رسد تا بلکه بتوان از طریق مقاوم سازی ساختمان ها ضمن حفظ جان انسان ها، افزایش پایداری سازه های مهم در برابر زلزله، حفظ سرمایه های ملی و ارتقای توان کشور برای مدیریت مطلوب بحران ناشی از زلزله کمک کرد.

### واژگان کلیدی

مقاوم سازی، زلزله، ساختمان مقاوم، بهینه سازی ساختمان

۱. کارشناسی عمران- ترافیک شهری. (Email: nsjsghene@gmail.com)

## مقدمه

مقاوم سازی ساختمان در علم مهندسی عمران به مفهوم بالا بردن مقاوم سازی ساختمان در برابر نیروهای وارده می باشد. امروزه این اصطلاح بیشتر در مورد نیروی زلزله کاربرد دارد. از دیدگاه علمی، مقاوم سازی واژه کاملاً درستی برای این هدف نمی باشد. در واقع منظور از لغت «مقاومت سازی» به طور قطع بالا بردن مقاومت در برابر نیروی زلزله نیست بلکه منظور بهبود عملکرد اجزای سازه (ساختمان) در برابر نیروی زلزله می باشد.

زلزله یکی از بلایای طبیعی است که نه می توانیم آن را پیش بینی کنیم و نه می توانیم جلوی آن را بگیریم. بدین منظور در علم مهندسی مقاوم سازی ساختمان از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با استفاده از کاشت میلگرد و مقاوم سازی ساختمان با FRP و همچنین سایر روش ها مقاوم سازی سازه های بتنی و فولادی انجام می گیرد.

هنگام وقوع زلزله به سازه شما نیرو هایی وارد می شود که اگر ساختمان نتواند در برابر این نیرو ها دوام بیاورد سازه شما دچار خرابی شده و تلفات جانی و مالی زیادی در پی خواهد داشت. سازه مقاوم در برابر زلزله دارای ستون های بیشتری است. زیرا ستون ها مقاومت ساختمان را بسیار افزایش می دهند. به همین دلیل مناطق باز خانه شما احتمالاً در هنگام زلزله یکی از خطرناک ترین مناطق هستند. در اطراف ساختمان ها حداقل باید ۳ ستون قرار داشته باشد.

فاصله این سازه ها از سازه مجاور ۱۰ سانتی متر انتخاب می شود و هرچه شکل سازه به چهار ضلعی نزدیک باشد مقاوم تر است. فراموش نکنید سازه هایی که با گل و خشت و آجر ساخته شده اند نمی توانند در مقابل زلزله دوام بیاورند. متأسفانه زلزله ای که چند سال پیش در شهر بم رخ داد به این دلیل که خانه ها اغلب از گل بود تلفات بسیار زیادی به دنبال داشت.

هنگام وقوع زلزله به سازه ها نیرو هایی وارد می کند که اگر ساختمان نتواند در برابر این نیرو ها دوام بیاورد سازه دچار خرابی شده و تلفات جانی و مالی زیادی در پی خواهد داشت. سازه مقاوم در برابر زلزله دارای ستون های بیشتری است. زیرا ستون ها مقاومت ساختمان را بسیار افزایش می دهند. به همین دلیل مناطق باز خانه ها احتمالاً در هنگام زلزله یکی از خطرناک ترین مناطق ممکن هستند. در اطراف ساختمان ها حداقل باید ۳ ستون قرار داشته باشد.

فاصله این سازه ها از سازه مجاور ۱۰ سانتی متر انتخاب می شود و هرچه شکل سازه به چهار ضلعی نزدیک باشد مقاوم تر است. فراموش نکنید سازه هایی که با گل و خشت و آجر ساخته شده اند نمی توانند در مقابل زلزله دوام بیاورند. متأسفانه زلزله ای که چند سال پیش در شهر بم رخ داد به این دلیل که خانه ها اغلب از گل بود تلفات بسیار زیادی به دنبال داشت.

## زلزله یا زمین لرزه

زلزله یا زمین لرزه، لرزش ناگهانی زمین است که به دلیل آزاد شدن انرژی تخلیه شده از لایه های سنگی در پوسته زمین به وقوع می پیوندد. این مقدار انرژی معمولاً وقتی توده های سنگی که در حال فشار یا لغزش بر روی یکدیگر هستند می شکنند و بر روی یکدیگر در جهات مختلف حرکت می کنند، آزاد می گردد. این شکست و لغزش لایه های سنگی بر

روی یکدیگر، به صورت موج‌های انرژی را در سراسر زمین توزیع می‌کند و به صورت لرزشی و گردشی در ساختارهای مختلف زمین به وقوع می‌پیوندد.

### زلزله چه زمانی ایجاد می‌شود؟

زلزله هنگامی ایجاد می‌شود که دو یا چند صفحه از پوسته زمین به هم می‌رسند. این صفحه‌ها قطعاتی از پوسته زمین هستند که به نام صفحه‌های تکتونیک شناخته می‌شوند. این صفحه‌ها بر روی یک لایه‌ای از ماده گرم و نرم که به نام گوشته معروف است، حرکت می‌کنند. حرکت این صفحه‌ها باعث می‌شود که آن‌ها به هم برخورد کنند، از هم دور شوند یا در کنار هم لغزش کنند. این حرکت‌ها باعث می‌شود که انرژی در سنگ‌های صفحه‌ها ذخیره شود. وقتی این انرژی به حدی برسد که سنگ‌ها نتوانند تحمل کنند، آن‌ها می‌شکنند و انرژی آزاد می‌شود. این انرژی به صورت امواج لرزه‌ای در زمین منتشر می‌شود و زلزله را ایجاد می‌کند.

### نحوه اثرگذاری زلزله بر ساختمان

حال باید به این موضوع پرداخته شود که وقوع زلزله که پیش‌تر در خصوص آن توضیح داده شد، چه اثراتی بر پایداری سازه، قابلیت باربری و نهایتاً کارایی آن خواهد داشت. بارهای لرزه‌ای وارد بر ساختمان درواقع نیروهایی هستند که در زمان وقوع زمین‌لرزه به ساختمان‌ها و بخش‌های مختلف آن وارد می‌شوند. این نیروها به دلیل دو عامل عمده ایجاد می‌شوند که در ادامه تشریح خواهند شد.

۱. نیروی اینرسی: این نیرو به دلیل تغییر سرعت و جهت حرکت زمین در زمان زلزله ایجاد می‌شود. وقتی زمین لرزش می‌کند، ساختمان‌ها که بر روی آن قرار دارند، سعی می‌کنند در حالت ساکن بمانند. اما زمین باعث می‌شود که ساختمان‌ها نیز حرکت کنند. این تفاوت در حرکت زمین و ساختمان‌ها، نیروی اینرسی را ایجاد می‌کند. نیروی اینرسی با جرم ساختمان تغییر می‌کند. جرم بیشتر ساختمان به این معنی است که نیروی اینرسی و میزان تخریب ساختمان نیز زیاد خواهد بود. نیروی اینرسی هم در جهات افقی و هم قائم عمل می‌کند و بار جانبی را ایجاد می‌کند.

۲. تحریکات لرزه‌ای: این تحریکات به دلیل انتقال امواج لرزه‌ای از کانون زلزله به ساختمان‌ها ایجاد می‌شوند. امواج لرزه‌ای می‌توانند در دو جهت عمودی و افقی حرکت کنند و باعث تغییر شکل و انحنای ساختمان‌ها شوند. این تحریکات می‌توانند باعث ایجاد تنش‌ها و کرنش‌هایی در ساختمان‌ها شوند که ممکن است از حد تحمل آن‌ها فراتر رود. معمولاً بارها مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده ابعاد مقاطع در ساختمان‌ها هستند.

در بحث مدل‌سازی معمولاً بارهای لرزه‌ای وارد بر ساختمان، می‌توانند به صورت استاتیکی یا دینامیکی به مدل اعمال شوند که در این صورت نوع تحلیل استاتیکی یا دینامیکی نامیده می‌شوند.

در تحلیل استاتیکی، بارهای لرزه‌ای را به صورت نیروهای ثابت و متمرکز در نقاط مختلف ساختمان (با انواع توزیع در ارتفاع سازه) در نظر می‌گیرد. اما در تحلیل‌های دینامیکی، بارهای لرزه‌ای را به صورت نیروهای متغیر و توزیع شده در

تمام ساختمان در نظر گرفته می‌شود. نیازی به توضیح اضافی نیست که نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌های دینامیکی، دقیق‌تر و پیچیده‌تر از نتایج تحلیل‌های استاتیکی هستند و نیاز به تخصص و ابزار محاسباتی پیشرفته‌تر دارند.

### ارزیابی وضعیت سازه (ساختمان) در برابر زلزله

زلزله یک حادثه طبیعی است که باعث وارد شدن نیروهای عظیمی با ساختمان می‌شود. وارد شدن این نیروها در صورتی که سازه برای مقابله با آن‌ها طراحی نشده باشد می‌تواند باعث فروریزش آن شود. بنابراین برای جلوگیری از رویداد این حادثه، مهندسان طراح سازه باید ساختمان‌ها را طوری طراحی و اجرا کنند که در برابر زلزله مقاوم باشند. اما چطور توان فهمید که یک ساختمان موجود و قدیمی چقدر در برابر زلزله محتمل وقوع در منطقه مقاوم است؟

ارزیابی وضعیت سازه موجود در برابر زلزله یکی از مراحل مهم مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان‌ها است که هدف آن بهبود عملکرد سازه در برابر اثرات و نیروهای زلزله است که عمدتاً رفت و برگشتی (سیکلیک) هستند. در عملیات ارزیابی وضعیت سازه موجود در برابر زلزله بررسی می‌شود که ساختمان چه ویژگی‌ها و نقاط ضعفی دارد و چه تغییراتی می‌توان برای بهبود عملکرد آن در هنگام زلزله انجام داد. در این مرحله بسته به نیاز پروژه تمامی پارامترهای مؤثر در عملکرد نظیر، مقاومت فشاری بتن، وضعیت میلگردها، وضعیت المان‌های باربر سازه، میزان مقاومت در برابر بارهای وارده و ... مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این ارزیابی می‌تواند به دو روش سریع یا دقیق انجام شود.

- ارزیابی سریع یک روش ساده و کم‌هزینه است که با نگاه کردن به ساختمان و پر کردن فرم‌های مخصوص، می‌توان به صورت کیفی درباره رفتار ساختمان نظر داد. این روش برای ساختمان‌های کوچک و ساده مناسب است.

- ارزیابی دقیق یک روش پیچیده و گران‌قیمت است که با انجام محاسبات و آزمایش‌های مختلف، می‌توان به صورت کمی درباره پاسخ ساختمان به زلزله‌های مختلف حرف زد. این روش برای ساختمان‌های بزرگ و پیچیده مناسب است. این روش معمولاً با انجام انواع آزمایش‌ها مخرب یا غیر مخرب بر روی المان‌های سازه به منظور دستیابی به مقاومت موجود مصالح آغاز می‌شود. ترکیب اطلاعات به‌دست‌آمده از انجام آزمایشات و همچنین مدل ۳ بعدی ساختمان در نرم‌افزارهای تحلیلی می‌تواند ارزیابی صحیحی از وضعیت فعلی سازه به ما ارائه نماید. معمولاً پس از یافتن نقاط ضعف سازه (کمبود سطح مقطع مورد نیاز، کمبود آرماتور، کمبود مقاومت کششی، کمبود مقاومت برشی، کمبود مقاومت باربری خاک ... ) می‌توان به ارائه راهکار به منظور تقویت آن‌ها پرداخت.

نکته بسیار مهم در انجام هر دو نوع ارزیابی لزوم تسلط بر دانش و قوانین مهندسی سازه و زلزله می‌باشد. این بدان معنی می‌باشد که حتی در روش ارزیابی ساده که به ظاهر کم‌اهمیت به نظر می‌رسد، دانش، مهارت و تجربیات ارزیاب نقش بسیار مهمی در نتایج حاصله دارد. متخصصین ما در حوزه مهندسی سازه و زلزله در شرکت برنا بهینه تدبیر با تکیه در

دانش و تجربه خود تاکنون موفق به ارزیابی و ارائه طرح مقاوم سازی برای تعداد زیادی از سازه‌های مسکونی، تجاری و صنعتی شده‌اند.

### بررسی روش های سستی مقاوم سازی ساختمان

#### ۱- مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه با ژاکت بتنی

این روش برای مقاوم سازی اجزای سازه ای بتنی ضعیف نظیر تیر، ستون، فونداسیون و دیوار برشی جهت افزایش مقاومت فشاری و برشی و هم چنین افزایش میزان شکل پذیری استفاده می شود. در این روش ابتدا سوراخ هایی با فاصله های معین در وجه پیرامونی اعضای ضعیف ایجاد کرده سپس یک مش فولادی با آرماتورهای آجدار در اطراف عضو قرار می دهیم. در مرحله ی بعد سوراخ های ایجاد شده توسط چسب اپوکسی پر شده و آرماتورها به صورت سرکچ یا L شکل نیز در داخل آن ها قرار می گیرد. سپس قالب هایی در پیرامون عضو قرار می گیرد و توسط بتن پر می شود. استفاده از ژاکت بتنی باعث بالا رفتن ظرفیت باربری ساختمان در مقابل نیروهای جانبی (زمین لرزه) و ثقلی می گردد. در روش ژاکت بتنی با محصور کردن بتن موجب افزایش ظرفیت برشی، افزایش ظرفیت خمشی و هم چنین افزایش سختی در اتصالات قاب می شود. عدم نیاز به پوشش ضد حریق، پیوستگی سریع بین اعضا و امکان اصلاح اتصالات قاب از مزایای ژاکت بتنی می باشد. اما استفاده از روش ژاکت بتنی با افزایش ابعاد اعضای سازه ای و کاهش فضای موجود، موجب افزایش قابل توجه وزن سازه می گردد. همچنین نیاز داشتن به قالب بندی و عملیات اجرایی زیاد و صرف زمان و هزینه ی بالا، عدم استفاده از کاربری و خرابی و آسیب زیاد در دیگر اعضای سازه ای سبب شده است تا از روش های نوین تری در صنعت مقاوم سازی ساختمان مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۲- مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه با ژاکت فولادی

ژاکت فولادی یکی از روش های مقاوم سازی اجزای ضعیف ساختمان های بتنی می باشد. مقاوم سازی ساختمان با ژاکت افزایش مقاومت فشاری، مقاومت برشی، مقاومت خمشی و شکل پذیری سازه را در بردارد. این روش نسبت ژاکت بتنی افزایش وزن زیادی ندارد و از لحاظ اجرا آسان تر می باشد. همچنین مانند روش ژاکت بتنی نیازی به قالب بندی نمی باشد و افزایش ابعاد کمی داریم در نتیجه از لحاظ معماری مشکل ساز نمی باشد. در این روش اجزای سازه ای آسیب دیده مانند تیر و ستون با استفاده از ورق های فولادی تقویت می شوند. به گونه ای که ورق های فولادی توسط بولت به عضو آسیب دیده متصل می گردد. مقاوم سازی ساختمان با ژاکت فولادی در هر بخش و طبقه قابل اجرا می باشد و نیازی نیست از روی فونداسیون تا ستون مورد نظر مقاوم سازی شود. از معایب ژاکت فولادی می توان به هزینه ی بالا، نیاز داشتن به پوشش ضد حریق در ساختمان های مهم، مقاوم نبودن در برابر آتش سوزی، صعوبت اجرا و نیاز داشتن به حجم زیادی از گروت می توان اشاره کرد. استفاده از روش مقاوم سازی ژاکت فولادی باعث خورده شدن و زنگ زدگی اعضا به مرور زمان می شود. همچنین جهت کاشت بولت و برشگیر فولادی امکان دارد به اعضای سازه آسیب وارد شود.

### ۳-مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه با پیش تنیدگی و پس کشیدگی

پیش تنیدگی روشی می باشد برای مقاوم سازی ساختمان و سازه های بتنی مسلح که توسط رشته های فولادی یا آرماتورها با مقاومت بالا انجام می شود. پیش تنیدگی یعنی ایجاد یک تنش ثابت دائمی در عضو بتنی که در اثر این تنش ثابت، مقداری از تنش های ایجاد شده توسط بار مرده و زنده خشی می گردد که این امر سبب بالا رفتن ظرفیت باربری می شود. به عبارتی نیروی فشاری مورد نیاز در بتن توسط کشش در فولاد با مقاومت بالا تولید می گردد. در این روش ابتدا کابل ها در حد فاصل دو انتهای المان روی بستر پیش ساخته کشیده می شوند، سپس المان مورد نظر بتن ریزی می شود و بعد از رسیدن به مقاومت کافی کابل های پیش تنیده در دو انتهای تیر بریده می شوند و نیروی پیش تنیدگی بصورت یک نیروی فشاری بر عضو یا المان اعمال میشود. در نتیجه هنگامیکه فولاد قبل از بتن ریزی کشیده شود به آن پیش تنیدگی می گویند. کاربرد پیش تنیدگی در دال های بتنی روی زمین، ساخت پارکینگ ها، ساختمان ها و ... می باشد.

پس کشیدگی: در این روش در مسیر عبور کابل ها یا آرماتور پیش تنیده غلافی توخالی تعبیه شده است سپس کابل ها از درون غلاف ها عبور داده می شوند به گونه ای که دو سر آن از غلاف بیرون باشد در مرحله ی بعد عمل بتن ریزی انجام می شود. بعد از رسیدن بتن به مقاومت کافی کابل ها توسط جک کشیده و با مهار بند مهار می شود. پس کشیدگی در ساخت قطعات پیش ساخته ی بتنی مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از روش مقاوم سازی پیش تنیده و پس کشیده سبب افزایش عمر بتن و کاهش ابعاد فونداسیون می شود و هم چنین سبب ایجاد سقف یک پارچه ی بتنی می گردد که خود باعث افزایش ایمنی در برابر بار های جانبی (زمین لرزه) می باشد. باعث کاهش ارتفاع تیر و کاهش ضخامت دال می گردد که این امر سبب کاهش ارتعاش ناشی از بارهای ضربه و دینامیکی (زمین لرزه) می گردد. همچنین این روش سبب کاهش بار مرده و ترک در ساختمان و کنترل خیز و تغییر شکل در سازه ها می گردد. در این روش ها بتن نقش باربری کامل بدون ایجاد ترک را دارد و آرماتور ها برای کنترل ایجاد ترک در ناحیه تحتانی مورد استفاده قرار می گیرند. بهینه ترین حالت در انتخاب مقدار نیروی پیش فشردگی حالتی است که در صدی از بارها متعادل شود که منجر به کاهش میزان فولاد مصرفی و کنترل خیز و ترک در بتن شود.

### ۴-مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه با دیوار برشی

با استفاده از دیوار برشی در سازه های فولادی و بتنی با بالا بردن سختی سازه علاوه بر افزایش ظرفیت تحمل بار ثقلی موجب افزایش بی نظیر در تحمل نیروهای جانبی (زمین لرزه) می شود. در علم مهندسی سازه دیوار برشی به دیواری اطلاق می گردد که وظیفه خشی کردن اثر بارهای جانبی وارد شده بر سازه را بر عهده دارد. به دلیل این که این دیوار ها برای مقابله با نیروهای جانبی که سبب ایجاد نیروهای برشی در سازه می شوند به دیوار برشی موسوم اند. دیوار های برشی نسبت به دیگر اعضای سازه مانند تیر و ستون حجیم تر می باشند تا بتواند سختی بالایی داشته باشد و این امر سبب می شود که دیوار های برشی بتوانند تمام نیروی زمین لرزه وارد به ساختمان را جذب به خود کند زیرا نیرو به سمت

سختی در ساختمان حرکت می کند در نتیجه هرچه سختی بالاتر نیروی بیشتری جذب میشود و از آسیب رسیدن به دیگر المان های سازه جلوگیری نماید. دیوار برشی مقاومت، سختی و شکل پذیری سازه را بشدت افزایش می دهد و باعث بهبود رفتار لرزه ای سازه و کاهش تغییر شکل های و خسارات وارد به دیگر المان های بتنی سازه می گردد. البته باید توجه داشت که بعلاوه سختی زیاد دیوارهای برشی، معمولاً نیروهای زیادی در فونداسیون زیر آنها ایجاد می گردد که مقابله با آنها مستلزم تقویت شدید فونداسیون موجود و یا اضافه نمودن شمع در پای دیوارهای برشی می باشد. اتصال دیوار برشی به سازه باید به نحوی باشد که بتواند نیروی طبقه را به دیوار منتقل نماید تا دیوار بتواند نیروی زمین لرزه را به خود جذب کند و با سختی خود از تغییر شکل های جانبی ساختمان را کاهش دهد. برای این منظور در تراز سقف ها باید اتصالات مناسبی توسط کاشت بولت بین دیوار برشی و دال برقرار گردد. همچنین می توان با استفاده از کاشت بولت در تیر و ستون و پوشاندن این المان ها در بتن دیوار برشی انسجام خوبی بین دیوار و سازه موجود برقرار نمود. چنین آرماتورهای دیوار برشی باید در طبقات بصورت پیوسته باشد تا نیروهای لرزه ای بتواند بصورت پیوسته در ارتفاع دیوار از بالا به پایین و نهایتاً به فونداسیون منتقل گردد. دیوار سختی را در نقاط خاصی که مد نظر خودمان است می بریم تا نیروی زمین لرزه را به آنجا انتقال دهیم. در نتیجه آنچه که در طراحی دیوار برشی می بایست به آن توجه داشت عبارتند از: ظرفیت بالای جذب انرژی، مقاومت بالا، شکل پذیری و حداقل کاهش در سختی. زیرا در صورت عدم طراحی درست و مناسب دیوار برشی مستعد شکست برشی می باشد و هم چنین در صورت عدم تخمین صحیح و درست تعداد دیوار برشی و محل قرار گیری آن ها موجب ایجاد نیروهای بالا رانش می شود. دیوار برشی برای موقعیت بهتر مرکز سختی در نواحی محیطی پلان جانمایی می شود به گونه ای که بار های مرده و حاد اثر تنش های کششی و خمشی ناشی از بار جانبی را جذب و خنثی نماید. تغییر شکل ساختار دیوار برشی در خمش می باشد. دیوار های برشی می توانند مسطح باشند اما برای ایجاد سختی خمشی بیشتر و سازگاری بهتر با پلان به صورت پروفیل هایی با مقاطع L، T، او U شکل به کار می رود.

#### ۵-مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه با بادبند ها

استفاده از بادبند در مقاوم سازی ساختمان بتنی در برابر زمین لرزه روشی بسیار کارآمد و موثر است به گونه ای که علاوه بر افزایش مقاومت برشی و افزایش سختی ساختمان باعث می شود تا نیاز سازه به شکل پذیری کاهش یابد. مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه با استفاده از بادبند نیز مانند روش دیوار برشی افزایش سختی و مقاومت قاب را به همراه دارد. اجرای سریع تر بادبند نسبت به دیوار برشی باعث شده است از عمومیت بیشتری برخوردار باشد. اجرای نادرست بادبند ها سبب پیچش و ناپایداری سازه می گردد. در روش مقاوم سازی با بادبند می بایست اعضای اضافه شده دارای مقاومت فشاری و کمانشی بالایی برخوردار باشند. بادبند ها نیز با استفاده از مقاطع ناودانی و سپری و همچنین ا شکل ساخته می شوند و به صورت X، K و V شکل بین دو ستون در طبقات در یک یا دو جهت ساختمان مورد استفاده قرار می گیرند. بادبند ها به طور کلی به دو دسته انواع بادبند همگرا و انواع بادبند واگرا تقسیم می شوند. با توجه به

صعوبت اجرا و بالا بودن هزینه سیستم واگرا زیاد در مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه مرسوم نیست. سیستم های مهاربندی همگرا (بادبند ضربدری) در صنعت مقاوم سازی و بهسازی ساختمان فولادی و بتنی مورد توجه بی نظیری قرار گرفته است. بادبند ها ممکن است برای تحمل نیروی کششی و نیروی فشاری طراحی گردند اما بیشتر برای تحمل کشش طراحی می شوند. در ساختمان های کم ارتفاع که تحت بارهای جانبی کم می باشند از بادبند هایی که فقط تحمل کشش دارند جوابگو می باشد. در استفاده از بادبند ها می بایست ستون های مجاور برای برش تقویت گردند و هم چنین پی نیز برای افزایش نیرو به دلیل کشش و فشار ایجاد شده کنترل گردند. از مزایای استفاده از بادبند در مقاوم سازی ساختمان می توان به سرعت منایب برای اجرا، هزینه مناسب جهت افزایش و تقویت سختی و مقاومت سازه و وزن مناسب آن اشاره کرد. متمرکز شدن نیروها در دهانه ی مهاربند شده، افزایش نیروی محوری در ستون ها و به طبع آن نیاز به تقویت آن ها، ایجاد نیروهای زیاد در فونداسیون و لزوم تقویت آن ها از معایب بادبند ها می باشد.

علل بروز خارت در زلزله

#### ۱- عدم وجود نظارت قوی بر ساختمان سازی در کشور

متأسفانه سیستم قوی نظارتی در بخش ساختمان سازماندهی نشده است. لازم به ذکر است برخی کشورها دارای پلیس ساختمان هستند که با قاطعیت در این زمینه فعالیت می کنند به عنوان مثال اگر از ساختمان های خشتی و ساختمان هایی که به هر دلیل بدون ضوابط مهندسی طراحی و ساخته شده اند انتظار مقاومت نداشتیم آیا انتظار زیادی است که ساختمان های دولتی که با صرف هزینه های کلان از بیت المال مسلمین و عمدتاً زیر نظر سازمان مسکن و شهر سازی ساخته شده است نیز مانند ساختمان های خشتی از بین روند تخریب ساختمان بانک ملت که در سال ۱۳۸۱ ساخته شده و یا سایر ساختمان های دولتی (دلیلی بر این مدعا است).

#### ۲- بالا بودن هزینه و نایاب بودن مصالح اولیه و استاندارد سازی مانند سیمان تیر آهن، آرماتور و .... و دخالت دلال ها در این زمینه است

#### ۳- عدم برخورد قاطع و قضایی با متخلفین امر ساختمان سازی

متأسفانه کمتر شنیده با دیده ایم که با اشخاصی که با قصد کسب منفعت و بدون توجه به ضوابط مهندسی اقدام به ساختمان سازی می کنند برخورد شود. این گونه اشخاص شناسایی و مورد پیگرد قرار خواهند گرفت ولی با توجه به سابقه مبارزه با مفاسد اقتصادی که هر چند با پیگیری مسئولین دلسوز ولی با کارشکنی منتقدین و ... همراه بود و در این راه در مقابل قوه قضاییه اقدام به برپایی جنگ روانی و متهم به سیاسی کاری و جناحی عمل کردند و حتماً با گام برداشتن مسئولین قوه قضاییه در راه مجدداً به جناحی بودن متهم می شوند.

#### ۴- عدم تلاش جدی در راستای بالا بردن فرهنگ مقاوم سازی ساختمان در میان مردم

#### ۵- عدم حمایت از مردم بخصوص قشر مستضعف جامعه در جهت مقام سازی ساختمان

#### ۶- عدم تربیت نیروهای متخصص و کادر فنی قوی در رشته های مختلف ساختمان سازی مانند جوشکاری

#### ۷- توجه بیشتر به بعد کمی کار بجای بعد کیفی کار

مقاوم سازی لرزه ای سازه های موجود یکی از موثرترین روش ها برای کاهش این خطر است . در سال های اخیر تحقیقات مهمی به مطالعه در رابطه با راهکارهای مختلف جهت ترمیم و تقویت سازه های بتن مسلح برای بالا بردن عملکرد لرزه ای آنها اختصاص داده شده است . مروری بر مقاوم سازی مقاوم سازی در علم مهندسی عمران به مفهوم بالا بردن مقاومت یک سازه ساختمان در برابر نیروهای وارده است . امروزه از این اصطلاح بیشتر در مورد نیروی زلزله استفاده میشود . از دیدگاه علمی مقاوم سازی واژه کاملاً درستی برای این منظور نیست . چرا که منظور از اصطلاح مقاومت سازی به طور قطع بالا بردن مقاومت در برابر نیروی زلزله نیست بلکه منظور بهبود عملکرد اجزای سازه ساختمان در برابر نیروی زلزله است . برای همین منظور سازمان پیشگیری و مدیریت بحران تهران به دنبال آن است با تدوین طرح بهسازی لرزه ای نیمی ساختمانهای پایتخت به روشی ساده و به دور از محاسبات پیچیده مقاوم سازی ساختمانها را از طریق آموزش نیروهای نیمه ماهر و جوشکاران جوان عملی کند یکی از موضوعات مهم و اساسی در راهبرد کاهش خطر پذیری در برابر زلزله مقاوم سازی ساختمان های موجود با کمترین هزینه با سرعت بالا و به صورت ساده است تا دست کم جان شهروندان در زلزله ای متوسط به بالا حفظ شود و در حقیقت آستانه ریزش ساختمان ها ارتقا یابد . در حال حاضر به واسطه هشدارهایی که درباره زلزله تهران داده می شود ، مسأله مقاوم سازی به طور جدی در حال پیگیری است . برای ساخت یک سازه و ساختمان معمولی باید به بسیاری از موارد توجه کرد .

#### مقاوم سازی سطح سازه

مقاوم سازی سطح سازه بطور معمول برای افزایش مقاومت جانبی سازه های موجود مورد استفاده قرار میگیرد . از این قبیل مقاوم سازی ساختمان های بتن مسلح می توان بادیهای فولادی کابل های پیش تنیده ، دیوارهای پر کننده دیوارهای برشی ، پرکننده ها با مصالح بنایی و جدا کننده های پایه را نام برد . روشهایی که در زیر شرح داده میشود معمولاً برای مقاوم سازی سطح سازه مورد استفاده قرار می گیرد اضافه کردن دیوارهای سازه ای بتن صلح اضافه کردن دیوارهای سازه ای یکی از متداولترین روشهای مقاوم سازی سطح سازه برای تقویت سازه های موجود می باشد . بطور کلی تعمیر و ترمیم دیوار برشی موجود با پرکننده برای یکی از دهانه های قاب استفاده می شود . علاوه بر آن به منظور کاهش زمان و هزینه از شاتکریت یا پانل های پیش ساخته استفاده می شود . تحقیقاتی که در زمینه دیوارهای سازه ای انجام شده و یافته ها به نسبت تحقیقات دقیق انجام شده گزارش شده است . تحقیقات نشان میدهد که روند پرکنندگی نقش مهمی در پاسخ پانلها و سازه های دیگر ایفا کرده است . روند پرکنندگی با سخت کردن سازه می تواند برش پایه را افزایش دهد اثرات واژگونی و برش پایه در محل پر کننده سخت کننده متمرکز شده است بنابراین در این محل ها فونداسیون میبایست تقویت شود.

IRSA و KREGER در ۱۹۸۹ دیوارهای پرکننده یک طبقه را در کاربرد برای چهار نمونه آزمایش کردند . در آزمایش آنها از یک قاب بتن صلح به دهانه ، تک طبقه غیر شکل پذیر تا تکنیک های ساختمان سازی در دهه ۱۹۵۰ را مدل کنند

در این سازه فاصله آرماتورهای برشی ستون زیاد بود و فشردگی وصله ها برای تامین مقاومت کششی نهایی کافی نبود. در آزمایش آنها ابتدا دیوارهای سه گانه در محل بازشو تغییر یافت آرماتورهای طولی در نزدیکی ستونهای موجود برای افزایش پیوستگی فولاد در ۴ نمونه اضافه شد. در ابتدای ۳ آزمایش شکستهای ناشی از وصله های لب به لب ناقص ستونها وجود ترمیم پرکننده ها ایجاد شد.

## انواع جداسازهای لرزه ای

### ۱- جداسازهای لاستیکی

- جداسازهای لاستیکی با ورقه های فولادی (و میرایی کم)
  - جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد
  - جداسازهای لاستیکی با هسته ی سربی
- از جداسازهای لاستیکی جهت افزایش دوره ی تناوب طبیعی سازه استفاده می گردد.

### ۲- جداسازهای اصطکاک

- جداسازهای اصطکاک
  - جداسازهای الاستیک اصطکاک
  - جداسازهای اصطکاک پاندولی
- از جداسازهای اصطکاک جهت کنترل حداکثر نیروی منتقل شده به ساختمان و استهلاک انرژی در محل جداساز استفاده می گردد.

برای استفاده ی همزمان از قابلیت های جداسازهای لاستیکی و اصطکاک این دو سامانه در موارد زیر با هم ترکیب شده اند

- ترکیب سری جداسازهای اصطکاک و لاستیکی
- ترکیب موازی جداسازهای اصطکاک و لاستیکی

### مزایای جداسازهای لرزه ای

- حفظ کاربری سازه در حین و پس از زلزله و تأمین سطح عملکرد بی وقفه (IO)
- کاهش نیروی زلزله وارد شده به سازه تا بیش از ۶۰٪
- رساندن خسارات سازه ای و غیر سازه ای به صفر
- کاستن از حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت و ساز تا بیش از ۲۰٪
- کاهش ضرورت استفاده از سیستم های باربر جانبی چون مهاربند یا دیوار برشی
- قابلیت استفاده در سازه های موجود

### ۳- مقاوم سازی ساختمان در برابر زلزله با استفاده از میراگر ها

استفاده از میراگر ها یا دمپر در مقاوم سازی ساختمان در برابر زمین لرزه روشی کار آمد و نوین می باشد. نقش اصلی میراگر ها اتلاف کننده انرژی لرزه ای وارد شده به ساختمان می باشد در نتیجه نیروی زلزله یا به ساختمان وارد نمی شود و یا سهم اندکی از آن نصیب ساختمان می گردد. کاهش تغییر مکان طبقات و تغییر مکان نسبی طبقات (دریفت)، کاهش چشمگیر شتاب طبقات، کاهش هزینه احداث سازه به دلیل استفاده از مقاطع با ظرفیت کمتر و همچنین کاهش انواع خسارات احتمالی از مزیت های استفاده از میراگر ها می باشد. ساختمان مقاوم شده با میراگر در برابر انواع بار های دینامیکی ناشی از زلزله یا باد رفتار مناسب و مطلوبی از خود نشان می دهد.

#### انواع میراگر ها

- میرایی خارجی ویسکوز (لخت)

نوعی از میرایی است که توسط هوا، آب و شرایط محیطی اطراف یک سازه بوجود می آید و در طرف مقایسه با انواع دیگر میرایی ها بسیار کوچک و در اکثر اوقات با تقریب خوبی قابل صرف نظر است

- میرایی خارجی ویسکوز (لخت)

نوعی از میرایی است که توسط هوا، آب و شرایط محیطی اطراف یک سازه بوجود می آید و در طرف مقایسه با انواع دیگر میرایی ها بسیار کوچک و در اکثر اوقات با تقریب خوبی قابل صرف نظر است.

- میرایی اصطکاکی:

این میرایی که میرایی کلمب هم نامیده می شود به علت وجود اصطکاک در اتصالات و یا نقاط تکیه گاهی پدید می آید. بدون توجه به سرعت و جا به جایی ثابت است و بسته به مقدار جا به جایی به دو نحو با آن برخورد می شود. اگر مقدار جا به جایی ها کوچک باشد به عنوان یک میرایی داخلی لخت و اگر مقدار جا به جایی بزرگ باشد به عنوان یک میرای هسترزیس در نظر گرفته می شود. یک مثال در مورد این میرایی راجع به دیوارهای مصالح بناتی میانقاب است که در هنگام ترک خوردن دیوار، اصطکاک جسمی زیاد شده و مقاومت موثری در مقابل ارتعاشات به وجود می آید.

- میرایی هسترزیس

این میرایی هنگامی اتفاق می افتد که رفتار ماده تحت بار رفت و برگشتی در محدوده الاستیک قرار می گیرد مساحت چرخه ی هسترزیس در واقع بیان گر مقدار انرژی اتلاف شده در هر سیکل از بارگذاری می باشد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می شود با تزریق انرژی از نقطه D تا A و حرکت سازه از D تا A انرژی زیر سطح BAE حذف می شود. با تعمیم همین مسئله برای فواصل B تا C و C تا D نتیجه می گیریم که اتلاف انرژی در هر سیکل از بارگذاری معادل سطح ABCD می باشد.

- میرایی تشعشعی

هنگامی که یک سازه ساختمانی ارتعاش می کند، امواج الاستیک در محیط نامتناهی زمین زیر ساختمان منتشر می شود. انرژی تزریق شده به سازه از همین طریق میرا می شود. این میرایی تابعی از ضریب الاستیک یانگ (خطی)، نسبت پواسون ( $U$ ) و چگالی ( $P$ ) زمین بوده و نیز به جرم بر واحد سطح سازه ( $A/M$ ) و ضریب سختی به جرم ان ( $m/k$ ) بستگی دارد.

| ردیف | نوع میراگیر  | مدل رفتاری                                                 | کاربرد                                      |
|------|--------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| ۱    | تسلیمی       | وابسته به تغییر مکان                                       | سازه های کوتاه و متوسط در مقابل زلزله       |
| ۲    | اصطکاکی      | وابسته به تغییر مکان                                       | سازه های کوتاه و متوسط در مقابل زلزله       |
| ۳    | آلیاژی       | سایر وسایل ( نه وابسته به سرعت و نه وابسته به تغییر مکان ) | کنترل لرزه ای موضعی                         |
| ۴    | ویسکوز       | وابسته به سرعت                                             | اکثر سازه ها در مقابل باد و زلزله           |
| ۵    | ویسکوالاستیک | وابسته به سرعت و تغییر مکان                                | سازه های کوتاه و متوسط در مقابل باد و زلزله |
| ۶    | جرمی         | سایر وسایل ( نه وابسته به سرعت و نه وابسته به تغییر مکان ) | سازه های بلند در مقابل باد و زلزله          |

### مزایای میراگرها

- بالاترین میزان جذب انرژی زلزله در میان تمام میراگرها
- عدم نیاز به سرویس و نگهداری پس از نصب
- قابلیت نصب ساده و سریع
- رفتار کاملاً پایدار و قابل اطمینان
- ارزاتر نسبت به سیستمهای مشابه
- دارای وزن سبک و حجم کم
- قابلیت تنظیم یا تعویض پس از زلزله (در محل)
- حفظ عملکرد پس از زلزله اصلی ( در پس لرزه ها)
- کاربردهای متنوع و مدل های طراحی گوناگون متناسب با شرایط پروژه
- عدم ایجاد خوردگی در سطوح اصطکاکی

- عدم وابستگی به فرکانس زلزله و سرعت
- عدم وابستگی به تغییر درجه حرارت محیط
- سهولت آزاد سازی نیرو میراگر و ایجاد خاصیت خود بازگشتی در سازه

### بحث و نتیجه گیری

زلزله یک پدیده طبیعی است که در صورت وقوع، خسارت های جانی و مالی بسیاری در پی خواهد داشت. متأسفانه کشور ایران در صدر کشورهای است که هر ساله وقوع زمین لرزه در آن تلفات بسار زیادی به همراه داشته است؛ به صورتیکه هر ۱۰ سال، یک زلزله با بزرگی بیش از ۵٫۶ ریشتر رخ می دهد که این زنگ خطر برای همه ی سازندگان و مهندسی نمی باشد. زلزله خیز بودن اکثر نقاط کشور و بالا بودن میزان خطر لرزه پذیری مناطق مختلف، اهمیت مساله کیفیت در ساخت و ساز را نشان می دهد ساختمان ها با روش های گوناگون و مقاومت های متفاوت ساخته می شوند و در صورتی که دست اندرکاران ساخت و ساز نکات اجرایی در خصوص مقاوم سازی سازه را رعایت نکنند، خسارت جبران ناپذیری به بار می آید. در زلزله های اخیر به کرات مشاهده شده ساختمان هایی که از سازه های فولادی و بتنی بوده اند به دلیل عدم رعایت محاسبات و قوانین مربوطه تخریب شده اند. بنابراین مساله ی مقاوم سازی ساختمان در برابر زلزله مساله ای غیرقابل چشم پوشی است. برای مقاوم سازی سازه ها، شیوه های مختلفی وجود دارد که هر کدام دارای معایب و مزایایی هستند. با توجه به اینکه اکثر سازه ها به صورتی ساخته می شوند که پایداری لازم در برابر زلزله را ندارند.

### منابع و مآخذ

توری نژاد، حامد ، احسان ، داورپناه ، ۱۳۹۱ ، بررسی رفتار ساختمانهای بنایی در برابر زلزله و روش های مقاوم سازی آنها ، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران تهران.

جمشیدی ، مرتضی ، خلقی ، معین ، ۱۳۹۵ ، مطالعه پدیده زلزله و روشهای مقاوم سازی ساختمانها در برابر آن، اولین کنگره علمی پژوهشی افق های نوین در حوزه مهندسی عمران معماری فرهنگ و مدیریت شهری ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین

حیدری مال امیری، رضا ، سیدطاها طباطبایی عقد، ۱۳۹۳ ، بررسی آسیب پذیری ساختمان های بنایی و مقاوم سازی آن ها در برابر زلزله، دومین همایش ملی زلزله شناسی و مهندسی زلزله میبد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد .

رحمتی ، مصطفی، میر مصطفی، حیدری ، احمد، ملکی، ۱۳۹۳ ، اصول مقاوم سازی و بهسازی ساختمانها در برابر زلزله اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند ، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار

محمدزمانی، محمود، (۱۴۰۰)، بررسی انواع روش های رایج مقاوم سازی سازه ها در برابر زلزله، پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، سازه و زلزله، تهران، ۱-۸.

ملایی، فرزاد، ۱۳۹۵، افزایش پایداری و مقاوم سازی ساختمان در برابر زلزله با استفاده از میراگر، دومین همایش ملی افق های نوین در توانمند سازی و توسعه پایدار معماری عمران گردشگری انرژی و محیط زیست شهری و روستایی همدان دبیرخانه دائمی، همایش دانشکده شهید مفتاح

ناصری، حمیدرضا، ابو الفضل، محمدی الغار، فرزانه، ابو الحسن نژاد، ۱۳۹۲، اثرات زلزله بر ساختمان و راهکارهای مقاوم سازی ساختمان در برابر زلزله، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان. نژاد اکبری راوری، زهره، مجرد کاهانی، مسعود، خواهند کارتمان، اسدالله، ۱۳۹۳، ارائه روشهای بهینه مقاومت سازی ساختمان های غیر مستحکم در برابر زلزله، اولین همایش ملی معماری عمران و محیط زیست شهری، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه.

نیازی، کیوان، حسینی طباطبایی، سیدکاره، عزیزی، میلاد، ۱۳۹۵، مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله تحت تاثیر کاهش جرم سازه، کنفرانس ملی مهندسی معماری عمران و توسعه کالبدی کوهدشت، شهرداری کوهدشت شرکت بنام خط نوین.

وارثی، حمیدرضا، و اکبری مهام، امیر. (۱۳۹۱). بررسی مقاومت ساختمان های مسکونی شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر همدان). مطالعات محیطی هفت حصار (هفت حصار)، ۱(۱)، ۴۵-۶۰.

## Investigating issues surrounding earthquake resistance

Mohsen Salehi<sup>1</sup>

---

### Abstract

Iran is a country located on the Asian continent's seismic fault, and those involved in construction in Iran should pay special attention to earthquake-resistant construction. In addition to protecting human lives, this issue helps increase the stability of important structures against earthquakes. Preserving national assets and improving the country's ability to optimally manage the earthquake crisis are other goals of its resistance. This research examines issues surrounding earthquake resistance. One of the important issues that should be considered during construction is increasing its strength against lateral forces such as earthquakes. If a structure does not have the necessary resistance to earthquakes, it may be destroyed with the slightest impact and pressure, causing irreparable damage to life and property. Attention to the issue of retrofitting buildings, important facilities, and vital arteries seems very necessary so that through retrofitting buildings, while saving human lives, increasing the stability of important structures against earthquakes, preserving national capital, and improving the country's ability to optimally manage the earthquake crisis can be helped.

### Keywords

Retrofitting, earthquake, resilient building, building optimization

---

<sup>1</sup> Bachelor of Civil Engineering - Urban Traffic (Email: nsjsghene@gmail.com)