



تعمیر، مرمت و تقویت سازه ها

دکتر سید عبدالنبی رضوی
(عضو هیئت علمی گروه مهندسی سازه)

مقدمه:

مقوله مقاوم سازی ساختمان ها اگر چه در زمانهای گذشته انجام می شده و روش های مختلف مقاوم سازی ساختمان و مقاوم سازی اجزای ساختمان در برخی سازه های قدیمی مشاهده شده ولی متداول شدن مقاوم سازی ساختمان ها و مقاوم سازی سازه ها در سالهای اخیر در ایران بیشتر مدیون توجه مردم و مسئولین به مقاوم سازی ساختمان ها پس از زلزله های منجیل و بم بوده است.

مقاوم سازی سازه ها بطور کلی و مقاوم سازی ساختمان ها به صورت خاص از اوایل دهه 1380 در ایران متداول گردیده است . این بدین معنی نیست که مقاوم سازی سازه ها و مقاوم سازی ساختمان ها در زمان های گذشته وجود نداشته بلکه به این معنی است که در زمان های گذشته برای رفع ضعف سازه ها روش های مقاوم سازی مشخصی مانند مفاهیم مقاوم سازی امروزی وجود نداشته و در زمانهای دور هر کس متناسب با دانش و تجربه خود اقدام به مقاوم سازی ساختمان ها و مقاوم سازی سازه های متداول در گذشته (مانند مقاوم سازی پل ها) می نموده است.

مقاوم سازی

- مقاوم سازی ساختمان براساس مطالعات صورت گرفته در دو دهه اخیر و همچنین مستندات علمی و مشاهداتی که از قرن بیستم وجود دارد، کشور ایران از نظر لرزه خیزی در یکی از مناطق فعال جهان قرار دارد.
- گسل‌هایی که در این منطقه وجود دارد، ایران را در معرض زمین لرزه های پر قدرت و خطرناک قرار می‌دهد و به همین دلیل توجه به اصول و رعایت استانداردهای آن در ساخت و ساز شهری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.
- در حال حاضر، با وقوع هر زمین لرزه ای، تلفات انسانی قابل توجهی را در مناطق مختلف به خصوص بخش های روستایی شاهد هستیم. از همین رو، ایران در زمینه تلفات جانی ناشی از زلزله، در صدر کشورهای لرزه خیز قرار دارد.
- اگرچه بشر با دانش و امکانات فعلی خود هنوز هم در برابر زلزله های بسیار شدید در سطح بالایی آسیب پذیر است، اما با افزایش سطح اطلاعات و آگاهی عمومی در خصوص زمین لرزه و ترویج اصول ایمنی و بررسی وضعیت آسیب پذیری ساختمان ها، می‌توان تا حد رضایت بخشی از تلفات و خسارت های ناشی از زلزله جلوگیری کرد.
- امروزه می‌توان با شناسایی نقاط ضعف ساختمان ها و به کارگیری پروتکل های ایمن سازی و مقاوم سازی، به خصوص در شهرهای پرتراکمی مانند تهران، می‌توان برای مقابله با زلزله‌های شدید در آینده، آمادگی بیشتری داشت.

مقاوم سازی ساختمان به چه معناست؟

- به طور کلی مفهوم مقاوم سازی ساختمان، از نظر علم عمران، به افزایش و تقویت مقاومت یک سازه در برابر انواع فشارها، که اکثرا شامل عوامل طبیعی می شوند، اشاره دارد.

- از مهم ترین کاربردهای آن، بالا بردن میزان استحکام ساختمان ها در برابر زمین لرزه می باشد. در حقیقت به عنوان یکی از روش های بهسازی لرزه ای سازه شناخته می شود که تاثیرات چشم گیری بر افزایش مقاومت سازه ها داشته و به شیوه های مختلف و گوناگونی قابل اجرا می باشد.

- با توجه به قرارگیری کشورمان در منطقه ی زلزله خیز، بهسازی در ایران موضوعی است که دارای اهمیتی غیر قابل انکار می باشد و از نکات حیاتی در ساخت و ساز به شمار می آید.



دلایل نیاز به مقاوم سازی

- علل زیادی برای انجام مقاوم سازی سازه ها وجود دارند. در سر تا سر جهان می بینیم که بسیاری از ساختمان ها دارای ضعف هایی هستند؛ اما با وجود تفاوت در این ضعف ها، تنها به وسیله ی اجرای آن می توان آن ها را از بین برد و استحکام ساختمان ها را به طور اصولی و با استفاده از روش های روز دنیا افزایش داد و بازسازی کرد.

- برخی از این ضعف ها در ساخت سازه ها عبارت اند از:

- **۱-خطا در طراحی:**

- منظور از خطا در طراحی سازه ها، در واقع اشکالات موجود در تهیه نقشه ها، بی اعتنایی به مبانی اولیه و پایه، و پیشبینی های نادرست و اشتباه است. در چنین مواقعی است که می تواند این ایراداتی که در مراحل اولیه ساخت و ساز ایجاد شده اند را از بین ببرد.

- **۲-خطا در اجرا:**

- خطاهایی که در اجرا رخ می دهند، عموماً همان مشکلاتی هستند که در قالب بندی، بتن ریزی و اقداماتی از این دست ایجاد می شوند. چنین اشکالاتی اغلب به دلیل عدم نظارت، وجود نیروهای غیر متخصص در عملیات، و یا به کارگیری مصالح ارزان و بی کیفیت پیش می آیند.

- **۳-تغییر کاربری:**

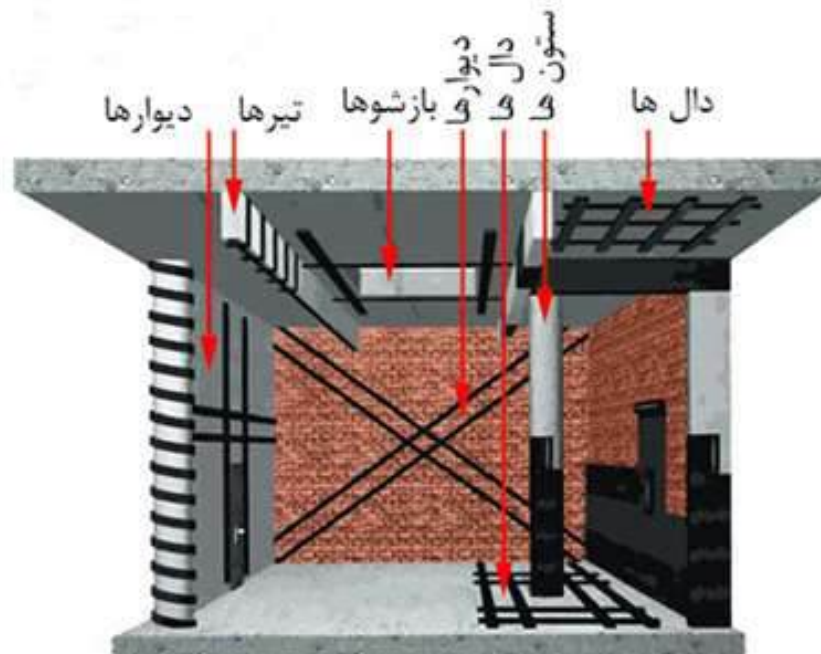
- گاهی بنا به دلایلی، کاربری سازه ها تغییر پیدا می کنند و انتظارات از کاربری سازه ها متفاوت می شود. همین تغییر کاربری است که باعث می شود ساختمان ها به مقاوم سازی نیاز پیدا کنند، چراکه بارگذاری به بیش از حد پیشبینی شده می رسد و سازه توان کافی ندارد.

- **۴-بازسازی:**

- در موارد زیادی شاهد آن هستیم که طراحی ساختمان ها قدیمی شده و دیگر به اندازه ی سازه های جدید، استحکام و مقاومت ندارند. در این شرایط باید از طریق اجرای بهسازی، توان ساختمان های قدیمی را به اندازه ی سازه های جدیدتر در برابر نیروهای وارده افزایش دهیم.

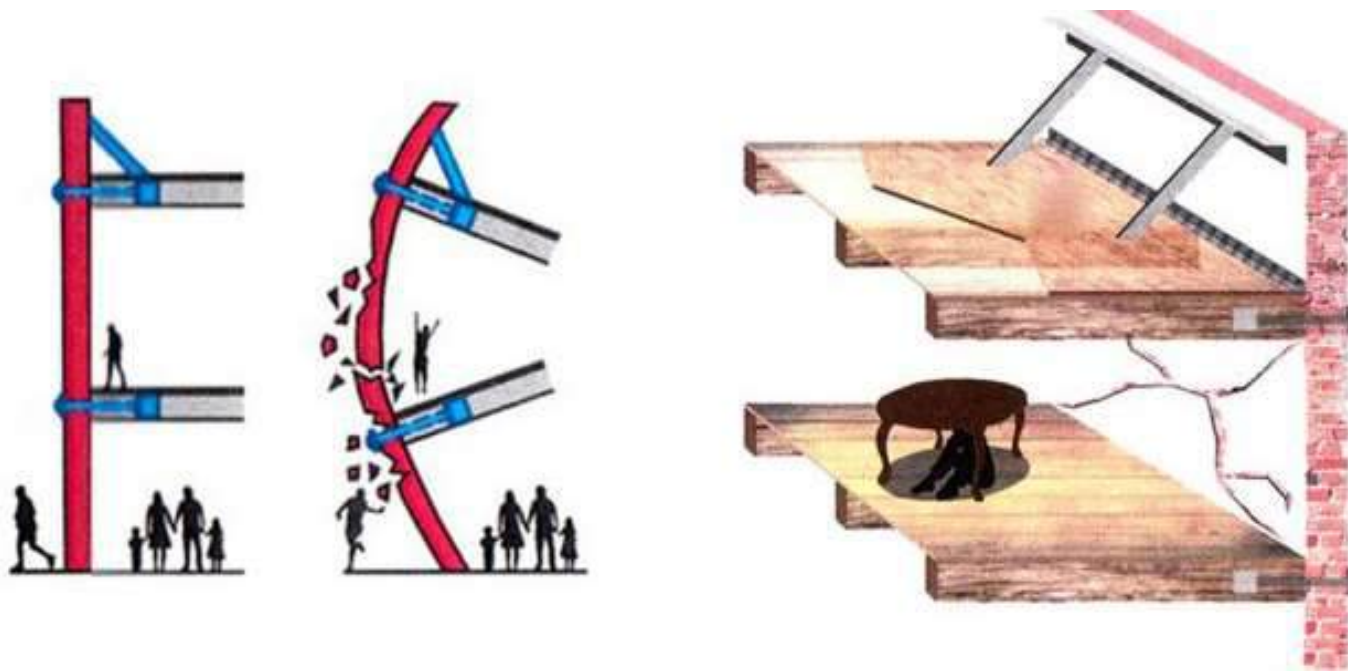
اهمیت مقاوم سازی ساختمان های تهران

- وقوع زلزله ۵٫۲ ریشتری در پاییز ۹۶ در غرب استان تهران باعث شد تا بسیاری از زمین شناسان به تئوری «زلزله بزرگ» در تهران به شکل جدی تری نگاه کنند. این اتفاق همچنین تغییر رویکردی جدی نسبت به مقاوم سازی ساختمان آجری در تهران را به همراه داشت.
- براساس محاسبات تخمینی انجام شده توسط زمین شناسان و همچنین با توجه به سوابق زمین لرزه های تهران، می توان دریافت کرد که هر ۱۵۰ تا ۲۰۰ سال، یک زلزله بزرگ و شدید در این منطقه رخ می دهد و بدین ترتیب اکنون در دوره های قرار داریم که باید خودمان را برای زلزله بزرگ آماده کنیم.
- اگرچه برخی از زلزله شناسان شناخته شده در ایران، این محاسبات تخمینی را به نوعی رد می کنند، اما به هر حال زلزله ۲۹ آذر در شهر ملارد و همچنین زلزله ماهدشت جنوب کرج باعث شد تا گمانه زنی ها در خصوص فعال شدن گسل های مناطق شمالی تهران یک بار دیگر شدت بگیرد. براساس حدس و گمان های قبلی، انتظار می رود با افزایش تنش در گسل شمال تهران، احتمال وقوع زمین لرزه ای با شدت بالاتر از ۷ ریشتر نیز وجود داشته باشد.



تعریف مقاوم سازی با بهسازی لرزه ای

- هر سازه ای دارای یک نیاز لرزه ای است و اگر ظرفیت سازه با نیاز لرزه ای برابر نباشد در اثر بار یا فشار جانبی آسیب پذیر خواهد بود. در بهسازی هدف این است که با استفاده از روش های تبیین شده، ظرفیت سازه را تا حد امکان به نیاز لرزه ای نزدیک کنیم.
- در صورتی که قصد افزایش ظرفیت سازه را داشته باشیم، اصطلاحاً فرایند مقاوم سازی برای یک سازه اجرا می شود. این فرایند می تواند با افزایش میزان سختی و یا افزایش مقاومت انجام شود. افزایش ظرفیت سازه می تواند با استفاده از مهاربند، دیوار برشی و یا ژاکت های بتنی صورت بگیرد.
- گاهی اوقات نیز می توان نیاز لرزه ای سازه را کاهش داد تا با مقدار ظرفیت سازه برابر شود. بدین ترتیب دیگر نیازی به افزایش ظرفیت سازه وجود ندارد. این کار نیز با استفاده از افزایش شکل پذیری، کاهش جرم، کاهش نامنظمی و استفاده از فناوری های نوینی مانند جداسازی لرزه ای و میراگرها قابل انجام است.
- بنابراین می توان به این نتیجه رسید که مقاوم سازی در واقع یکی از روش های بهسازی لرزه ای به حساب می آید که با کمک مجموعه عملیاتی برای توانبخشی سازه های موجود، از آسیب دیدگی و فروپاشی سازه در برابر بارهای اضافی و یا عوامل مخرب محیطی جلوگیری می کند



مقاوم سازی ساختمان: انواع راهکارها

- مقاوم سازی وظیفه کیست؟
- چه ساختمان‌هایی نیاز به مقاوم سازی دارند؟
- روش انجام مقاوم سازی چیست؟
- هزینه انجام مقاوم سازی چقدر است؟
- نتایج مقاوم سازی تا چه حد قابل اطمینان است؟
- آیین نامه‌های طراحی مقاوم سازی کدام است؟
- طرح‌های مقاوم سازی چه نتایجی در بر دارد؟

کدام ساختمان ها به مقاوم سازی نیاز دارند؟

- **دسته اول،** ساختمان هایی هستند که به دلیل نوع کاربری و استفاده ای که دارند، امکان انتقال تجهیزات را نداشته و از طرفی باید عملکرد خود را بعد از زلزله نیز حفظ کنند. این ساختمان ها شامل مراکز درمانی، ایستگاه های مخابراتی و تلویزیونی، مراکز امنیتی و پالایشگاه ها هستند.
- **دسته دوم** را ساختمان هایی تشکیل می دهند که در حال حاضر شرایط ویژه ای ندارند، اما پس از زلزله به عنوان مراکز خدماتی و کمک رسانی مورد استفاده قرار می گیرند و لازم است حتما سالم باشند. برخی از سوله ها، مساجد، مدارس، مراکز مدیریت کلان و مراکز مدیریت بحران از این جمله محسوب می شوند.
- **دسته سوم،** ساختمان هایی هستند که قبل و بعد از زلزله اهمیت خاصی ندارند ولی در صورت آسیب جدی تلفات جانی زیادی در پی خواهند داشت مانند؛ مراکز عمومی، استادیوم، برج ها و ...
- **دسته چهارم** نیز ساختمان های معمولی هستند که در هیچ یک از دسته های بالا قرار نمی گیرند مانند؛ منازل مسکونی، ساختمان های اداری و تجاری معمولی.
- مقاوم سازی ساختمان های دسته اول و دوم کاملا به عهده دولت است. اما دسته سوم بین دولت و مردم مشترک بوده و دسته چهارم کاملا به عهده مردم است.
- باید متذکر شویم که مقاوم سازی ساختمان های دسته اول و دوم، تقریبا تأثیر مستقیم در کاهش تلفات ناشی از زلزله ندارد و تنها مقاوم سازی ساختمان های دسته سوم و چهارم است که در کاهش مستقیم تلفات زلزله نقش دارند.

انواع ساختمان‌ها جهت مقاوم سازی

- مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی
- مقاوم‌سازی ساختمان ترک‌خورده
- مقاوم‌سازی خانه‌های خشتی
- مقاوم‌سازی اسکلت فلزی و بتنی

مقاوم سازی در ساختمان های قدیمی

- ساختمان هایی که براساس آیین نامه های قدیم، طراحی و ساخته شده اند، در مقابل بارهای جانبی و زلزله به شدت ضعیف بوده و اصولاً دارای رفتار لرزه ای و خصوصیات دینامیکی مناسبی نیستند. لذا در این حالت، رفع نقاط ضعف سازه ای و تقویت ساختمان بسیار اقتصادی تر از بازسازی آن است.
- در بعضی موارد ساختمان های خسارت دیده از زلزله را می توان بازسازی و تقویت کرده و مجدد مورد بهره برداری قرار داد. در این حالت لازم است تا اعضا موجود جهت تحمل بارهای اضافه شده بر سازه، تقویت شوند. در چنین حالتی وضعیت ساختمان تغییر کرده و در نتیجه خصوصیات دینامیکی آن نیز عوض می شود. لذا کنترل پاسخ لرزه ای سازه در وضعیت جدید، الزامی است تا اگر نقاط ضعف تازه ای مشاهده شد، رفع شود.



مقاوم سازی در ساختمان های قدیمی

- ساختمان هایی که براساس آیین نامه های قدیم، طراحی و ساخته شده اند، در مقابل بارهای جانبی و زلزله به شدت ضعیف بوده و اصولاً دارای رفتار لرزه ای و خصوصیات دینامیکی مناسبی نیستند. لذا در این حالت، رفع نقاط ضعف سازه ای و تقویت ساختمان بسیار اقتصادی تر از بازسازی آن است.
- در بعضی موارد ساختمان های خسارت دیده از زلزله را می توان بازسازی و تقویت کرده و مجدد مورد بهره برداری قرار داد. در این حالت لازم است تا اعضا موجود جهت تحمل بارهای اضافه شده بر سازه، تقویت شوند. در چنین حالتی وضعیت ساختمان تغییر کرده و در نتیجه خصوصیات دینامیکی آن نیز عوض می شود. لذا کنترل پاسخ لرزه ای سازه در وضعیت جدید، الزامی است تا اگر نقاط ضعف تازه ای مشاهده شد، رفع شود.



راهکارهای مقاوم سازی تیرها

• مقاوم سازی تیر به روش ژاکت بتنی

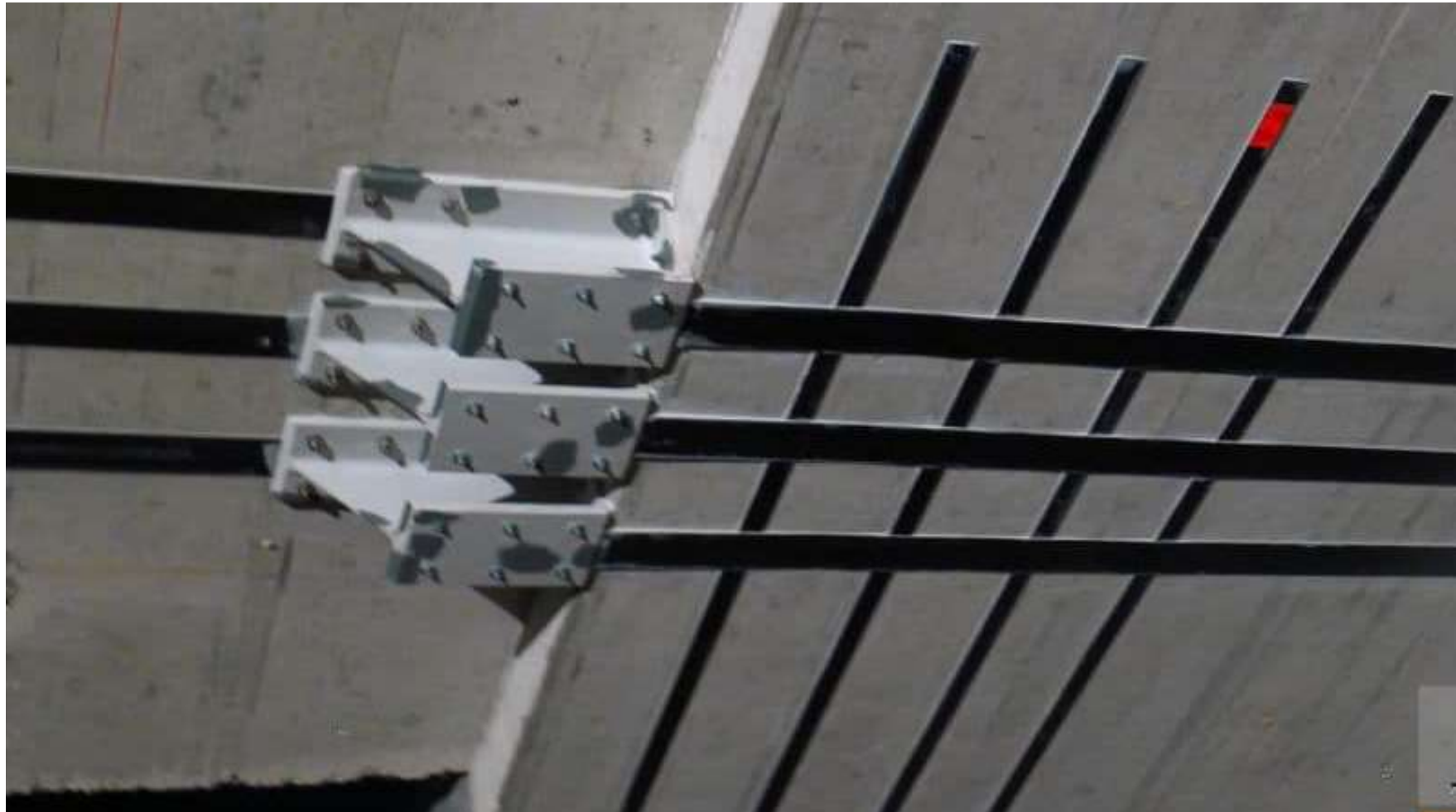
یکی از تکنیک‌های مرسوم افزایش ظرفیت باربری ثقلی تیرها (بتنی و یا فولادی) در مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی و یا مقاوم‌سازی ساختمان‌های فولادی، اجرای ژاکت بتنی می‌باشد. در این روش تیرهایی که دارای ضعف باربری بوده و یا دچار آسیب دیدگی می‌باشند با اضافه کردن آرماتورها و قالب‌بندی و اجرای بتن ریزی (معمولا بتن خودتراکم) مجدد مقاوم سازی می‌گردند. در مواقعی که ژاکت بتنی ضخامت کمی داشته باشد می‌توان از شاتکریت بتنی جهت اجرای بتن استفاده نمود.



راهکارهای مقاوم سازی تیرها

• تکنیک پس کشیدگی یا پیش تنیدگی در مقاوم سازی ساختمان

الیاف FRP یکی دیگر از روش‌های مقاوم‌سازی است که برای تقویت تیرها به کار می‌رود. در این روش با استفاده از القای کشش در کابل‌های پیش‌تensioning، نیروهای داخلی باز توزیع گشته، ظرفیت باربری فعال عضو بلافاصله بالا رفته و در نتیجه تیر حاضر تقویت می‌گردد.



راهکارهای مقاوم سازی تیرها

• اضافه نمودن ورق‌های فولادی به تیر

با استفاده از اتصال ورق‌های فولادی به وجه کششی در تیرهای بتنی می‌توان ظرفیت باربری خمشی تیر را افزایش داد. در این روش ورق‌های فولادی به ضخامت حداکثر ۳ سانتی متر با استفاده از رزین اپوکسی به تیر بتنی چسبانده می‌شود. همچنین با اضافه نمودن ورق‌های موازی با جان تیر فولادی می‌توان مقاومت برشی آن را افزایش داد.

راهکارهای مقاوم سازی تیرها

• مقاوم سازی تیر با کامپوزیت های FRP

مقاوم سازی تیر بتنی با مصالح FRP در طی ۳-۴ روز به ۳ برابر مقاومت کششی فولاد می‌رسند، از این رو با توجه به اینکه الیاف FRP مقاومت کششی بسیار بالایی نسبت به ورقه‌های فولادی دارند، اتصال FRP به ناحیه کششی بتن در تیر بتنی سبب افزایش ظرفیت خمشی مقطع خواهد شد.

عوامل متعددی مانند ابعاد مقطع تیر بتنی، مساحت و مشخصات مکانیکی میلگردهای موجود و میلگرد FRP مورد استفاده و همچنین مقاومت بتن موجود، در میزان افزایش مقاومت خمشی سازه‌های بتنی با استفاده از سیستم‌های FRP دخیل می‌باشند. در ادبیات فنی این افزایش مقاومت از ۱۰ تا ۱۶۰ درصد گزارش شده است.



راهکارهای مقاوم سازی تیرها

• مزایای روش مقاوم سازی تیر بتنی با FRP

- افزایش مقاومت خمشی تیر
- افزایش مقاوم برشی تیر
- افزایش شکل پذیری تیر
- افزایش مقاومت در برابر خوردگی
- افزایش دوام و عمر
- کنترل عرض ترک
- و FRP ضخامت کم ورقه‌های
- عدم تغییر قابل توجه در ابعاد تیر
- سهولت در اجرا
- هزینه پایین نسبت به روش‌های مرسوم دیگر
- ترمیم ناشی از خوردگی
-



راهکارهای مقاوم سازی تیرها

• مزایای روش مقاوم سازی تیر فولادی با FRP

در سازه های فولادی که تیرها وظیفه تحمل بارهای وارده از کف سازه و انتقال آن ها به ستون ها را بر عهده دارند. در صورتی که تیر فولادی بنابر هر علتی ظرفیت خمشی کافی برای تحمل بارها را نداشته باشد نیاز به مقاوم سازی پیدا میکند. همانند تقویت تیر بتنی، تیر فولادی را نیز می توان با چسباندن FRP به قسمتی از مقطع که تحت کشش قرار می گیرد تقویت نمود. بدین ترتیب می توان با تقویت بال تحتانی تیر فولادی دو سر مفصل آن را تقویت نمود. همچنین برای تیرهای دو سر گیردار و یا تیرهایی که در قابهای چند دهانه استفاده می شوند، می توان با تقویت بال تحتانی بوسیله FRP در میانه طول عضو و نیز بال فوقانی در نواحی نزدیک تکیه گاه، اقدام به تقویت خمشی عضو نمود.

- به حداقل رسیدن مشکلات اجرایی به دلیل وزن بسیار کم الیاف FRP

- انعطاف پذیری بالای الیاف FRP

- افزایش ظرفیت خمشی تیرهای فولادی

- به تاخیر انداختن کمانش موضعی بال تیر

- ضخامت کم لمینیت FRP و عدم تغییر قابل توجه در ابعاد تیر

- هزینه پایین نسبت به روش های مرسوم دیگر

راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

• مقاوم سازی ستون به روش ژاکت بتنی

ترمیم و مقاوم سازی ستون های بتنی و فلزی با استفاده از ژاکت بتنی به عنوان راه حلی موثر توصیه می گردد. در این روش ستون هایی که دارای ضعف باربری بوده و یا نیاز به ترمیم دارند، با افزودن لایه ای از بتن، میلگردهای طولی و خاموت های بسته تقویت می گردد. در مواقعی که آسیب های وارده به ستون بتنی زیاد بوده و یا ستون از ظرفیت کافی در برابر نیروهای جانبی برخوردار نباشد استفاده از طرح ژاکت بتنی برای مقاوم سازی ستون پیشنهاد می گردد. همچنین از این تکنیک مقاوم سازی می توان برای افزایش سختی برشی در ستون های فولادی با مقاطع H و I استفاده نمود. در حالتی که ستون فولادی مقطعی بسته داشته باشد، می توان به منظور تقویت، ستون را با بتن پر نمود. **اجرای تکنیک ژاکت بتنی** بهتر است با قالب و بتن خود تراکم صورت گیرد ولی در صورتی که لایه بتن اضافه شده ضخامت کمی داشته باشد، استفاده از روش شاتکریت بهتر از بتن ریزی می باشد.



راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

- مقاوم سازی ستون به روش ژاکت بتنی



راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

• مقاوم سازی ستون به روش ژاکت بتنی



راهکارهای مقاوم سازی ستون ها



مقاوم سازی با ژاکت فلزی یا بتنی یکی از شناخته شده ترین و رایج ترین روش های مقاوم سازی ساختمان های بتنی و فولادی است که معمولاً به منظور افزایش ظرفیت خمشی و برشی اجزای سازه ای (تیرها، ستون ها، اتصالات) مورد استفاده قرار می گیرند. معمولاً برای مقاوم سازی از ژاکت های فلزی به دلیل کمتر بودن محدودیت های اجرایی مانند راحتی اتصال آنها به سازه و همچنین تغییر ابعاد اجزای سازه ای و افزایش وزن در صورت استفاده از ژاکت بتنی، استفاده می شود. با این حال ژاکت های فولادی دارای معایبی همچون وقت گیر بودن (به دلیل عملیات کاشت میلگرد و جوشکاری برای بالا بردن مقاومت خمشی و برشی)، هزینه زیاد و امکان خوردگی و زنگ زدگی فولاد می باشند. همچنین هزینه مقاوم سازی با ژاکت بتنی نیز نسبتاً زیاد است.

راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

• مقاوم سازی ستون به روش ژاکت فولادی

تقویت ستون ها با استفاده ژاکت فولادی، سبب افزایش مقاومت فشاری، برشی و همچنین تامین محصور شدگی جهت افزایش شکل پذیری آن می شود. با این روش مقاوم سازی می توان ظرفیت برشی، فشاری و محصور شدگی ستون ها را تامین کرد و بدین ترتیب ظرفیت باربری آن ها در مقابل بارهای جانبی زلزله و قائم ثقلی نیز افزایش می یابد.



راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

• مقاوم سازی ستون با کامپوزیت های FRP

هنگامی که ستون تحت بارهای لرزه ای قرار می گیرد، مسئله ظرفیت جذب انرژی و شکل پذیری ستون اهمیت می یابد که استفاده از الیاف FRP ضمن افزایش ظرفیت برشی ستون، مد گسیختگی آن را از حالت برشی به خمشی تغییر داده و شکل پذیری را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد.

با افزایش میزان بار وارده بر ستون، بتن تمایل دارد در جهت عمود بر جهت اعمال بار از هم باز شود. محصور کردن عرضی بتن با پوشش FRP (دور پیچ کردن) توسط افزودن لایه هایی از الیاف شیشه و کربن مقاومت نهایی ستون را تا ۲ برابر افزایش می دهد و البته تاثیر مهم تر این الیاف در افزایش ۵ برابری در ظرفیت تغییر شکل بتن است.

در این روش قرارگیری الیاف در امتداد عمود بر محور طولی عضو به صورت دورپیچ کامل، سبب ایجاد محصورشدگی انفعالی (Passive) در عضو می گردد. از این رو FRP تا زمان بارگذاری و رخداد تغییر شکل های عرضی در ستون بتنی موجود منفعل بوده و تحت تنش قرار نگرفته و تاثیری در باربری عضو ندارد. بدین سبب اجرا و نصب استاندارد و اطمینان از چسبندگی کامل بین بتن و FRP در این روش مقاوم سازی بسیار حائز اهمیت می باشد.



راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

• مقاوم سازی ستون با کامپوزیت های FRP

مزایا و خصوصیات مقاوم سازی ستون بتنی با FRP

- افزایش مقاومت خمشی ستون
- افزایش مقاومت برشی ستون
- افزایش مقاومت فشاری ستون
- افزایش مقاومت در برابر خوردگی
- افزایش دوام و عمر
- کنترل گسترش ترک و عرض ترک
- ضخامت کم ورق های FRP و عدم تغییر قابل توجه در ابعاد تیر
- سهولت در اجرا
- هزینه پایین نسبت به روش های مرسوم دیگر
- افزایش شکل پذیری



راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

• مزایای مقاوم سازی ستون فولادی با FRP

ستون ها اجزایی از ساختمان های فولادی هستند که قسمت اعظم نیروی وارد بر آن ها به صورت فشاری می باشد و اغلب به صورت عمود بر سطح زمین می باشند. عمده خرابی موجود در ستون های فولادی شامل کمزش موضعی، کمزش کلی و گسیختگی در محل درزها و وصله ها می باشد. استفاده از روکش FRP در مقاطع بسته همانند مقاوم سازی ستون های بتنی می باشد که در آن الیاف به طور دورپیچ ستون های فولادی را محصور می کند و باعث افزایش مقاومت فشاری آن ها میگردد. این امر همچنین باعث افزایش شکل پذیری اعضا تحت ترکیب نیروهای محوری و خمشی می شود.

- قابلیت افزایش مقاومت محوری، برشی و خمشی ستون
- افزایش شکل پذیری و قابلیت جابه جایی نسبی نهایی بیشتر
- کمترین افزایش در ابعاد پایه در بین روش ها مشابه
- سرعت بالای مقاوم سازی بدون توقف بهره برداری از سازه

راهکارهای مقاوم سازی ستون ها

• اضافه نمودن ورق های فولادی

در ساختمان های فولادی با اضافه کردن ورق پوششی به بال ستون و یا اضافه نمودن ورق موازی با جان ستون، می توان ستون فولادی را مقاوم سازی نمود. در حالت اول و با افزایش ضخامت بال از کمانش موضعی بال ستون جلوگیری شده و اضافه نمودن ورق موازی با جان ستون، مقطع را به شکل جعه ای تبدیل کرده، افزایش ممان اینرسی درامتداد موازی با جان را در پی خواهد داشت.

راهکارهای مقاوم سازی دال بتنی

• افزایش ضخامت دال بتنی

در برخی مواقع و بعلت مشکلاتی همچون افزایش بار وارده بر دال بتنی، ضعف در طراحی دال، خوردگی آرماتورهای فولادی و یا وجود ترک در دال بتنی از روش افزایش ضخامت می‌توان برای تقویت دال بتنی استفاده نمود. در صورتی که دال بتنی توانایی مقاومت در برابر ممان منفی وارد بر آن را نداشته و مقدار آرماتورهای تحتانی کافی باشد، ضخامت دال را در وجه فوقانی آن افزایش می‌دهیم. در مقابل و در صورتی که دال بتنی توانایی مقاومت در برابر ممان مثبت وارد بر آن را نداشته و یا بار مرده وارد بر آن بسیار کمتر از بار زنده باشد، ضخامت دال بتنی در وجه تحتانی آن باید افزایش یابد.

راهکارهای مقاوم سازی دال بتنی

• مراحل مقاوم سازی دال بتنی به روش افزایش ضخامت دال

• برداشتن کاور بتن

• تمیز کردن آرماتورهای فولادی با استفاده از برس سیمی و یا روش‌های مرسوم دیگر.

• استفاده از پوشش‌های ضد خوردگی با پایه اپوکسی بر روی میلگردها

• در صورتی که مقدار خوردگی در آرماتورها بالا باشد، آرماتورهای فولادی جدید متناسب با الزامات آیین نامه ای باید طراحی و به دال اضافه گردد.

• آرماتورهای فولادی جدید باید با استفاده از روش‌های مناسب در جهت عمود به دال و در جهت افقی به تیرهای پیرامونی مهار گردد.

• با استفاده از لایه ای از مواد با پایه اپوکسی بر روی بتن قدیم، از چسبندگی مناسب دال موجود با بتن مسلح جدید اطمینان حاصل گردد.

• قبل از خشک شدن اپوکسی، بتن جدید و با ضخامت مورد نیاز اجرا گردد. به منظور کاهش جمع شدگی در بتن می‌توان از مواد افزودنی مناسب استفاده نمود.

راهکارهای مقاوم سازی دال بتنی

• اضافه کردن صفحات فولادی به دال

یکی از روش‌های کنترل خیز سازه و افزایش سختی، مقاومت و یکپارچگی کف‌ها و سقف‌های بتنی، استفاده از صفحات و ورق‌های فولادی است. این ورق‌ها باید به صورت صحیح به سقف متصل و مهار شوند و فضای بین سقف و ورق با گروت یا مصالح بر پایه اپوکسی پر شوند تا ضمن چسبندگی کافی، عملکرد لرزه‌ای در برابر زلزله و انتقال بار مناسبی را از خود بر جای بگذارند.



راهکارهای مقاوم سازی دال بتنی

• مقاوم سازی دال بتنی با کامپوزیت‌های FRP

مقاوم سازی دال بتنی با FRP به منظور افزایش ظرفیت باربری دال، افزایش مقاومت دال در برابر خوردگی، کمبود مقاومت فشاری بتن، افزایش مقاومت خمشی، برشی و... بطور موضعی انجام می‌شود. دال‌ها عملاً وظیفه تحمل بارهای قائم را دارند ولی چون عملکرد دیافراگم افقی نیز دارند، باید با اعضای مقاوم جانبی سازه اتصال داشته و از سختی و مقاومت کافی برخوردار باشند.

برای مقاوم سازی دال بتنی با FRP، مصالح مرکب FRP را می‌توان بصورت نوارها و یا صفحاتی بر روی سطوح تحت کشش برای افزایش مقاومت خمشی اجرا نمود. دال یک طرفه با تکیه گاه ساده را می‌توان با چسباندن نوارها یا صفحات FRP در سطوح تحتانی آن‌ها و در راستای طولی، مقاوم سازی نمود. در دال دو طرفه مقاوم سازی با نوارهای FRP در هر دو جهت صورت گیرد.

البته اگر دال دارای تکیه گاه گیردار باشد، نوارهای FRP را باید در قسمت فوقانی دال نیز اجرا نمود. همچنین تقویت و بهسازی دال بتنی با FRP به منظور افزایش ظرفیت برشی پانچ دال بتنی در اطراف ستون‌ها، و تقویت مناطق اطراف بازشوها انجام می‌شود.

استفاده از ورق‌های CFRP در ناحیه کششی اتصال دال می‌تواند تشکیل و گسیختگی ترک‌های برشی را بوسیله افزایش مقاومت خمشی دال در مجاورت ستون به تعویق اندازد و در نتیجه باعث بهبود مقاومت برشی دو طرفه اتصال گردد. در مقاوم سازی دال با FRP به دلیل ضخامت کم ورق‌های FRP (حدود ۰.۵/۰ اینچ یا ۳/۱ میلی متر)، ورق‌ها براحتی می‌توانند تحت پوشش کف پنهان شوند و همچنین کاهش هزینه‌ها و اقتصادی بودن این روش باعث برتری آن نسبت به روش‌های معمول دیگر می‌باشد.

راهکارهای مقاوم سازی دال بتنی

• مزایا و خصوصیات مقاوم سازی دال بتنی با FRP

تقویت اعضا و اجزای بتنی با استفاده از روکش بتنی و یا فولادی، سبب افزایش مقاومت فشاری، برشی و همچنین تامین محصور شدگی جهت افزایش شکل پذیری یا پیوستگی بتن و آرماتور می‌شود. با این روش **مقاوم سازی** می‌توان ظرفیت برشی، فشاری و محصور شدگی ستون‌ها، دیوارها، دال‌ها و تیرها را تامین کرد و بدین ترتیب ظرفیت باربری آن‌ها در مقابل بارهای جانبی زلزله و قائم ثقلی نیز افزایش می‌یابد.

- افزایش مقاومت خمشی دال-های یک طرفه

- افزایش مقاومت خمشی دال-های دو طرفه

- تقویت و افزایش مقاومت برشی

- افزایش سختی و کاهش خیز در بارهای سرویس

- افزایش شکل پذیری

- ترمیم و تقویت ناشی از خوردگی

- افزایش مقاومت در برابر خوردگی

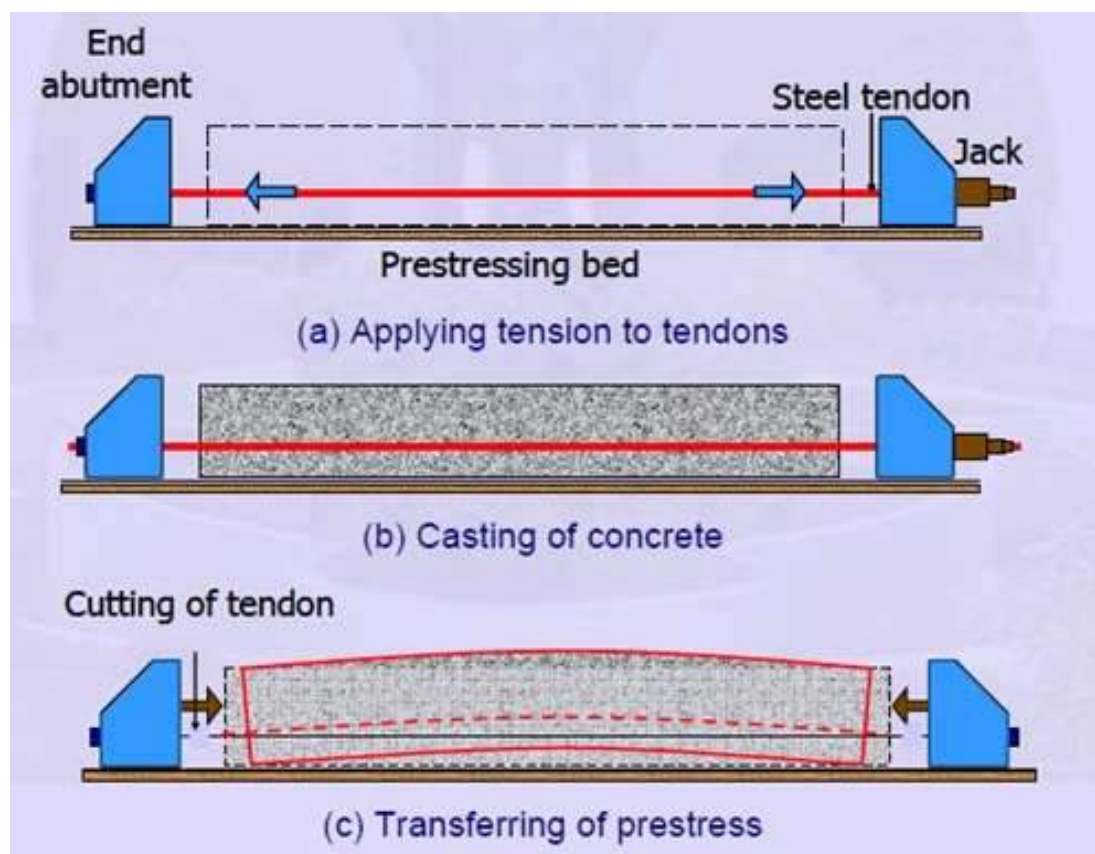
- صرفه اقتصادی نسبت به روش‌های معمول

- سهولت در اجرا

راهکارهای مقاوم سازی دال بتنی

• مقاوم سازی با پس کشیدگی یا پیش تنیدگی

در روش مقاوم سازی ساختمان با پس کشیدگی یا پیش تنیدگی، از رشته های فولادی یا آرماتور با مقاومت بالا استفاده می شود. روش پیش تنیدگی در دال های بتنی روی زمین، ساخت پارکینگ ها، ساختمان ها و ... استفاده می شود. از تاندون های پیش تنیده (عموماً کابل های فولادی کششی)، برای ایجاد بارهای مقاوم استفاده می گردد.



این بارهای مقاوم، با ایجاد تنش فشاری، سبب به وجود آمدن تعادل با تنش کششی می شوند. به طور کلی پیش تنیدگی عبارتست از افزایش قابلیت باربری با ایجاد یک تنش ثابت و دائمی در یک عضو بتنی به اندازه لازم، به طوری که در اثر این تنش مقداری از تنش های ناشی از بارهای مرده و زنده در عضو خنثی شود. روش پس کشیدگی نیز در ساخت قطعات پیش ساخته بتنی به کار می رود.

راهکارهای مقاوم سازی دیوارها

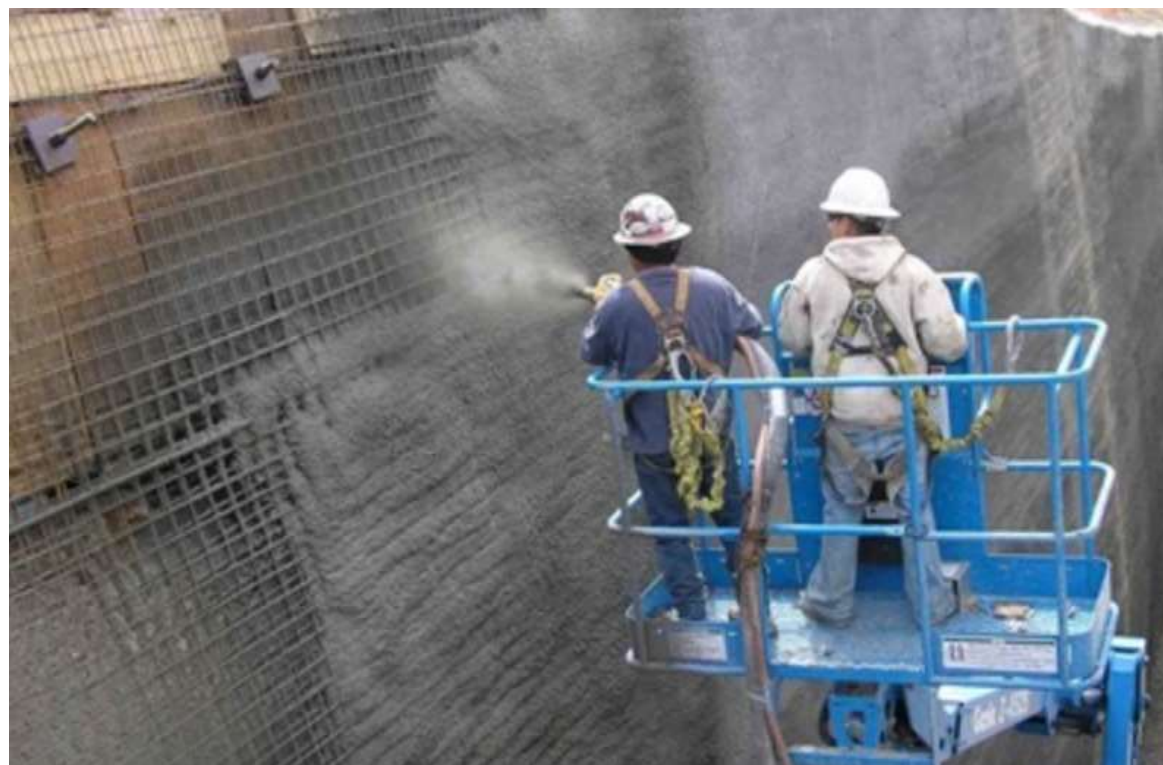
• شاتکریت بتنی دیوار

یکی از روش‌های مقاوم سازی دیوارها استفاده از شاتکریت بتنی و مسلح نمودن دیوار بتنی یا بنایی می‌باشد که در **مقاوم سازی** ساختمان به صورت کلی تاثیر زیادی دارد. در این روش ابتدا یک شبکه میلگرد به طور صحیح و مهاربندی شده بر روی دیوار قرار می‌گیرد و سپس با استفاده از دستگاه شاتکریت عملیات بتن پاشی صورت می‌گیرد. این پوشش بتنی علاوه بر ایجاد انسجام مناسب در دیوار، مقاومت و شکل پذیری درون صفحه و برون صفحه را نیز افزایش می‌دهد. یکی دیگر از مزیت‌های این روش مقاوم سازی در این است که شبکه میلگرد ایجاد شده بر سطح دیوار به همراه بتن پاشیده شده همانند یک لایه بتن مسلح بوده و باعث بهبود رفتار لرزه ای دیوار (دیوار بتنی یا دیوار بنایی) در برابر زلزله می‌شود.

راهکارهای مقاوم سازی دیوارها

• شاتکریت بتنی دیوار

مصالح بکار رفته در تعمیر سازه های بتنی مستحکم با استفاده از فناوری شاتکریت دارای خاصیت محافظتی بوده و دارای ویژگی هایی همچون انعطاف پذیری، مقاومت پذیری، ضد آب بودن، مقاومت در برابر یخ زدگی و خوردگی می باشند. تمامی موارد فوق مقاوم سازی با استفاده از شاتکریت را به یکی از محبوب ترین روش ها مبدل نموده است. شایان ذکر است که هزینه مقاوم سازی با استفاده از شاتکریت نسبتا پایین است.



راهکارهای مقاوم سازی دیوارها

• مقاوم سازی دیوار با کامپوزیت‌های FRP

یکی از روش‌های مقاوم سازی دیوارها استفاده از شاتکریت بتنی و مسلح نمودن دیوار بتنی یا بنایی می‌باشد که در **مقاوم سازی** ساختمان به صورت کلی تاثیر زیادی دارد. در این روش ابتدا یک شبکه میلگرد به طور صحیح و مهاربندی شده بر روی دیوار قرار می‌گیرد و سپس با استفاده از دستگاه شاتکریت عملیات بتن پاشی صورت می‌گیرد. این پوشش بتنی علاوه بر ایجاد انسجام مناسب در دیوار، مقاومت و شکل پذیری درون صفحه و برون صفحه را نیز افزایش می‌دهد. یکی دیگر از مزیت‌های این روش مقاوم سازی در این است که شبکه میلگرد ایجاد شده بر سطح دیوار به همراه بتن پاشیده شده همانند یک لایه بتن مسلح بوده و باعث بهبود رفتار لرزه ای دیوار (دیوار بتنی یا دیوار بنایی) در برابر زلزله می‌شود.

راهکارهای مقاوم سازی دیوارها

• مقاوم سازی دیوار با کامپوزیت‌های FRP

مصالح کامپوزیت پلیمری FRP از جنس الیاف شیشه و یا کربن، راه‌حلی ایده‌آل برای تعمیر و مقاوم سازی دیوار بتنی، بنایی غیرمسلح، آجری و جان‌پناه محسوب می‌شوند. از جمله المان‌های سازه ای که قابل مقاوم سازی ساختمان به کمک مصالح کامپوزیت پلیمری FRP هستند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دیوارهای برشی بتنی مسلح
- دیوارهای بتنی غیر مسلح
- دیوارهای بنایی

راهکارهای مقاوم سازی دیوارها

• مقاوم سازی دیوار با کامپوزیت های FRP



راهکارهای مقاوم سازی دیوارها

• مزایا و خصوصیات مقاوم سازی دیوار بتنی با FRP

• افزایش مقاومت خمشی و برشی دیوارها

• حداکثر افزایش ضخامت دیوار به میزان ۵ میلی متر

• سبکی و افزایش حداقلی وزن دیوار

• افزایش مقاومت کل دیوار حتی در صورت پوشاندن سطح کوچکی از آن

• عمل کرد آب بندی

• کاهش بسیار زیاد نرخ خوردگی دیوار

• قابلیت اتصال مناسب به انواع دیوار اعم از بتنی، آجری و ...

• عدم نیاز به هم پوشانی زیاد و در نتیجه ارزان تر بودن این روش

راهکارهای مقاوم سازی دیوارها

• مزایا و خصوصیات مقاوم سازی دیوار بتنی با FRP



راهکارهای مقاوم سازی اتصالات

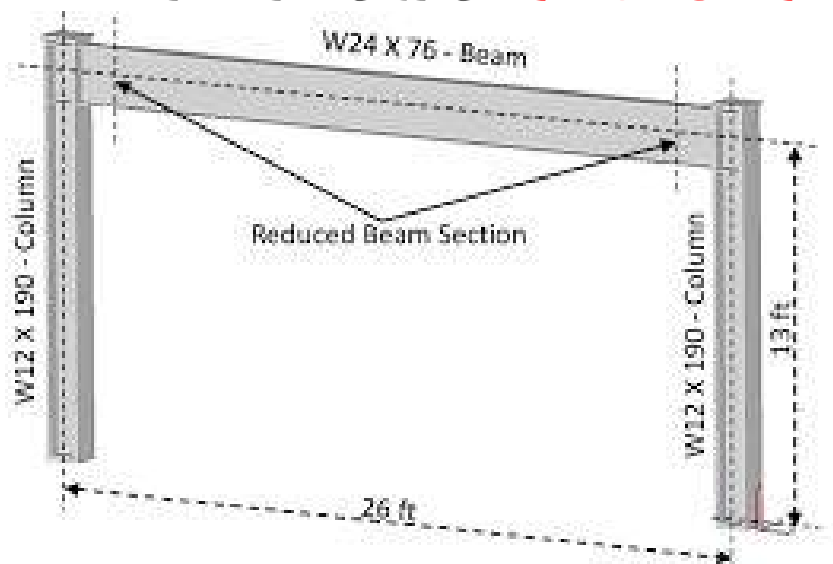
از آنجایی که بیشتر آسیب های ایجاد شده در سازه ها به دلیل عدم شناخت کافی از رفتار اتصالات و در نتیجه ضعف در طراحی یا اجرای آنها رخ می دهد، بررسی این آسیب ها و در نتیجه مقاوم سازی اتصالات امری ضروری است. آسیب های وارده به اتصالات فلزی را می توان به آسیب های تیر، ستون، جوش، اجزا و چشمه اتصال و آسیب های وارده به اتصالات بتنی را به گسیختگی برشی، کمانش میلگرد طولی ستون و تیر، وجود درز سرد در محل اتصال و ... دسته بندی کرد.



راهکارهای مقاوم سازی اتصالات

بهبود اتصال خمشی بین ستون و تیر

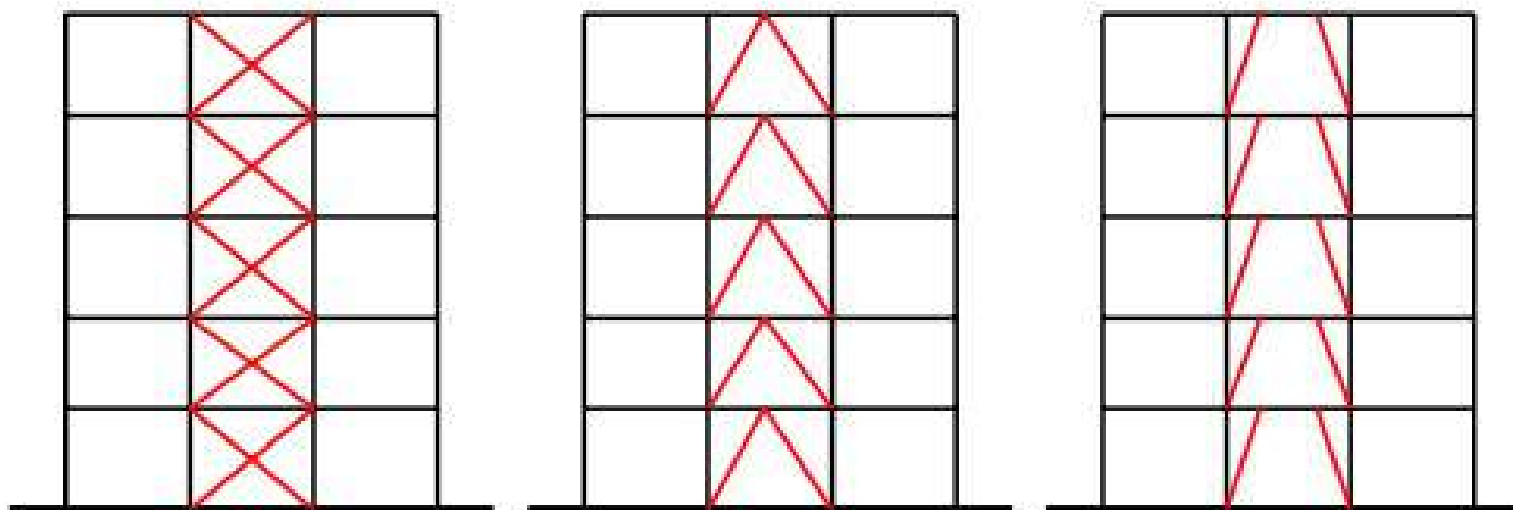
- **سطح مقطع کاهش یافته تیر RBS** در این روش ظرفیت خمشی تیر کاهش پیدا کرده ولی در مقابل مفصل پلاستیک با فاصله بیشتری نسبت به ستون شکل می گیرد و نیاز به جوش نفوذی کامل در اتصالات را کاهش می دهد.
- **ماهیچه جوش داده شده Welded Haunch** در این روش مفصل پلاستیک با فاصله بیشتری نسبت به ستون شکل می گیرد و ظرفیت باربری خمشی کامل تیر را حفظ می کند.
- **لچکی پیچ شده Bolted Bracket** در این روش مفصل پلاستیک با فاصله بیشتری نسبت به ستون شکل می گیرد و ظرفیت باربری خمشی کامل تیر را حفظ می کند.
- **استفاده از ورق پوششی بر روی بال تیر:** این روش نیاز کمتری به فضای اضافی دارد.



راهکارهای مقاوم سازی اتصالات

بهبود اتصال قاب مهاربندی شده

- به منظور عملکرد مناسب یک قاب خمشی مهاربندی شده، وجود اتصالات با ظرفیت باربری کافی بسیار حائز اهمیت می باشد. اتصالات با مقاومت و/یا شکل پذیری پایین برای ایجاد قاب با رفتار غیرالاستیک پایدار، مقاوم سازی و یا جایگزین می گردند.
- اتصالات انتهایی یک مهاربند معمولاً بر روی عناصر اتصال مضاعف (از جمله گاست پلیت ها) تکیه می کنند، اما مهاربندها ممکن است به طور مستقیم به تیر و ستون از طریق یک اتصال خمشی جوش داده شوند.



راهکارهای مقاوم سازی اتصالات

بهبود مقاومت و شکل پذیری عضو قاب مهاربندی شده

- به منظور حصول رفتار قاب شکل پذیر، تیرها، ستون ها و مهاربندی های با عملکرد ضعیف مقاوم سازی شده و یا با عضو جدید جایگزین می گردد.
- شکل پذیری مهاری مجود را می توان با استفاده از کاهش لاغری آن بهبود بخشید. برای این منظور می توان از روش هایی همچون کاهش طول مهار نشده، پرکردن فضاهای خالی با استفاده از بتن و یا افزودن سخت کننده های طولی استفاده نمود. طول غیر مهاری یک مهار را می توان با استفاده از افزودن اعضای مهاری ثانویه، که بخشی از سیستم باربر جانبی اصلی نمی باشند، کاهش داد. پرکردن فضا های خالی با استفاده از بتن می تواند از شدت کمانش موضعی بکاهد. افزودن سخت کننده های طولی حداقل پیچیدگی اجرایی را دارا می باشد. سخت کننده ها می توانند شامل ورق و یا مقاطع با زاویه کم باشند.

راهکارهای مقاوم سازی اتصالات

• مزایا و خصوصیات مقاوم سازی اتصال با FRP

اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی بتنی مسلح به علت قرارگیری اتصال تحت تنش‌های رفت و برگشتی زلزله جزء بحرانی ترین نقاط در عملکرد قاب بتن مسلح خمشی می‌باشد. لذا اصلاح عملکرد گره اتصال و مقاوم سازی آن باعث بهبود عملکرد کل سیستم و مقاوم سازی کل ساختمان خواهد شد. روش‌های متنوعی برای تقویت اتصالات به شرح زیر موجود می‌باشد که با توجه به معیارهای مختلف یک یا ترکیبی از آن‌ها برای بهبود عملکرد اتصال و تقویت آن در برابر زلزله انتخاب می‌شود:

• تزریق رزین اپوکسی در ژاکت فولادی اتصالات بتنی

• استفاده از طوق‌های پیش تنیده X شکل

• مقاوم سازی و تقویت اتصالات با استفاده از FRP

• نصب جاکت ورق فولادی در اتصالات بتنی

• ایجاد قفس فولادی در اتصالات بتنی

• پیش تنیدگی اتصالات

• ایجاد ژاکت بتنی در اتصالات

راهکارهای مقاوم سازی اتصالات

• مزایا و خصوصیات مقاوم سازی اتصال با FRP

با تقویت و مقاوم سازی اتصالات بتنی با FRP می‌توان ظرفیت خمشی و همچنین ظرفیت برشی اتصال ساختمان را افزایش داد. به علت دورگیری، بکارگیری این روش میزان شکل‌پذیری اتصال را نیز افزایش می‌دهد.

با استفاده از FRP می‌توان بدون افزایش ابعاد اتصال، مقاومت آن را افزایش داد. استفاده از تقویت اتصال بتنی با FRP، نسبت به روکش فولادی ارجح تر است، زیرا تقویت اتصال با FRP برخلاف فولاد دچار خوردگی نمی‌شود و می‌تواند در مقابل خوردگی اسیدها، بازها و مواد مهاجم مشابه در دامنه وسیعی از دما مقاومت کنند.

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

- مقاوم سازی پی ها، با اتصال صفحات حائل یا شمع ها به تیرهای فرعی بتن مسلح یا از طریق سیستم های مهاربندی و پیش تنیده ی میل مهار.
 - با استفاده از شمعک، حتی در فضاهای بسیار محدود و با استفاده از تجهیزات حفاری فشرده ساز.
 - استفاده از میل مهارها در هنگامی که وزن سازه جهت اطمینان از پایداری کافی برخوردار نباشد.
 - بهبود قابلیت زهکشی جهت جلوگیری از اشباع شدن خاک فونداسیون و رفع هرگونه مشکل روانگرایی که می تواند به علت زهکشی ضعیف اتفاق بیفتد.
- برای حل مشکل پی با خاکبرداری اطراف پی بجای خاک برداشت شده از مصالح پر کننده استفاده میشود. مصالح پر کننده میتواند بتن مگر، مصالح سنگی؛ مصالح رودخانه ای با تراکم بالای ۹۵٪ باشد. برای کنترل پانچ هر دو پی قدیم و جدید معیا کنترل قرار میگیرد و برای ظرفیت باربری و فولادگذاری خمشی سطح جدید معیار کنترل میباشد.

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• افزایش ابعاد شالوده

مراحل افزایش ابعاد شالوده جهت افزایش ظرفیت باربری فونداسیون عبارتند از:

- خالی کردن اطراف فونداسیون
- تمیز کردن و مضرس کردن سطح بتن
- کاشت میلگرد ریشه به فاصله ۲۵-۳۰ سانتی متری در هر دو جهت با استفاده از چسب سازه ای و کاشت
- مهار آرماتورهای جدید به میلگردهای ریشه با استفاده از سیم های فولادی. قطر و تعداد آرماتورها باید بر مبنای طراحی انتخاب گردد.
- استفاده از مصالح مناسب بر روی سطح شالوده به منظور اتصال مناسب بین بتن قدیم و جدید.
- اجرای بتن جدید قبل از خشک شدن مصالح پیوند دهنده. بتن جدید می بایست دارای افزودنی های کاهنده جمع شدگی باشد.

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• افزایش ابعاد شالوده



راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• افزودن شناژ به فونداسیون

در این روش مقاوم سازی با استفاده تکنیک اتصال فونداسیون ها به یکدیگر، کلیه فنداسیون در تحمل بارهای جانبی مشارکت می کند. به همین منظور شناژ بتنی در قالب دال اتصال بین پی های ستونی و پی زیر دیوار باربر قراردادده می شود.

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• تقویت از زیر پی

تکنیک تقویت از زیر پی عبارت است از مقاوم سازی فونداسیون یک ساختمان از طریق عمیق تر کردن آن و در نتیجه قرار گرفتن فونداسیون بر روی بستر خاک مقاوم تر. بهسازی فونداسیون به روش تقویت از زیر پی معمولاً در موارد زیر انجام می‌گیرد:

- در صورتی که در ساختمان نشست و یا ترک خوردگی مشاهده گردد، می‌توان نتیجه گرفت سیستم فونداسیون موجود توانایی لازم برای تحمل وزن ساختمان را ندارد.
- تغییر کاربری ساختمان موجود و در نتیجه افزایش بار وارد بر ساختمان در مقایسه با بار طراحی
- مشکلات به وجود آمده برای ساختمان موجود باعث احداث یک ساختمان جدید با فونداسیون عمیق تر در مجاورت آن

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• ترمیم بتن آسیب دیده

بتن را می‌توان یکی از پر کاربردترین مصالح در ساخت ساختمان نامید. بتن و ساختمان‌های بتنی در طول فرآیند بهره‌برداری و ساخت دچار آسیب و تخریب شده که ترمیم بتن را ایجاب می‌کند. انواع آسیب‌های رایج وارد بر بتن در ساختمان‌ها عبارتند از:

• ترک خوردگی در بتن

- کرموشدن بتن
- خوردگی بتن
- کنده شدن و آسیب‌های فیزیکی وارد بر سطح بتن

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• ترمیم بتن با استفاده از ملات تعمیر

ترمیم کننده پایه پلیمری بتن با گرانروی بالا، ملاتی با مقاومتی برابر یا بیشتر از مقاومت بتن پایه و دارای خاصیت گیرش سریع و چسبندگی مناسب با سطح بتن است. از ملات تعمیراتی بتن می‌توان برای ترمیم و تعمیر بتن در قسمت‌هایی که دچار آسیب و ضعف شده است استفاده نمود. ملات تعمیراتی بتن در دو نوع پایه سیمانی و پایه اپوکسی موجود می‌باشد که از آن‌ها برای تعمیر و ترمیم انواع سطوح و المان‌های بتنی و مقاوم سازی ساختمان‌ها استفاده می‌شود. با استفاده از انواع ملات تعمیراتی بتن قادر به ترمیم و تعمیر انواع آسیب‌های وارد شده به اعضای بتنی شامل آسیب‌های وارد شده ناشی از اجرا و بهره برداری نظیر کرموشدگی بتن و آسیب‌های وارد شده ناشی از شرایط محیطی مخرب هستیم.

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• تزریق رزین اپوکسی

ترک‌های موجود در بتن با توجه به اهمیت سازه و علل وقوع آن‌ها دسته بندی و تعمیر و بازسازی نمود. تزریق رزین اپوکسی تحت فشار به منظور ترمیم ترک خوردگی در عضو بتنی، از جمله روش‌های مقاوم سازی کاربردی می‌باشد.

مراحل ترمیم بتن ترک خورده به روش تزریق به شرح زیر است:

•الگو گذاری و مشخص کردن محل سوراخ‌ها

•سوراخ کاری محل‌های مشخص شده در مرحله قبل

•نصب نیپل‌ها و پکرها

•انجام عملیات تزریق با پمپ تزریق

راهکارهای مقاوم سازی شالوده و پی

• تزریق رزین اپوکسی

ترک‌های موجود در بتن با توجه به اهمیت سازه و علل وقوع آن‌ها دسته بندی و تعمیر و بازسازی نمود. تزریق رزین اپوکسی تحت فشار به منظور ترمیم ترک خوردگی در عضو بتنی، از جمله روش‌های مقاوم سازی کاربردی می‌باشد.

مراحل ترمیم بتن ترک خورده به روش تزریق به شرح زیر است:

- الگو گذاری و مشخص کردن محل سوراخ‌ها
- سوراخ کاری محل‌های مشخص شده در مرحله قبل
- نصب نیپل‌ها و پکرها
- انجام عملیات تزریق با پمپ تزریق

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• الحاق دیوار برشی

در روش مقاوم سازی الحاق دیوار برشی به سازه بتنی یا فولادی می توان سختی سازه را تغییر داده و علاوه بر بالا بردن ظرفیت تحمل بارهای ثقلی، ظرفیت تحمل بارهای جانبی ناشی از زلزله را نیز افزایش داد.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• الحاق دیوار برشی

مقاوم سازی با اضافه نمودن دیوار برشی سختی خمشی و برشی سازه را افزایش داده و موجب مستهلک سازی نیروی وارد بر ساختمان و جلوگیری از تغییر شکل اجزای سازه ای می گردد. از میان دو نوع دیوار برشی بتنی و فولادی، نوع فولادی آن به دلیل ابعاد کمتر و در نتیجه تاثیر کمتر در معماری سازه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

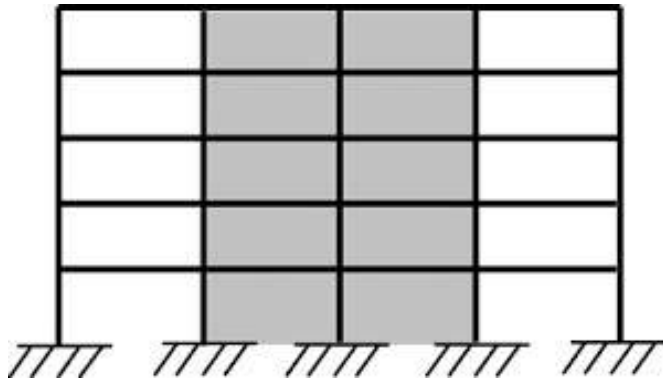


بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• دیوار برشی فولادی یا بنایی

ساختمان های قاب خمشی که توانایی کافی برای مقاومت در برابر بارهای جانبی را نداشته و یا برای کنترل کردن تغییر مکان نسبی بسیار منعطف می باشند را می توان با استفاده از افزودن دیوارهای برشی مقاوم سازی نمود. دیوارهای برشی می توانند به عنوان یک سیستم جدید باربر جانبی به تنهایی استفاده شوند یا با قاب های خمشی ترکیب گردند.

دیوارهای برشی می توانند سختی و مقاومت قابل توجهی را به سازه اضافه کنند. در صورتی که تیرها و ستون های موجود در ساختمان توانایی باربری در سیستم قاب قاب مهاربندی شده را نداشته باشند، دیوارهای برشی می توانند به عنوان یک جایگزین برای قاب های مهاربندی شده در نظر گرفته شوند. با استفاده از قالب های متعارف می توان دیوارهای برشی بتنی را اجرا کرد و همچنین در صورتی که کادراجرایی با مهارت برای اجرای دیوار شاتکریت در دسترس باشند می توان از شاتکریت استفاده کرد. هرچند دیوارهای برشی بنایی در برابر نوع بتنی از مقاومت کمتری برخوردار می باشند پر کردن حفرات سلولی با ملات و دوغاب بدون نیاز به قالب بندی از مزایای آن می باشد.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• افزودن بادبند

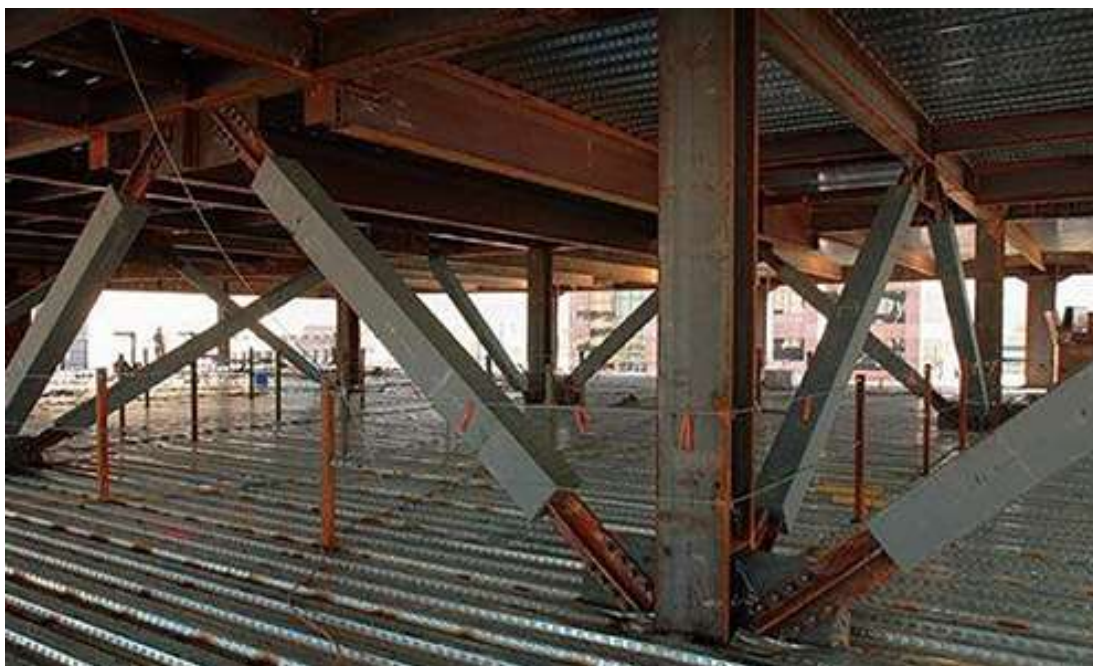
اضافه نمودن مهاربند فولادی برای مقاوم سازی ساختمان بتنی، افزایش سختی، کاهش نیاز به شکل پذیری و افزایش مقاومت برشی سیستم را به همراه خواهد داشت. عموماً استفاده از سیستم‌های مهاربندی واگرا (EBF) در مقاوم سازی و تقویت ساختمان های بتنی به دلیل پرهزینه بودن و مشکلات موجود در اجرا و تأمین جزییات تیر پیوند مرسوم نمی‌باشد اما انواع سیستم‌های مهاربندی همگرا می‌توانند در این نوع بهسازی و تقویت سازه‌های بتنی و فولادی مورد توجه قرار گیرند.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• افزودن بادبند

بادبندها یا مهاربندها اجزایی کارآمد هستند که به صورت مورب در قابل های سازه ای اجرا شده و مقاومت سازه در برابر بارهای جانبی را تا حد محسوسی افزایش می دهند. طراحی مهاربند در واقع از ساختار مثلث الهام گرفته شده است. همانند مثلث که اگر خطوط تشکیل دهنده آن تغییر طول ندهند، زوایای بین آنها همواره ثابت می ماند، در صورتی که مهاربند نیز به یک تکیه گاه ثابت متصل شود، در برابر نیروهای خارجی همچون زمین لرزه های شدید مقاومت بسیار خوبی از خود نشان می دهد. این همان خاصیتی است که در اجزای خربایی نیز وجود دارد.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• مقاوم سازی با استفاده از مهاربند کمانش تاب BRB

فناوری مقاوم سازی با استفاده از مهاربند کمانش تاب (Buckling Restrained Brace) به عنوان یکی از سیستم های شکل پذیر لرزه ای در کشورهای زلزله خیز دنیا، به صورت گسترده ای بکار برده می شود. این مهاربندها از یک هسته مرکزی و پوشش پیرامونی تشکیل یافته اند. هسته این بادبندها باید به گونه ای طراحی شود که هم در فشار و هم در کشش به مرحله تسلیم برسد.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• الحاق دیوار یا افزودن مهاربند؟!

به علت سختی بیشتر دیوار برشی نسبت به بادبند، تعداد دهانه های لازم برای تعبیه دیوار برشی کمتر از دهانه های لازم برای بادبند است که در نتیجه مشکلات کمتری در زمینه معماری به وجود می آورد. هزینه مقاوم سازی با استفاده از دیوار برشی به علت نیاز به حجم بالای آرماتوربندی، سوراخ کاری و کاشت میلگرد روش بسیار گران قیمتی است اما تاثیر این روش در مقاوم سازی برخی ساختمان ها به قدری مناسب است که هزینه بالای این روش را جبران می کند.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• روش های تقویت ساختمان های بتن مسلح با استفاده از بادبند فلزی:

- استفاده از یک قاب فلزی مخصوص، جهت نصب بادبند یا پانل فلزی که این قاب به قاب بتنی مسلح متصل می شود.
- این روش نیز مانند حالت اول بوده با این تفاوت که قاب فلزی مخصوص وجود ندارد.
- بادبند مستقیماً به وسیله بِلِت و جوش به قاب بتن مسلح اتصال می یابد که این روش را روش اتصال مستقیم می خوانند.
- برای اتصال بادبند یا پانل فلزی به قاب بتن مسلح، از ملات یا بتن و میلگرد اتصال که در بدنه قاب نصب شده استفاده می شود. این روش را روش غیر مستقیم می نامند.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• اضافه کردن قاب خمشی

تکنیک اضافه کردن قاب خمشی جهت رفع مقاومت و یا سختی موضعی و یا کلی ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش معمولاً قاب‌های خمشی فولادی بلافاصله در مجاورت تیرها و یا ستون‌های موجود و یا نزدیکی باز شو طبقه اول قرار داده می شود. قاب‌های خمشی در مکان‌های غیر از موارد اشاره شده و یا طبقات بالاتر از طبقه اول قرار داده نمی شود.

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• مقاوم سازی با کاشت میلگرد و آرماتور

مقاوم سازی با کاشت میلگرد و آرماتور یک از کاربردی ترین و اقتصادی ترین روش ها در سازه های بتنی برای تقویت فونداسیون، تیر و ستون، اصلاح خطاهای اجرایی، طراحی و ایجاد تغییرات دلخواه است. مقاوم سازی با کاشت میلگرد و آرماتور نیازمند دانش بالا، نیروی متخصص و همچنین مصالح با کیفیت می باشد. باید توجه داشت که طریقه اجرای کاشت میلگرد به نحوی باشد تا همواره مقاومت کششی نسبت به مقاومت کششی میلگرد مقدار بیشتری باشد و با بکارگیری چسب های با کیفیت به اتصال هرچه بیشتر میلگرد به بتن کمک نماید.

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• مقاوم سازی با کاشت میلگرد و آرماتور



ضوابط کاشت میلگرد در بتن تابع نتیجه نهایی آزمایشات و بررسی های به عمل آمده بر اساس آیین نامه های مربوطه و نیز الزامات شرکت های تولیدکننده انکرهای شیمیایی بوده و خود شامل بخش هایی است که بایستی یکی پس از دیگری اعمال گردند تا این فعالیت به بهترین نحو صورت پذیرد. هزینه مقاوم سازی با کاشت میلگرد به عوامل متعددی همچون عمق کاشت، نوع کاشت، نوع چسب استفاده شده، عمق سوراخکاری در بتن و شرایط کاشت وابسته است.

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• جداساز لرزه ای در بهسازی ساختمان

مقاوم سازی با استفاده از جداسازی لرزه ای یکی از روش های نوین مقاوم سازی در برابر زلزله است که هدف اصلی آن کاهش مقدار انرژی و نیرویی است که در اثر زلزله به سازه منتقل می شود. در این روش، سازه بر روی تکیه گاه هایی که قابلیت تغییر شکل جانبی زیادی دارند قرار می گیرد.

در واقع جداگرهای لرزه ای با جداکردن نیروی حرکتی از زمین به سازه اصلی عمل می کنند و در تراز پایه ساختمان نصب می شوند. استفاده از جداگرهای لرزه ای موجب کاهش هزینه اجرای سازه به دلیل استفاده از مقاطع با ظرفیت کمتر می گردد.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• جداساز لرزه ای در بهسازی ساختمان



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• جداساز لرزه ای در بهسازی ساختمان

نصب جداسازهای لرزه ای در تراز پایه ساختمان، با هدف جداسازی حرکتی بین سازه و زمین صورت می گیرد.

جداسازهای لرزه ای، المان هایی هستند که سختی جانبی آنها نسبت به سختی محوری شان بسیار کمتر می باشد، لذا با وقوع زلزله، این المانها میبایستی مانع انتقال نیرو به سازه-ی اصلی شوند و سازه ی اصلی یک حرکت صلب را در حین وقوع لرزه های زمین تجربه نماید.

عملکرد جداسازها فقط در محدوده خاصی از جرم و ارتفاع سازه مطلوب است، لذا این روش بصورت خیلی محدود و فقط برای ساختمانهای دارای وزن و ارتفاع مشخصی موثر بوده و به همین دلیل کمتر از سایر روش ها در جهان مورد استقبال مهندسين قرار گرفته و در پروژه های بسیار کمی کاربرد دارد.

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• میراگر در بهسازی ساختمان

ساختمان‌های بلندمرتبه نیازمند راهکارهای مقاوم سازی بهینه تری می‌باشند. میراگرها عبارتند از جاذب‌های انرژی وارد شده به ساختمان شما. دمپر ها که در محل‌های از پیش تعیین شده در ساختمان قرار داده می‌شود نیروهای زمین لرزه را به خود جذب کرده و از آسیب وارده به ساختمان و در برخی موارد فروپاشی آن جلوگیری می‌کند.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

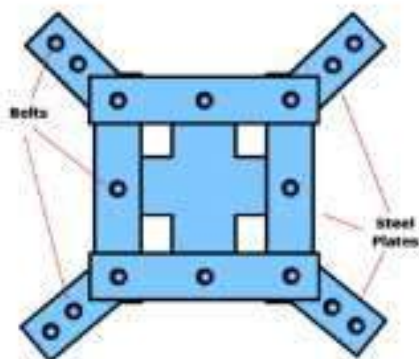
• میراگر در بهسازی ساختمان

میراگرها ((Dampers، سیستم های مستهلک کننده یا جاذب انرژی هستند که بر پایه افزایش میرایی ضریب ساختمان بنا شده اند. مهم ترین تاثیر میرایی، کاهش دامنه نوسان و پاسخ ساختمان نسبت به نیروهای وارده می باشند و بدین ترتیب میراگرها قسمت عمده ای از انرژی ارتعاشی را به هدر می دهند. اتلاف کننده های انرژی یا همان دمپر ها، ممکن است در مهاربندی ها، اتصالات و اجزای غیر سازه ای و یا دیگر مکانهای مناسب در ساختمانهای موجود قرار داده شوند، لیکن ساده ترین و پرکاربردترین آنها، استفاده از میراگر در مهاربندها می باشد که می توان از آنها در تمامی طبقات ساختمان استفاده کرد. در روشهای کنترل غیر فعال سازه نظیر استفاده از میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک، جذب انرژی حاصل از حرکات زمین توسط این مستهلک کننده ها صورت گرفته و به سیستم سازه اجازه داده نمی شود که وارد ناحیه غیر خطی گردد. این امر موجب می شود که مقاومت سازه در برابر زلزله های با دوره بازگشت طولانی تر، بیشتر شود یا به عبارت دیگر، احتمال ریزش ساختمان در برابر این زلزله ها کاهش یابد.

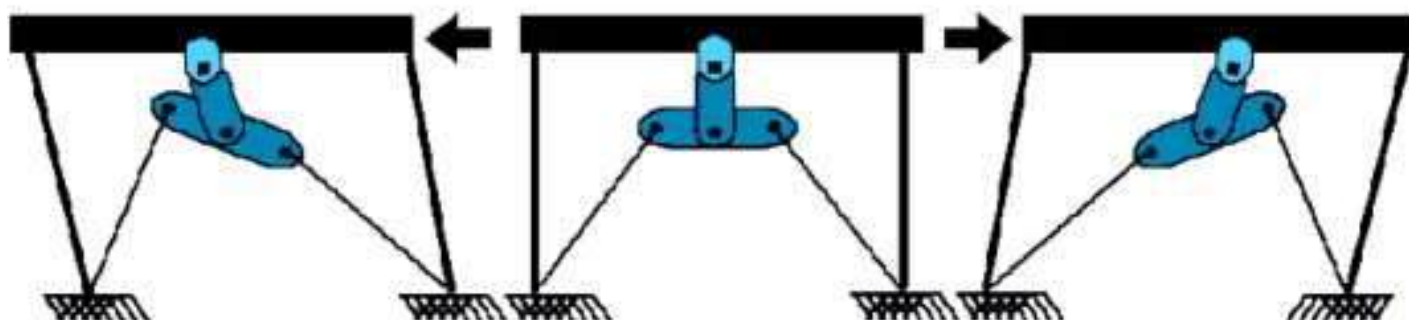
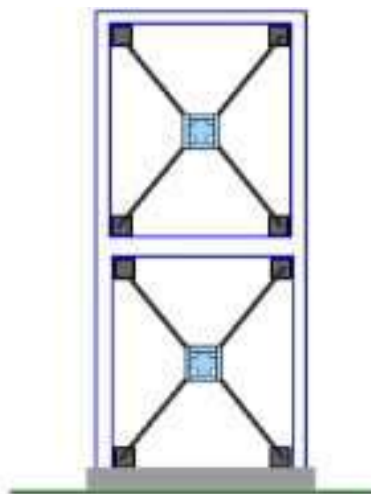
در برخی از انواع میراگرها ملاحظات زیبایی نیز در نظر گرفته می شود تا چنانچه بصورت نمایان بکار برده شوند، مشکلی از لحاظ معماری ایجاد ننمایند.

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

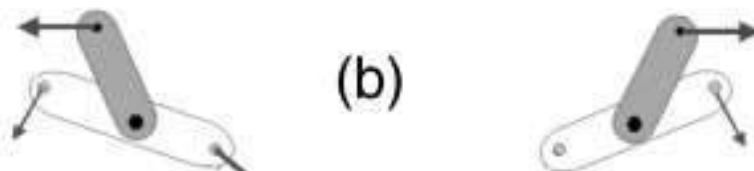
• میراگر در بهسازی ساختمان



(a)



(b)



Friction damper device

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

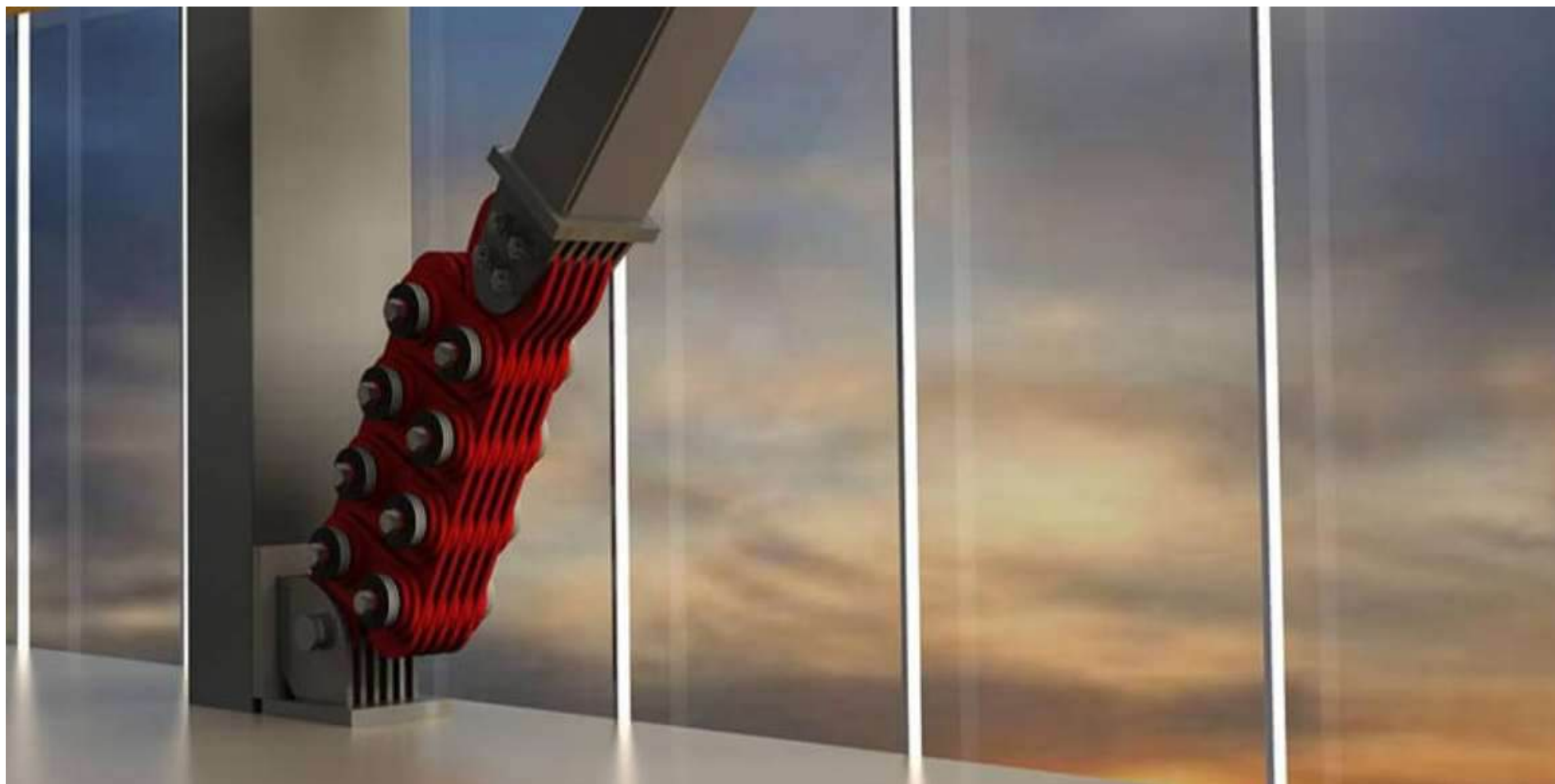
• میراگر در بهسازی ساختمان



021-22096227

بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• میراگر در بهسازی ساختمان



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• میراگر در بهسازی ساختمان



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

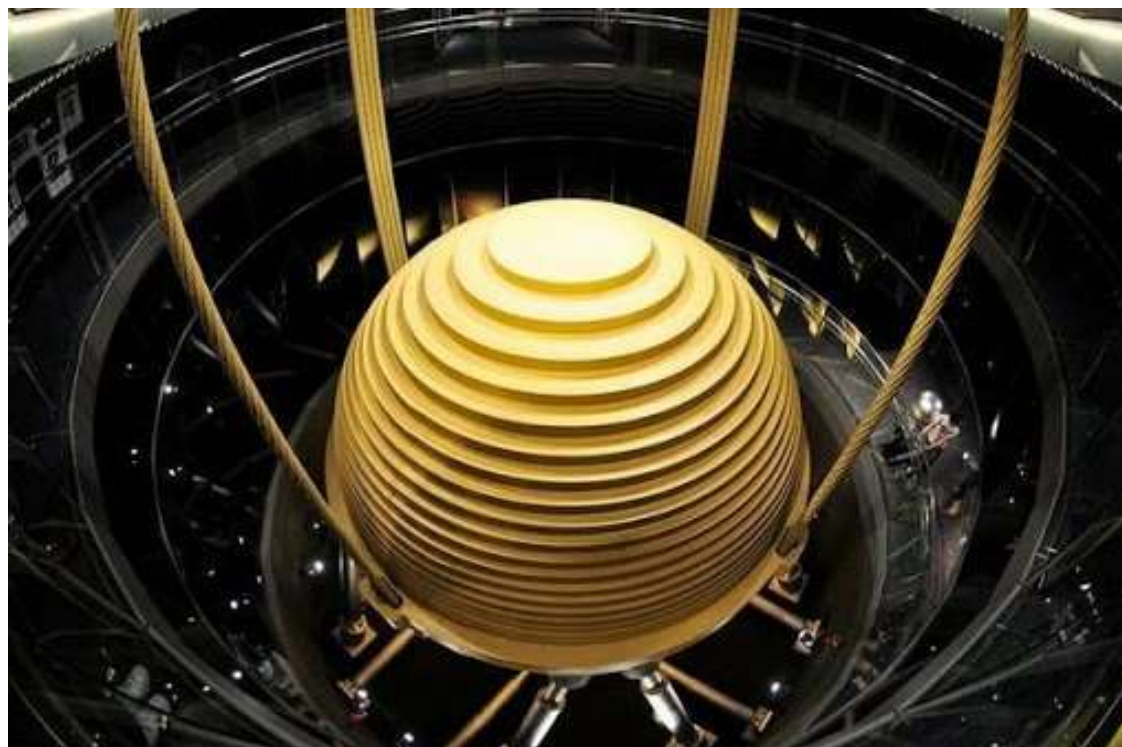
• میراگر در بهسازی ساختمان



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• مقاوم سازی ساختمان با استفاده از جرم های متمرکز پاندولی (میراگر جرمی)

این میراگرها در بام و یا کف یک یا چند طبقه ساختمان نصب می شوند و ساختار آن از سه پارامتر اصلی جرم، استهلاک و سختی تشکیل شده اند. این میراگرها از نوع میراگرهای غیرفعال هستند از این رو می توان آن را به عنوان ابزاری جهت مقاوم سازی نیز به کار برد.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• افزودن دیوار پشت بند خارجی

ساختمان را می توان به وسیله ی افزودن پشت بند در یک یا دو طرف آن در برابر نیرو های لرزه ای افقی پایدار کرده و به وسیله ی این روش تقویت و مقاوم سازی از انتقال نیرو ها به فونداسیون اطمینان حاصل کرد.

اجرای پشت بند
خارج از ساختمان
بدون ایجاد اختلال در فعالیت ها
مزیت این روش می باشد.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

• بادبند های متقاطع فولادی

در این روش، نیروهای جانبی وارد بر ساختمان در هنگام زلزله بوسیله ی بادبند ها با توزیع یکنواخت تری به المان های مهاري عمودی منتقل می شوند.



بهسازی سیستم سازه ای ساختمان

- مقاوم سازی موضعی اجزای ساختمان



بهسازی خاک

- اولین قسمتی که مهندسان عمران برای احداث یک سازه با آن در ارتباط هستند، بستر می باشد. لذا شناخت انواع خاکها و تثبیت آنها با مصالح مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. بهسازی خاک عبارتست از مناسب سازی شرایط ژئوتکنیکی خاک جهت احداث یک سازه مورد نظر در آن متناسب با شرایط فنی سازه.
- روش های مختلف بهسازی خاک، با توجه به اهمیت پروژه، جنس خاک اولیه، دسترسی محلی به مصالح، فاکتورهای زیست محیطی و ... انتخاب می شوند. بهسازی خاک در خاک های ریزدانه، خاک های منبسط شونده، خاک های رمبنده و خاک های نرم و شل که مهم ترین خاک های مشکل ساز در پروژه های عمرانی هستند بیشتر مدنظر قرار می گیرد.
- مهم ترین و متداول ترین روش های بهسازی خاک و تثبیت آن عبارتند از: تراکم سطحی، تراکم دینامیکی، پیش فشردگی از طریق پیش بارگذاری، میکروپایل و تسلیح خاک (مانند شمع ها و سپرها، میل مهارها).

بهسازی خاک



مقاوم سازی خاک به روش میکروپایل

عیب یابی تا مقاوم سازی ساختمان

- ۱- بررسی اولیه
- سال ساخت ساختمان
 - نوع سازه ساختمان
 - شرایط محیطی
 - در دسترس بودن تمامی نقشه ها

۲- شناخت نقاط ضعف ساختمان

- **مرحله اول:** تشخیص و عیب یابی اولیه یک ساختمان با تعداد دیوارهای به نسبت زیاد
- **مرحله دوم:** به کار گیری روش های تشخیص و عیب یابی پایه که بر اجزای سازه ای همچون ستون ها و دیوارها متمرکز می باشد.
- **مرحله سوم:** تشخیص و عیب یابی دقیق که مقاومت تیر را در مقایسه با ستون ها و دیوارها مورد بررسی قرار می دهد.

۳- انتخاب طرح مقاوم سازی

بر مبنای نتایج بدست آمده از مرحله قبل، پایداری و عملکرد لرزه ای ساختمان به صورت جامع سنجیده شده و بهینه ترین روش مقاوم سازی برای یک ساختمان پیشنهاد می گردد.

۴- اجرای طرح مقاوم سازی

مقاوم سازی سازه های غیر ساختمانی

روش های مقاوم سازی پل

- استفاده از الیاف و نوارهای FRP برای تقویت تیرها، ستون ها و عرشه پل
- استفاده از میلگرد FRP
- استفاده از انواع میراگر و جداگرهای لرزه ای
- روش های سنتی مقاوم سازی ، پل ها شامل تقویت با بتن، فولاد و مواد کامپوزیتی



نمونه ای از پایه ی آسیب دیده ی پل

مقاوم سازی سازه های غیر ساختمانی

روش های مقاوم سازی تونل

- استفاده از راک بولت و میل مهار
- استفاده از شاتکریت بتنی
- دیواره ها و سقف تونل با استفاده از الیاف و ورق های FRP
- تونل به روش تزریق اپوکسی
- استفاده از ورقه های فولادی



مقاوم سازی سازه های غیر ساختمانی

مقاوم سازی باند فرودگاه

از آنجایی که فرودگاه ها یکی از مهم ترین زیرساخت های کشور می باشند، مقاوم سازی باند فرودگاه ها از اهمیت بالایی برخوردار است، با این حال چندان مورد رسیدگی قرار نگرفته و بعد از بروز حادثه مورد ترمیم قرار می گیرند. علاوه بر تقویت سازه های فرودگاه، باند فرودگاه نیاز به نگهداری، ترمیم و زهکشی مناسب دارد. توجه به جایگاه مخازن سوخت و استفاده از پوشش های ضد حریق در این محدوده ها نیز باید مورد توجه قرار گیرد.



باند آسیب دیده فرودگاه

مقاوم سازی سازه های غیر ساختمانی

مقاوم سازی خط راه آهن

مقاوم سازی خطوط راه آهن به دلیل اینکه در نواحی که دارای خاک های ریزدانه هستند، فشار آب منفذی اضافی، ظرفیت باربری زهکشی نشده خاک را به طور موثری کاهش می دهد و این امر منجر به کاهش ایمنی و پایداری خط آهن می شود، مورد توجه قرار گرفته است. امروزه در سراسر جهان روش های متعددی جهت مقاوم سازی بستر خطوط راه آهن مورد استفاده قرار می گیرند، مانند تعویض کردن خاک بستر با مصالح مرغوب، استفاده از ژئوسنتتیک ها، استفاده از زهکش های سطحی و استفاده از ستون های سیمانی؛ که از این میان استفاده از ژئوسنتتیک ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این مواد نقش فیلتراسیون، جداکننده، زهکش و تسلیح کننده را دارند.

مقاوم سازی سازه های غیر ساختمانی

ترمیم و مقاوم سازی لوله و مخازن

ترمیم و مقاوم سازی لوله ها و مخازن به دلیل اهمیت بالای سیالات منتقله توسط آنها (مانند نفت، گاز، آب و فاضلاب) از جایگاه ویژه ای برخوردار است. به طور کلی عوامل اصلی موثر بر خرابی لوله ها و مخازن دو عامل زمین شناختی و اجرایی می باشند. یکی از راهکارهای مهم کاهش خسارات در شبکه، مقاوم سازی و طراحی شبکه، خطوط انتقال و تأسیسات با رعایت ریسک پذیری زلزله و بالابردن سطح عملکرد لرزه های شبکه و تأسیسات می باشد. یکی از راهکارهای مقاوم سازی مخازن فولادی، استفاده از محصولات کامپوزیتی پلیمری FRP می باشد.



مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای

ترمیم و دوخت ترک

ترک خوردگی و پوکیدن پوشش بتن به دلیل خوردگی آرماتور و افزایش حجم آنها و در نتیجه ایجاد فشار انبساطی در بتن اطراف آرماتور به وجود می آید. با متلاشی شدن پوشش بتنی، مقاومت پیوستگی به شدت کاهش و خوردگی افزایش می یابد و در پی آن عمر مفید سازه پایان می یابد.

یکی از ساده ترین و بادوام ترین روش های تعمیر ترک، دوخت ترک می باشد. در این روش حفره هایی در ابتدا و انتهای ترک حفر شده و به صورت محکم بسته می شوند، سپس ملات گروت یا اپوکسی در ابتدا و انتهای ترک تزریق می شود. هزینه مقاوم سازی به روش دوخت ترک به دلیل در دسترس بودن مصالح مورد نیاز و نیز اجرای راحت آن، بسیار پایین است.

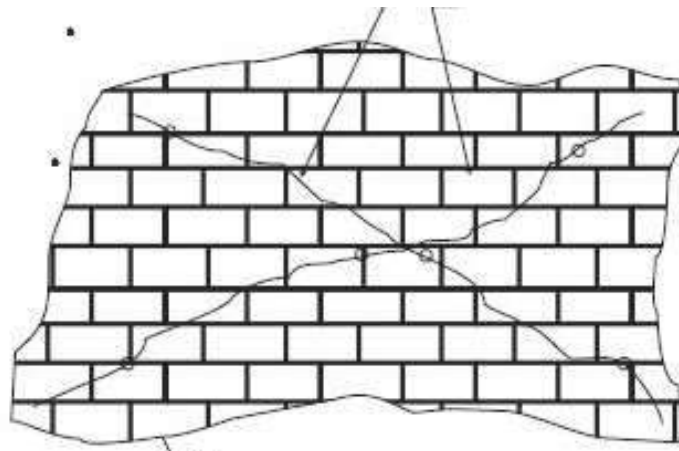


مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای

ترمیم و دوخت ترک ریز

در صورتی که ترک ها به صورت معقولانه کوچک باشد (عرض بازشدگی ترک برابر با ۰.۰۷۵ سانتی متر)، تزریق پرفشار اپوکسی روش مورد استفاده جهت مقاوم سازی و بازگرداندن مقاومت کششی اولیه عضو ترک خورده می باشد.

در این روش تعمیر و مقاوم سازی، سطوح خارجی از مصالح غیر سازه ی پاکسازی شده و دریچه های تزریق پلاستیک به فاصله برابر با ضخامت عضو در طول ترک ها در هر دو سمت عضو قرار داده شده و در ادامه رزین اپوکسی با ویسکوزیته پایین جهت ترمیم ترک و مقاوم سازی سازه به داخل دريچه تزریق می گردد. تزریق تا زمانی که رزین از دريچه ی دیگر و در سمت مخالف یا دريچه بالایی بعدی در همان سمت خارج شود باید ادامه پیدا کند. دريچه تزریق در این مرحله بسته شده و دستگاه تزریق به دريچه بعدی منتقل می گردد و این مراحل همین صورت ادامه پیدا کرده تا تقویت و مقاوم سازی کامل شود. این روش مقاوم سازی برای تمامی المان ها سازه ای مناسب می باشد.

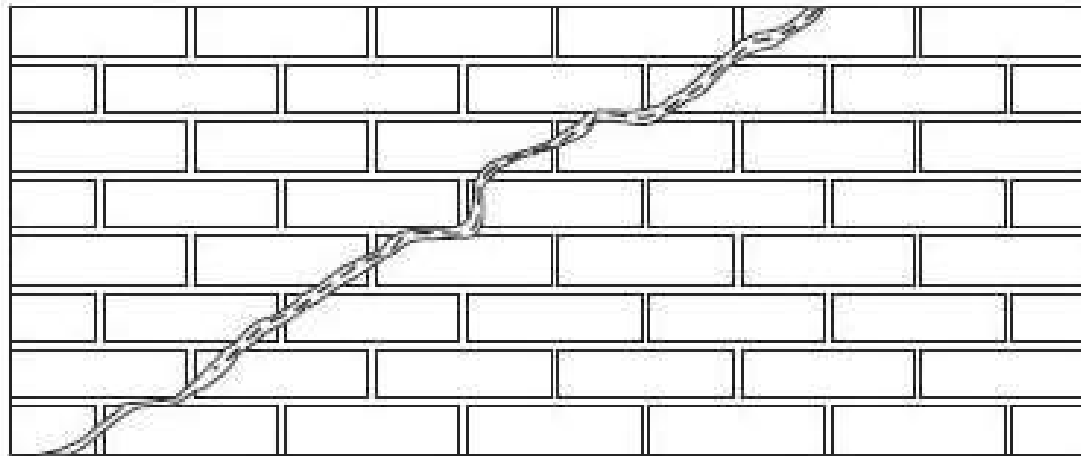


مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای

ترمیم و دوخت ترک درشت

ترمیم ترک های درشت و بتن تخریب شده برای ترک های عریض تر از ۶ میلیمتر و مناطقی که در آن ها بتن یا مصالح بنایی تخریب شده باشد، به جای تزریق روش دیگری جهت ترمیم و مقاوم سازی سازه وجود دارد. در این حالت فرآیند زیر باید اتخاذ گردد: مصالح سست برداشته شده و با مصالحی همچون ملات سیمان منبسط شونده یا ملات گچ سیمان جایگزین می گردد.

در صورت نیاز، جهت مقاوم سازی باید آرماتورهای برشی و خمشی اضافی تعبیه گردد. این آرماتورها را می توان با ملات به مانند پوشش بر روی میلگرد و برای افزایش مقاومت پوشاند. در مناطق با میزان آسیب دیدگی بسیار بالا جایگزینی تمام عضو یا بخشی از آن می تواند صورت گیرد. در موارد مربوط به آسیب دیدگی دیوارها و کف ها، مش های فولادی را می توان در سطح خارجی تعبیه و سپس به دیوار متصل کرد. در ادامه می توان سطح مورد نظر را با بتونه یا سطح نازکی از بتن پوشاند.



مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای

مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای ساختمان به دلیل آسیب پذیری و خرابی گسترده آنها در هنگام وقوع زلزله و در پی داشتن صدمات بالای اقتصادی و جانی در دستور کار بسیاری از کشورهای پیشرفته دنیا قرار گرفته است. اجزای غیرسازه ای ساختمان (مانند اجزای معماری، مکانیکی، مخابراتی و ...) شامل همه اجزای داخل ساختمان به جز اجزای سازه ای (ستون، تیر، سقف، دیوار، پی) هستند.

مهم ترین روش های مقاوم سازی اجزای غیرسازه ای:

- تعمیر و یا تقویت خود جزء
- تقویت و یا افزودن مهارها یا اتصالات جز به سازه
- جداسازی لرزه ای جزء
- جایگزین نمودن جزء غیرقابل بهسازی با جزء مناسب

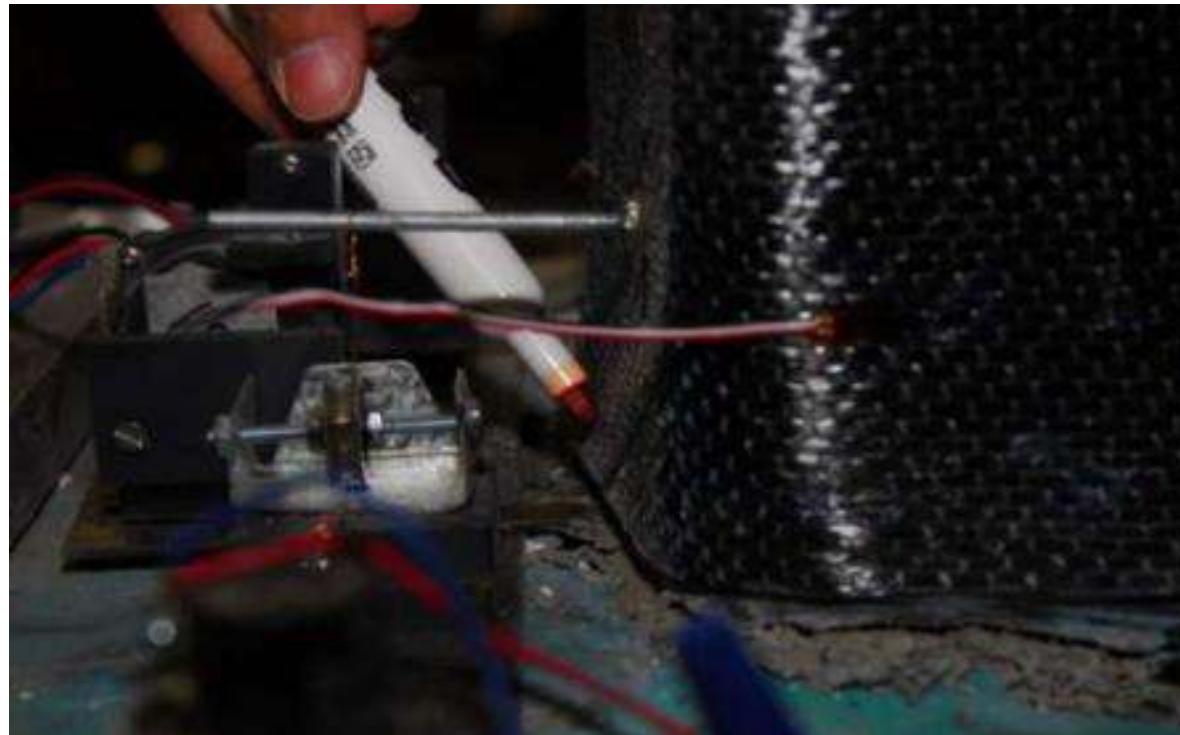
ترکیب روش های مقاوم سازی:

از ترکیب چند روش فوق نیز می تواند برای مقاوم سازی استفاده نمود. در مقاوم سازی پروژه هتل بزرگ آزادی از ترکیب روش مقاوم سازی با FRP در ترکیب بادبند و دمپر (میراگر) استفاده شده است. در پروژه موزه دگتر شریعتی روش افزایش سختی با اضافه نمودن دیوار برشی و تقویت دیوارهای بنایی به روش مقاوم سازی با FRP بکار رفته است. همچنین در پروژه مصلی تهران از ترکیب روش های ژاکت فلزی و افزایش ابعاد دیوار برشی برای مقاوم سازی استفاده شده است. نکته جالب اینکه در پروژه مصلی بزرگ تهران بیش از دویست هزار مورد کاشت بولت و کاشت میلگرد انجام شده ولی هیچ موردی روش مقاوم سازی با FRP بکار نرفته است.

آزمایش های FRP:

استفاده از الیاف FRP روش بسیار مناسبی برای ترمیم و تقویت سازه های بتنی در مباحث مقاوم سازی در شرایط محیطی مختلف از جمله شرایط محیطی مهاجم خوردنده می باشند. این الیاف استحکام کششی و مدول الاستیسته بسیار بالایی نسبت به مصالح دیگر در مقایسه با وزن خود دارند. با توجه به کاربرد بسیار مفید، حساس و گسترده الیاف FRP، باید کنترل هایی بر کیفیت این محصولات قبل و بعد از اجرا صورت گیرد تا از عملکرد صحیح این الیاف اطمینان پیدا کنیم. لذا شایسته است که طبق استاندارد ها و نشریه های بین المللی FRP معتبر آزمایشاتی را انجام بدهیم.

از جمله آزمایشاتی که قبل از اجرای مقاوم سازی صورت می گیرد آزمایش مقاومت کششی الیاف FRP می باشد. این تست برای بدست آوردن ظرفیت نیروی کششی و کرنش کششی نهایی صورت می گیرد. نتایج بدست آمده از این آزمایش برای تعیین مشخصات مصالح، کنترل کیفیت و تضمین، طراحی و تحلیل و ... مورد استفاده قرار می گیرد. این تست طبق استاندارد ASTM D3039 انجام می پذیرد.



آزمایش های FRP:

آزمایش مهم دیگری که بعد از اجرای ورقه های CFRP و GFRP جهت کنترل کیفیت و تضمین اجرای تقویت و مقاوم سازی سازه صورت می گیرد آزمایش Pull off می باشد. تست Pull off در مقاوم سازی با FRP برای کنترل کیفیت و یکپارچگی در عملکرد، ناشی از چسبندگی مناسب سیستم FRP به سطح صورت می گیرد.



آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

جمهوری اسلامی ایران
ریاست جمهوری
معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی

راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود

ساختمان های فولادی

نشریه شماره ۱-۳۶۳

معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mporg.ir>

۱۳۸۷

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

شناخت وضع موجود

هدف از شناخت وضع موجود ساختمان، گردآوری اطلاعات لازم برای مدل سازی، تحلیل و ارزیابی رفتار لرزه ای ساختمان است. این کار می تواند با دقت های متفاوت و صرف زمان و هزینه متناسب صورت گیرد. بدین ترتیب انجام مطالعات شناخت وضع موجود در سطوح متفاوت، بر اساس گستره ی اطلاعاتی که جمع آوری می شود، امکان پذیر خواهد بود. این سطوح به ترتیب افزایش دقت و گستره، به سطح اطلاعات حداقل، سطح اطلاعات متعارف و سطح اطلاعات جامع موسوم هستند.

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

مراحل شناخت وضع موجود:

بازدید از محل و آشنایی اولیه با ساختمان؛

جمع آوری مدارک فنی و اطلاعات کلی ساختمان؛

تعیین هدف بهسازی؛

تعیین سطح اطلاعات مورد نظر و ضریب آگاهی؛

بازرسی وضعیت موجود، شناسایی مشخصات مصالح و آزمایش ها؛

تحلیل خطر زلزله و تهیه ی طیف طراحی.

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

بازدید از محل و آشنایی اولیه با ساختمان:

• وضعیت ظاهری ساختمان؛

• کیفیت نگهداری ساختمان در مدت بهره برداری؛

• امکان انجام عملیات بهسازی احتمالی ساختمان در زمان های مختلف؛

• وضعیت ابنیه ی مجاور از نظر نوع، فاصله و تراز طبقات و همچنین بررسی وجود

اجزای مشترک بین دو ساختمان و آثار احتمالی ناشی از آسیب ساختمان مجاور؛

• موانعی که ساختمان های مجاور می توانند در انجام عملیات بهسازی ایجاد کنند؛

• وضعیت زمین اطراف ساختمان از نظر جنس و وضعیت آب های زیرزمینی، با توجه به

سوابق قابل مشاهده محلی مانند گود برداری های اطراف؛

• وضعیت شیب زمین، وجود شیروانی، امکان زمین لغزش، امکان وقوع پدیده ی

روانگرایی و

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

جمع آوری مدارک فنی و اطلاعات کلی ساختمان:

برای انجام مطالعات آسیب پذیری ساختمان های موجود، لازم است کلیه ی مدارک فنی و مستندات طراحی، اجرا و ترمیم که در دسترس هستند، جمع آوری و طبقه بندی شود. همچنین وضعیت ساختمان به لحاظ موقعیت جغرافیایی و لرزه خیزی و کاربری پیشین و آینده ی آن و قوانین و استانداردهایی که در طراحی و اجرای آن به کار رفته و مقرراتی که در حال حاضر بر ارزیابی و بهسازی آن حاکم است، مشخص شود. برای این منظور جمع آوری و دسته بندی اطلاعات می تواند مطابق جدول (۱-۱) چک لیست نمونه در پیوست شماره دو، صورت گیرد.

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

تعیین هدف بهسازی:

برنامه ریزی مطالعاتی برای شناخت وضع موجود ساختمان بر اساس هدف بهسازی تعیین شده، صورت می گیرد. مشاور باید در پیشنهاد هدف بهسازی، نظیر موارد زیر را مد نظر قرار دهد:

۱- کاربری ساختمان؛

۲- میزان اهمیت ساختمان؛

۳- عمر باقیمانده ی مورد انتظار ساختمان؛

۴- وضعیت، کیفیت و میزان اهمیت اجزای غیرسازه ای؛

۵- ملاحظات اقتصادی و اجتماعی و خواسته های کارفرما.

هدف بهسازی که میزان دقت و گستره ی مطالعات تحلیلی را تعیین می کند، بر اساس سطح خطر و سطح عملکرد ساختمان تعیین می شود. بنابراین در ابتدا سطح خطر و سطح عملکرد ساختمان تعریف می شود، سپس هدف های بهسازی تشریح شده در دستورالعمل بیان خواهد شد.

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

تعیین سطح اطلاعات موردنظر و ضریب آگاهی:

سطح اطلاعات انتخابی به طور مشخص نیاز یا عدم نیاز به انجام آزمایش های مقاومت مصالح و ژئوتکنیک را بیان می کند. تعیین سطح اطلاعاتی که لازم است جمع آوری شود، بر اساس وضعیت اطلاعات موجود از مصالح فولادی و هدف بهسازی انتخابی، با استفاده از طبقه بندی جدول (۴-۱) صورت می گیرد. سپس بر مبنای سطح اطلاعات مورد نظر و هدف بهسازی انتخاب شده، ضریب آگاهی، k ، طبق جدول (۵-۱) تعیین می شود.

با توجه به اینکه ضریب آگاهی در واقع ضریب کاهش مقاومت عضو است، در صورتی که ضریب آگاهی واحد مورد نظر باشد، سطح اطلاعات لازم بر اساس هدف بهسازی از جدول (۵-۱) تعیین شده و بر پایه ی آن میزان آزمایش ها مشخص می شود. به عبارت دیگر هر چه میزان اطلاعات بیش تر و مراجع آن معتبرتر باشد، ضریب آگاهی بزرگتری را می توان انتخاب نمود.

لازم به توضیح است که برای سطح اطلاعات حداقل، تنها استفاده از روش تحلیل خطی مجاز است، در صورتی که در سطح اطلاعات متعارف و جامع استفاده از کلی هی روش های تحلیلی بلامانع است.

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

بازرسی وضعیت موجود، شناسایی مشخصات مصالح و آزمایش ها:

بازرسی وضعیت موجود از دو جنبه ی شناخت وضعیت ظاهری اجزای مورد بررسی (سازه های یا غیرسازه های) و مشخصات فیزیکی مصالح و خاک مورد توجه قرار می گیرد. برای شناسایی وضعیت ظاهری اعضا لازم است که موانع و پوشش های معماری برداشته شده تا اندازه گیری ابعاد عضو مورد بررسی ممکن باشد. به این عملیات در اصطلاح سونداژ گفته میشود. در بخش دوم برای تعیین مشخصات مصالح به کار رفته در ساختمان مانند تنش تسلیم فولاد یا مقاومت فشاری بتن باید نمونه های از مصالح مورد نظر با ابعاد مناسب برداشته شده و مورد آزمایش قرار گیرد.

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی موجود (نشریه ۱-۳۶۳)

تحلیل خطر زلزله و تهیه ی طیف طراحی:

در کلیه ی روش های تحلیل سازه در بهسازی لرزه ای، داشتن طیف طرح لازم است. طیف طرح مربوط به سطح خطر یک را می توان از استاندارد ۲۸۰۰ استخراج نمود. اما هرگاه استفاده از سطح خطر دو یا هر سطح خطر متفاوت با سطح خطر یک لازم باشد، یا هدف بهسازی ویژه انتخاب شود، لازم است طیف طرح ویژه ساختگاه محاسبه شود. نحوه ی تعیین طیف های طراحی بر اساس جدول (۱۰-۱) است.

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• ارزیابی لرزه ای و مقاوم سازی ساختمان های موجود (ASCE 41-13)

این آیین نامه که توسط انجمن مهندسان عمران امریکا ASCE ارائه شده است به ارزیابی لرزه ای و مقاوم سازی ساختمان های موجود پرداخته است. ساختمان های مانند سازه های فولادی با قاب خمشی یا با قاب ساده مهاربندی شده، سازه ها دارای دیوار برشی فولادی، قاب های فولادی دارای میانقاب، سازه های بتنی همراه با دیوار برشی و یا دارای قاب خمشی، سازه های پیش ساخته، سازه های چوبی، سازه ها ساخته شده با فولاد سر نورد شده در این آیین نامه مورد بحث قرار گرفته است.

Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings

This document uses both the
International System of Units (SI)
and customary units

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان های نیمه اسکلت موجود (نشریه ۷۴۴)

پدیده زلزله به عنوان یک رویداد طبیعی در کنار ساخت و ساز نامناسب شهری و روستایی، همواره باعث تخریب گسترده و خسارت قابل توجه در کشور شده است. متأسفانه علیرغم رخداد زلزله های تاریخی بزرگ در ایران، احداث ساختمان های ایمن صرفاً در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است و بخش عمده ای از ساختمان های موجود در کشور از نوع نیمه اسکلت می باشند که عملکرد مناسبی در مقابل زلزله ندارند. در این راستا و علیرغم وجود ضوابط مرتبط با بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) تهیه و تدوین ضوابط خاص این گروه از ساختمان ها باعث افزایش سرعت و دقت پروژه های بهسازی لرزه ای جاری و آتی در کشور می گردد. از این رو ضابطه شماره ۷۴۴ با عنوان “دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه ای ساختمان های نیمه اسکلت موجود” با همکاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تهیه شده است.

دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای

ساختمان های نیمه اسکلت موجود

آیین نامه های بهسازی و مقاوم سازی

• راهنمای طراحی برای اتصالات مرکب با FRP

Design Guide For Composite FRP Connection – ASCE





دکتر سید عبدالنبی رضوی

دکتری مهندسی سازه | عضو هیئت علمی دانشگاه
Razavi.abd@gmail.com | 09163077336 |  dr.razavi.abd