



# روش های مقاوم سازی ساختمان ها و برآورد هزینه

مساله تقویت ساختمان ها  
پایگاه خبری تحلیلی فولاد مرکز آهن

اصفهان-خیابان امام خمینی-چهار راه شریف- مجتمع الماس-طبقه ۵-واحد ۵۱۵ | مرکز آهن



## روش های مقاوم سازی ساختمان ها و برآورد هزینه



### مساله تقویت ساختمان ها

هر سازه یک سیستم هندسی و پایدار متشکل از اعضا با رفتار خاص خود است که بارهای وارده را به تکیه گاه های خود منتقل می نماید. بنابراین برای طراحی هر سازه نیاز به شناخت رفتار اعضا و مصالح آن و میزان و نحوه اثر بارهای موجود بر براساس اعضای استفاده شده آن از جمله **میلگرد** و **تیرآهن** است. زلزله به عنوان مهمترین عامل ویرانی سازه ها، همواره مورد توجه بشر بوده است و کارشناسان تاکنون در پی درک ماهیت و شناخت عوامل بروز آن و نحوه تاثیر آن به ساختمان ها بوده اند. وقوع هر زلزله بسان آزمایشی برای دانشمندان و مهندسان هست تا آنچه تجربه و تصور کرده اند مورد بررسی و رد یا تایید قرار دهند. شناخت تدریجی از نیروها و نحوه تاثیر آن ها به سازه و اعضای سازه اعم از **میلگرد** و همچنین رفتار و پاسخ سازه ها و قابلیت های موجود در آن ها، سبب تغییر شیوه های تحلیل و طراحی سازه ها و در نتیجه بهبود آیین نامه های ساختمانی می گردد.

### مقاوم سازی در ساختمان های طراحی قدیم

با توجه به این نکته مشاهده می شود که ساختمان هایی که براساس آیین نامه های قدیم طراحی و ساخته شده اند دارای نقاط وضعی به خصوص در مقابل بارهای جانبی و زلزله هستند و اصولا دارای رفتار لرزه ای و خصوصیات دینامیکی مناسبی نیستند که در این حالت رفع نقاط ضعف و تقویت ساختمان بسیار اقتصادی تر از بازسازی آن است.

در بعضی موارد ساختمان های خسارت دیده از زلزله را می توان تعمیر و تقویت کرده و مورد بهره برداری مجدد قرار داد. گاه به دلایلی لازم است تا ساختمانی توسعه یابد، که کاربرد آن مطابق نیازها باشد. در این حالت لازم



۲

است تا اعضا موجود جهت تحمل بارهای اضافه شده تقویت شوند. در چنین حالتی وضعیت ساختمان تغییر کرده و در نتیجه خصوصیات دینامیکی آن عوض می شود و کنترل پاسخ لرزه ای سازه در وضعیت جدید الزامی است تا اگر نقاط ضعف تازه ای مشاهده شد چاره اندیشی شود.



### تفاوت راه های مقاوم سازی سازه ها

به طور کلی تقویت ساختمان های موجود در برابر زلزله بستگی به نوع ساختمان ( اسکلت فولادی، اسکلت بتنی، دیوار باربر و ... ) داشته و راههای به خصوصی برای هر یک از انواع فوق قابل بررسی است. به طور مثال افزودن بادبند در ساختمان های فلزی خیلی ساده بوده در حالی که در ساختمان های بتنی این کار توام با مشکلات اجرایی است و افزودن دیوار برشی می تواند راهکار عملی بهتری برای ساختمان های بتنی باشد. در مورد ساختمان های بتنی راهکارهای مختلفی برای تقویت ساختمان تاکنون ارائه شده است. در ابتدا راههای مختلف تقویت ساختمان های بتنی را به طور اجمالی مورد بررسی قرار داده سپس روش های مختلف تقویت ستون های بتن آرمه را مورد مطالعه قرار خواهیم داد.

### روش های تعمیر و تقویت ساختمان های بتنی

برای افزایش ایمنی ساختمان های بتن آرمه در برابر نیروی زلزله، همچنین جبران ضعف ساختمان های موجود در برابر زلزله روش های مختلفی تاکنون به کار گرفته شده است:

#### ۱) اضافه کردن دیوار برشی:

این روش اگرچه یک روش مناسب برای تقویت ساختمان ها می باشد و اصولاً اولین راه حلی است که درباره یک ساختمان بتنی به نظر می رسد ولی مشکلاتی ممکن است وجود داشته باشد که نتوانیم از آن استفاده کنیم. مثلاً





۳

ممکن است معماری ساختمان به شکلی باشد که استفاده از دیوار برشی غیر ممکن باشد و یا افزودن دیوار کاربری ساختمان را کم کند. ممکن است ضعف ساختمان به قدری نباشد که نیاز به دیوار برشی باشد و یا اصولاً ممکن است به کار بردن دیوار برشی منتهی به مخارج زیادی بشود.



## ۲) اضافه کردن بادبند:

اگرچه افزودن بادبند چه از نوع بتنی و چه از نوع فولادی آن به ساختمان های بتنی ممکن بوده و راه حلی برای افزایش مقاومت ساختمان در برابر بارهای جانبی می باشد و می توان از انواع شکل های X و K آن استفاده کرد، ولی مشکل اتصال این اعضا با سازه موجود همچنین مشکلاتی که ممکن است در معماری سازه به وجود آید از معایب این روش می باشد.

پر کردن دهانه قاب ها با مصالح بنایی مقاوم: این عمل باعث افزایش باربری افقی سازه به میزان قابل توجهی نمی شود و بنابراین برای ساختمان هایی که ضعف زیادی دارند مطلوب نیست. همچنین در ساختمان های بلند افزایش وزن طبقات با استفاده از این مصالح می تواند به جذب نیروی زیادتری در هنگام زلزله منجر گردد. همچنین تیرهایی که بار این مصالح را حمل می کنند ممکن است خود نیاز به تقویت پیدا کنند و در کل در ساختمان های بلند روش مناسبی نیست ولی برای ساختمان های با تعداد طبقات کم مناسب می باشد.





### ۳) تقویت ستون ها:

تقویت ستون ها به روش های مختلفی انجام می شود. این روش ها بر حسب نوع ضعف ستون و تقویت مورد نظر ممکن است برای تقویت ستون های یک ساختمان به کار روند. تقویت ستون ها یک روش کارا در تقویت ساختمان های بتنی می باشد.



### روش های تقویت ستون های بتن آرمه

۱. استفاده از روکش فولادی:

یکی از روش های مورد استفاده، استفاده از یک بدنه ساخته شده از ورق فولادی است که در اطراف ستون قرار می گیرد و فاصله بین ستون موجود و بدنه فلزی با گروت و یا بتن پر می شود. این روش باعث افزایش قدرت باربری محوری ستون می شود زیرا بدنه فلزی دارای باربری بوده و همچنین در اثر پدیده محصور شدن بتن، ستون بتنی نیز باربری بیشتری پیدا می کند. البته به منظور افزایش باربری و استفاده بیشتر از اثر محصور شدن بتن



استفاده از بدنه دایره ای برای ستون های دایروی و برای ستون های مستطیلی نیز استفاده از بدنه بیضوی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مطالعات نشان داده است که استفاده از این نوع تقویت اثر بسیار خوبی در افزایش باربری محوری، برشی داشته و همچنین میزان شکل پذیری ستون را افزایش می دهد. ولی به علت آن که این تقویت در فاصله بین طبقات قابل انجام بوده و در تراز طبقات قطع می شود و اصولاً بیشترین مقدار خمش در گره های ابتدا و انتهای ستون می باشد باربری خمشی ستون افزایش پیدا نمی کند. از این روش در حال حاضر برای تقویت ستون هایی که ضعف خمشی نداشته باشند مانند پایه پل ها به شکل وسیعی استفاده می شود.

۲) استفاده از شبکه سیمی جوش شده:

این روش عبارت است از قرار دادن یک شبکه سیمی جوش شده در اطراف ستون و قالب بندی اطراف ستون و بتن ریزی حد فاصل قالب و ستون به شکلی که تور سیمی به همراه بتن لایه پوششی در اطراف ستون ایجاد نماید. مطالعات انجام شده نشان می دهد که این روش باعث افزایش اندک در باربری محوری و برشی ستون می شود. همچنین میزان شکل پذیری ستون را افزایش می دهد. این تقویت ضعف خمشی ستون را جبران نمی کند زیرا در حد فاصل بین طبقات انجام می پذیرد.

۳) تقویت ستون به وسیله نوارهای پلاستیکی مخصوص (FRP)

در سال ۱۹۸۸ میلادی کاتسوماتا در ژاپن یک روش جدید برای تعمیر و تقویت ستون های بتنی ارائه نمود. این روش عبارت است از پیچاندن الیاف پلاستیکی مخصوص به دور ستون بتنی و استفاده از یک چسب پلی استر مخصوص جهت یکپارچه نمودن الیاف و اتصال آن به ستون بتنی.

استفاده از روش فوق الذکر از آن زمان تاکنون به دلایل زیر گسترش یافته است:

- مقاومت بالای الیاف مصنوعی
- وزن کم این الیاف
- مقاومت در برابر خوردگی
- قابلیت استفاده برای مقاطع مختلف
- ارزانی نسبی روش فوق
- ضخامت کم روکش مصرفی





۶

استفاده از الیاف مصنوعی در احجام مختلف منجر به مقاومت مختلف پوشش حاصله می گردد هرچه درصد الیاف بیشتر باشد مقاومت نهایی و سختی افزایش می یابد. افزودن میلگرد های طولی با روکش بتنی نیز در سال های اخیر مورد استقبال قرار گرفته است.

### افزودن میلگرد های طولی همراه روکش بتنی

روش افزودن میلگرد های طولی همراه روکش بتنی که در حقیقت روشی است که به طور گسترده بعد از زلزله سال ۱۹۸۵ در مکزیکوسیتی گسترش فراوانی پیدا کرد عبارت است از افزودن میلگرد های طولی و خاموت های عرضی در اطراف ستون موجود و اضافه کردن یک پوشش بتنی که میلگرد های فوق را در بر بگیرد.

البته باید گفت که نانچه میلگرد های طولی از سقف طبقات عبور داده نشوند این تقویت تاثیر چندانی در باربری خمشی ستون نخواهد داشت و باید میلگرد های طولی به نحوی از سقف عبور داده شوند. با ایجاد سوراخ هایی در سقف توسط دریل می توان میلگرد ها را از سقف عبور داد. در این صورت مقاومت خمشی ستون نیز افزایش خواهد یافت.

لازم به تذکر است که برای افزایش درگیری بین بتن جدید و بتن قدیم باید لایه محافظ میلگرد ها تراشیده شده و سپس اقدام به تقویت ستون نماییم.

برای ستون هایی که امکان بتن ریزی در چهار طرف وجود نداشته باشد می توان از تقویت یک طرفه یا چند طرفه استفاده نمود.



### انتخاب شکل و فرم مناسب برای سازه





۷

یکی از مسائل مهم در طرح سازه های مقاوم در مقابل زلزله انتخاب شکل و فرم مناسب برای سازه است. البته برای هر نوع سازه خاصی فرم ایده آل کلی وجود ندارد ولی اصول چندی را به عنوان راهنما باید به خاطر داشت. به طور خلاصه می توان گفت:

- ساده باشد
- متقارن باشد
- در سطح یا ارتفاع دراز و کشیده نباشد
- توزیع مقاومت یکنواخت و پیوسته داشته باشد.
- در اعضا افقی قبل از اعضا قائم لولای خمیری ایجاد شود
- سختی اش به خواص خاک زیر آن ارتباط داشته باشد

رعایت اصول فوق در طرح تقویت یک ساختمان الزامی است و عملیات تقویت نباید موارد فوق را نقص کند. قواعد کلی بالا همراه با به کار بردن نقشه جزئیات مناسب برای اتصالات به مهندس بهترین امکان درک رفتار سازه را هنگام وقوع زلزله می دهد.

زلزله های مختلف به کرات نشان داده اند که ساده ترین سازه ها بیشترین شانس آسیب پذیری را دارند. دو دلیل اصلی برای این امر وجود دارد. دلیل اول درک بالای مهندسیین از رفتار زلزله ای یک سازه ساده است که به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از یک سازه پیچیده می باشد.

دلیل دوم این است که اطلاعات ماد در مورد رفتار دینامیکی اتصالات سازه های ساده خیلی بیشتر از اتصالات سازه های پیچیده است. تقارن نیز به همان دلایل بالا مطلوب است و بهتر است که تقارن در تصویر افقی در دو جهت وجود داشته باشد.

هنگام تعیین فرم سازه، انتخاب مصالح مورد استفاده غالباً عامل مهمی است و مصالح سازه ای بعضی مواقع به علت در دسترس بودن یا ملاحظات سیاسی یا اقتصادی انتخاب می شوند. اگر فقط مقاومت در مقابل زلزله مورد نظر باشد بهترین مصالح باید دارای خواص زیر باشند.







### بهترین مصالح باید دارای خواص زیر باشد

- خاصیت جذب انرژی و تغییر شکل خمیری زیاد
- نسبت مقاومت به وزن بالا
- همگن بودن
- حداقل در دو جهت عمود بر هم دارای مقاومت یکسان باشد
- ایجاد اتصالات با مقاومت کامل آسان باشد

البته در کنار تمام عوامل و نکات ذکر شده تنها یک اجرای عالی و با کیفیت است که طرح خوب و مطمئنی را ایجاد می نماید.

### مراحل تقویت ساختمان

منظور از مراحل تقویت، گام هایی است که در عملیات تقویت یک ساختمان صورت می گیرد. این مراحل به صورت عمومی و کلی در یک پروژه به قرار زیر هستند.

- تعیین خصوصیات لرزه ای سازه موجود

در این مرحله با استفاده از روشی لازم است تا میزان مقاومت و شکل پذیری ساختمان با توجه به اعضای مورد استفاده اعم از میلگرد مشخص شود. روش های موجود ممکن است تقریبی، دقیق و یا آیین نامه ای باشند.





- تعیین میزان تقویت لازم  
در این مرحله با استفاده از نتیجه مراحل قبل و تخمین بارهای وارده از زلزله به سازه، میزان ضعف و تقویت آن مشخص می شود و نیاز به تقویت تایید یا رد می گردد.
- طرح مقدماتی  
در این گام باید هدف از تقویت و راستای آن دقیقاً مشخص شود و همچنین وضعیت موجود ساختمان با تهیه نقشه های اولیه، کاملاً بررسی شود تا طرح مقدماتی تقویت آماده گردد.
- انتخاب تکنیک تقویت  
در این مرحله می بایست با بررسی مراجع موجود در مورد تکنیک های تقویت و امکانات موجود و نظرات مالک ساختمان، روش مناسبی جهت تقویت ساختمان انتخاب نمود
- کارهای آزمایشگاهی  
گاه لازم است جهت تعیین مشخصات موجود سازه از قبیل مقاومت مصالح و خصوصیات دینامیکی، بعضی از کارهای آزمایشگاهی روی سازه یا مدلی از آن صورت گیرد. همچنین در پروژه های با اهمیت لازم است این آزمایشات روی سازه تقویت شده جهت تایید طرح تقویت صورت گیرد.
- تخمین میزان مقاومت اضافه شده  
جهت روشن شدن وضعیت آتی ساختمان لازم است تا میزان مقاومت اضافه شده با استفاده از تکنیک انتخاب شده مشخص گردد.
- آرایش اعضا اضافه شده  
گاه ممکن است در یک طرح تقویت لازم باشد تا اعضای از جمله **میلگرد** به سازه اضافه شوند، در این صورت اعضای جدید می بایست به گونه ای در پلان قرار گیرند که موجب خروج از مرکزیت زیاد مرکز سختی نسبت به





۱۰

مرکز جرم نگردند. در غیر این صورت وجود پیچش های بزرگ تحت زلزله، ساختمان را در وضعیت بحرانی قرار می دهد.

- محاسبه خصوصیات دینامیکی

در این مرحله خصوصیات رفتاری سازه پس از تقویت مورد بررسی و محاسبه قرار می گیرد تا وضعیت جدید سازه برای مقایسه مشخص شود.

- برآورد اثرات تقویت

هرگونه تغییر در اسکلت ساختمان سبب تغییر خصوصیات رفتاری سازه می گردد. در این مرحله لازم است تا میزان و راستای این تغییرات مشخص گردد. چه بسا یک تقویت نامناسب سبب تغییر خصوصیات در جهت نامطلوب گردد و سازه را در وضعیت بحرانی تری قرار دهد.

- مقایسه و تایید طرح تقویت

در این مرحله با استفاده از نتایج دو مرحله اخیر، موفقیت طرح مورد ارزیابی قرار می گیرد و ارضاء هدف اولیه بررسی می شود. در صورت عدم رسیدن به هدف مورد نظر، باید مراحل قبلی بازنگری شده و نقطه ایراد مشخص شود و مراحل بعدی تکرار شوند تا هدف اولیه و مورد نظر ارضاء گردد.

- اجرای طرح تقویت

و بدین ترتیب عملیات تقویت خاتمه می یابد.

