

روش های مقاوم سازی سازه های بنایی

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکترای عمران سازه

ساختمان های مصالح بنایی غیرمسلح ساختمان هایی هستند که به جز دیوارهای سازه ای (برشی) مصالح بنایی فاقد سیستم سازه ای مشخصی می باشند. به سخن دیگر، در ساختمان های بنایی، دیوارهای برشی بنایی وظیفه تحمل هر دو نوع بار ثقلی و جانبی زلزله را بر عهده دارند. لذا در استاندارد ۲۸۰۰ ایران برای تأمین نیاز مقاومت برشی ساختمان های بنایی غیرمسلح در هر جهت، از مفهوم حداقل دیوار نسبی سازه ای استفاده شده است. بدین معنی که در هر یک از امتدادهای اصلی ساختمان بنایی (با کلاف و بی کلاف)، مقدار دیوار نسبی نباید از مقادیر مندرج در این استاندارد کمتر باشد. ساختمان های مصالح بنایی، بناهای حجیمی هستند که با مصالح سنگین ساخته شده اند و نیروی چسبندگی بین مصالح و فرم های سازه ای خاص وظیفه انتقال نیروها و در نهایت پایداری و عملکرد یکپارچه بنا را بر عهده دارند. مصالح ملات و آجر در برابر نیروهای فشاری عملکرد بسیار خوبی دارند ولی در برابر نیروهای جانبی و کششی مقاومت زیادی نداشته و پس از رسیدن به حداکثر توان خود به یکباره خرد می شوند. به عبارت دیگر فاقد خاصیت پلاستیک و شکل پذیری هستند. ساختمان هایی که با آجر، سنگ و یا بلوک سیمانی ساخته شده اند و در آن تمام یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای مصالح بنایی تحمل می شود در ردیف ساختمان های با مصالح بنایی محسوب می شود. پس از ورود آهن به بازار ایران ساختمان های خشتی و گلی جای خود را به ساختمان های بنایی بدون کلاف دادند پس از انتشار آیین نامه ۲۸۰۰ ساخت ساختمان های بنایی کلاف دار رواج پیدا کرد. مشاهدات بعد از وقوع زلزله ناشی از این است، ساختمان هایی که ساخت آن ها منطبق با آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران بوده همچنان سرپا برجاستند و برخی هیچ گونه آسیبی ندیده اند پابرجائی ساختمان ها و عدم ریزش سقف ها و دیوارها از این جهت قابل بحث می باشند که باعث ایجاد فرصت فرار و عدم خسارت های جانی در زلزله می شود که ایمنی را با خود به همراه می آورد. هر چند که در حال حاضر احداث ساختمان های دارای اسکلت فلزی و بتنی رو به افزایش است، اما هنوز هم اکثریت ساختمان های موجود در کشور از نوع ساختمان های بنایی می باشند. از آنجاکه راه حل جلوگیری از چنین خسارت هایی، مقاوم سازی ساختمان های موجود است، لزوم بررسی در مورد شیوه های مختلف بهسازی و مقاوم سازی ساختمان های بنایی موجود به شدت احساس می شود. شناخت دقیق انواع آسیب های وارده به ساختمان و یافتن روش های مناسب مقاوم سازی با تقویت قسمت های اصلی و باربر ساختمان و افزودن عناصر باربر اضافی و نوع سازه بنایی می تواند راهی برای دسترسی به ایمنی بالاتر در مقابل زلزله باشد.

ساختمان های مصالح بنایی

منظور از ساختمان های مصالح بنایی ساختمان هایی هستند که با آجر، بلوک سیمانی یا سنگ یا خشت ساخته می شوند و در آن ها تمام یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارها با مصالح بنایی تحمل می گردد. ساختمان های بنایی را می توان به دودسته ساختمان های بنایی کلاف بندی شده و ساختمان های بدون کلاف بندی تقسیم کرد.

رفتار کلی ساختمان های بنایی در برابر نیروها

رفتار ساختمان های بنایی به عواملی مانند نیروی چسبندگی مصالح ساختمانی بستگی دارد که باعث پیچیدگی در بررسی رفتار سازه بنایی شده است. از آنجاکه مصالح آجر و ملات به شدت ترد هستند هنگامی که تحت اثر نیرو قرار می گیرند پس از رسیدن به حداکثر مقاومت خود، یکباره دچار شکست شده و خرد می شوند، برخلاف بتن مسلح و فولاد که پس از رسیدن به حداکثر مقاومت خود وارد مرحله الاستو پلاستیک و سپس پلاستیک شده و تغییر شکل های قابل توجهی خواهند داد. در نتیجه ضعف اساسی ساختمان های آجری در مقابل زلزله، کمبود مقاومت نیست، بلکه کمبود نرمی (شکل پذیری) است میزان خسارت سازه های نرم تا حدودی تابع

بزرگی زلزله است و در زلزله‌ای بسیار مخرب با بزرگی بیش از ۷، در ناحیه مرکزی زلزله بیشترین آسیب مشاهده می‌شود و از مرکز که دور می‌شویم به تدریج از شدت آسیب کاسته می‌شود.

مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی

عوامل مؤثر در تخریب ساختمان‌ها با مصالح بنایی به موارد زیر دسته بندی می‌شوند:

- استفاده از آجرهای بی کیفیت
- استفاده از ملات سست و ضعیف
- بی‌نظمی در پلان در جهت عمودی
- ضعف دیوارهای باربر
- کمبود المان‌های عمودی محدود کننده
- وجود کنسول و بالکن نامناسب

خسارات مشاهده شده در ساختمان‌های بنایی

از جمله خسارت‌ها و خرابی‌هایی که در ساختمان‌های بنایی مشاهده شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ایجاد ترک و جدا شدن دیوارها از یکدیگر
- فروریختن خارج از صفحه دیوارها
- ایجاد ترک‌های مورب کششی در کنار بازشوها
- فروریختن دیوارهای باربر و سقف‌ها
- از بین رفتن انسجام سقف و فروریزش آجرهای طاق ضربی
- خسارت در گوشه ساختمان و فروریختگی جزئی

روش‌ها مقاوم سازی ساختمان‌های بنایی

۱. یکپارچه ساختن سقف

سقف طاق ضربی باید منسجم و در صورت نیاز صلب گردد. در سقف‌های طاق ضربی برای ایجاد انسجام و یکپارچگی از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

- ۱،۱ ابتدا خاک، سنگ و نخاله روی آجرها را برداشته و مطابق شکل میلگردهایی را به تیرها جوش می‌دهند. سپس روی سقف بتن ریزی شده تا پوششی به ضخامت حداقل ۵ سانتی متر روی تیرها ایجاد شود. در مواردی که استفاده از روش فوق میسر و اقتصادی نباشد می‌توان از روشهای دیگر استفاده نمود، البته درجه صلبیت به اندازه روش گفته شده در بالا افزایش نمی‌یابد.
- ۱،۲ اندود سقف را از داخل هر اتاق به صورت ضربدری برداشته می‌شود و یک جفت میلگرد نمره ۸ یا تسمه را مطابق با شکل، به زیر تیر آهن‌ها جوش داده می‌شود.

- ۱،۳ روی دیوارهای باربر، فاصله بین تیرها را تمیز کرده پس از جوش دادن سه میلگرد نمره ۱۸ به تیرها روی آنها بتن ریزی به گونه‌ای انجام می‌شود که کلاف افقی به ارتفاع حداقل ۲۵ سانتی متر ایجاد شود.

۲. روش و تکنیک مقاوم سازی با FRP

تکنیک پایه مقاوم سازی با FRP که در طیف گسترده‌ای به کار می‌رود، شامل روش چسباندن نوارهای تولید شده پیش ساخته است. نکته‌ای که در اینجا وجود دارد این است که در راستای نوارهای FRP و یا ایفای که به کمک رزین اپوکسی در محل به کامپوزیت FRP تبدیل می‌شوند، باید تا حدی که امکان اجرایی وجود دارد، در جهت محور اصلی تنشهای کششی عضو باشد.

۲،۱ تقویت دیوارهای آجری بدون اعضای بتنی یا فولادی محیطی

الف: تقویت برشی

دیوارهایی که نسبت بعدی (ارتفاع به طول) کمی دارند دچار شکست برشی شده و ترک های قطری در آنها ظاهر می شوند. مود شکست در این حالت به صورت ترد در دیوار رخ می دهد. برای جبران ضعف برشی دیوار، صفحات FRP در راستای طول دیوار و به صورت افقی در دو وجه دیوار نصب می گردد. نحوه عملکرد FRP بدین صورت می باشد که پس از ایجاد ترک های برشی در دیوار، کرنش در FRP در آن منطقه افزایش یافته و نیروها به FRP منتقل می گردد. نتایج نشان میدهد تقویت برشی دیوار با FRP سبب افزایش مقاومت و شکل پذیری دیوار می گردد.

ب: تقویت خمشی

برای جبران ضعف خمشی دیوار، صفحات FRP در راستای ارتفاع و به صورت قائم در دو طرف نصب می گردد. در صورتی که کامپوزیت FRP به منظور افزایش مقاومت خمشی بر روی دیوار به صورت ارتعایی استفاده شود، لازم است که انتهای آن به نحو مناسبی در پای دیوار مهار گردد تا نیروهای درون این صفحات به تکیه گاه پای دیوار انتقال یابد. برای مهار انتهای صفحات خمشی می توان از مقطع نبشی فولادی در مجاورت تکیه گاه دیوار که بر آن پیچ می گردد و یا از صفحه برشی FRP عمود بر لایه FRP خمشی در انتهای لایه استفاده نمود. در صورتیکه از هر دو تقویت خمشی و برشی به صورت قرارگیری الیاف به طور افقی و عمودی بر روی دیوار به صورت توأم استفاده گردد افزایش سختی، مقاومت و شکل پذیری بیشتر از حالتی قبل است. در این سیستم قرارگیری الیاف به صورت افقی خود مهار کننده الیاف خمشی می باشند.

۳. تعبیه میلگرد در دیوار و روکش بتنی

یکی از روشهای موثر تقویت ساختمانهای موجود ایجاد روکش بتنی روی دیوارهاست. در این روش شبکه ای از میلگردهای افقی و قائم روی دیوار نصب می شود و سپس بر روی آن بتن می پاشند. استفاده از روکش بتنی برای سازه های بتنی و آجری نتایج مفیدی دربرداشته و تجربه نشان م دهد که بتن پاشیده شده به خوبی درزها را پر کرده، اتصال مناسبی را فراهم می آورد. در این روش سطوح آجری کاملاً تمیز می شوند و برای ایجاد چسبندگی بیشتر سطوح صاف زخمی می گردند. قبل از پاشیدن بتن، زیرکار را کمی تر می کنند اما نه چندان که بتن فرو ریزد. همچنین قبل از شروع، قسمتهایی از زیرکار را که خرد شده یا سست است تراشیده و عمل پاشش در چند لایه صورت می گیرد تا گودشدگی به حداقل برسد و در نقاطی که پاشش خوب انجام نشده و به عوارضی همچون گودشدگی، برآمدگی و یا پوسته شدن، انجامیده است بتن تراشیده، دوباره پاشیده می شود. با ایجاد روکش بتنی در سطوح بیرونی یا درونی دیوارهای آجری می توان مقاومت لرزه ای ساختمان را به طور چشمگیری افزایش داد، آنگاه این دیوارهای آجری-بتنی می توانند مانند دیوارهای برشی بتنی نیروی جانبی زلزله را بگیرند. برای ایجاد روکش بتنی باید در دیوار شیارهای قائم ایجاد کرد تا پس از پاشیدن بتن این شیارها همچون کلاف قائم عمل کرده و علاوه بر تقویت مقاومت خمشی دیوار، روکش بتنی و دیوار آجری را به طور مناسبی با هم یکپارچه کنند. استفاده از میلگرد ها در مرحله خطی اثری در افزایش مقاومت و سختی ندارد و میلگرد ها باعث افزایش مقاومت و سختی در مرحله پلاستیک می شوند و این افزایش تا مرحله جاری شدن میلگردها ادامه می یابد و پس از آن افت نمودار اتفاق می افتد. با افزایش حجم میلگرد نیز سختی و مقاومت دیوار در مرحله خطی تغییر نمی کند. ولی در مرحله پلاستیک باعث افزایش سختی و مقاومت نسبت به حالت های قبلی می شود و این افزایش تا مرحله جاری شدن میلگردها ادامه می یابد ولی پس از آن افت می کند. با مقایسه الگوی گسترش در دیوار های بدون تقویت و تقویت شده می توان به این نتیجه رسید که شکست غالب، شکست برشی است. اما استفاده از میلگردها باعث پراکندگی ترک ها شده و از تخریب زود هنگام دیوار جلوگیری می کنند. فاصله کلاف های قائم S می تواند بین ۲ تا ۲,۵ متر باشد. در کنار بازوها حتماً باید کلاف قائم قرار گیرد. ایجاد کلاف افقی گرچه می تواند عملکرد روکش را بهبود بخشد اما به سبب آنکه بارهای قائم به دیوار آجری وارد می شوند، کندن شیار افقی می تواند خطرناک باشد و لذا استفاده از کلافهای افقی ایجاد شده با روکش بتنی توصیه نمی شود.

در موردی که ایجاد روکش در سطوح بیرونی ممکن نباشد باید سطوح داخلی را روکش کرد. باید توجه داشت که در محل اتصال دیوار به سقف، روکش قطع می شود و در نتیجه نیروهای خمشی وارد به روکش در طبقه بالا به طبقه پایین منتقل نمی شوند.

۴. استقرار دیوارهای جدید

در حین زلزله، ساختمانهای نامتقارن در معرض اثرات پیچش واقع می شوند. با جداسازی قسمتهایی از ساختمان می توان مرکز جرم را بر مرکز سختی منطبق نمود که در این صورت پیچش در ساختمان اتفاق نمی افتد. همچنین با ایجاد دیوارهای جدید (مصلح بنایی) می توان واحدهایی را به طور اختصاصی قرینه نمود. ضمناً استقرار دیوارهای متقاطع، قدرت باربری بیشتری برای دیوارهای طویل ساختمانهایی نظیر خوابگاهها، مدارس و غیره فراهم می نماید. تنها باید دقت شود که تغییرات معماری بوجود آمده باعث از بین رفتن کاربری های مدنظر نگردد. مساله اصلی در این چنین اصلاحاتی، ایجاد گیرداری بین دیوارهای جدید و قدیم می باشد. عموماً با استفاده از کلیدهای فولادی و بتنی تعبیه شده در دیوارهای قدیمی این گیرداری تامین می شود. در استقرار دیوارهای جدید باید به یک نکته توجه داشت که دیوار جدید باید در طول مدت بهره برداری ساختمان مستقر بوده و هیچگاه برداشته نشود. بنابراین در مقاوم سازی ساختمانهایی که امکان تغییر کاربری دارند باید همواره به این نکته توجه نمود که پس از تغییرات کاربری دیوارهای جدید از معماری ساختمان حذف نشود. در بسیاری از مناطق زلزله خیز جهان از جمله ایران تعداد زیادی از ساختمان های بنایی وجود دارند که بسیاری از آن ها برای بارهای لرزه ای طراحی نشده اند. زلزله های اخیر نشان داده است که این ساختمان ها در برابر بارهای لرزه ای آسیب پذیر بوده و نیاز به مقاوم سازی دارند. بر پایه تحقیقات به عمل آمده بیش از ۷۰ درصد از سازه های موجود در سرتاسر جهان ساختمان های بنایی هستند. زلزله های قوی و متوسط می توانند صدمات و خسارت جبران ناپذیری را بر این گونه سازه ها وارد نمایند که بخش عمده ی این خسارات برای سازه های بنایی است. بنابراین بررسی آسیب پذیری و مقاوم سازی ساختمان این نوع بنا ها تحت اثر زلزله دارای اهمیت خاصی می باشد. همچنین اغلب سازه هایی که دارای اهمیت تاریخی می باشند، با استفاده از مصالح بنایی ساخته شده اند. از طرفی با توجه به اینکه خرابی و جایگزینی این ساختمان ها به دلایل بسیاری امکان پذیری نیست احتیاج به روش های مقاوم سازی ساختمان های غیر مسلح بیشتر احساس می شود. روش های متعارف مقاوم سازی متفاوتی موجود است که هر کدام از این روش ها بر پایه افزایش مقاومت و یا شکل پذیری دیوارهای غیر مسلح بنایی استوار است. به منظور بهسازی سازه های بنایی در استاندارد ACI 440.7R-10 پیشنهادهایی ارائه شده است.

وزن زیاد، ضعف مقاومتی ملات، کمبود نسبی دیوارهای بنایی (تراکم کم) و وجود بازشوهای بزرگ باعث ضعف مقاومتی ساختمان شده و ساختمان با وجود انسجام کافی ممکن است قابلیت عملکردی مورد نظر را نداشته باشد. سازه های بنایی به دو دسته بنایی مسلح و بنایی غیر مسلح تقسیم می شوند. سازه های بنایی مسلح سازه هایی هستند که محاسبات سازه ای برای آن ها به طور کامل انجام شده است و سازه های بنایی غیر مسلح سازه هایی هستند که محاسبات سازه ای برای آنها در نظر گرفته نشده اما المان ها و اجزایی برای مهار بار جانبی در آن تعبیه شده است. ساختمان های بنایی از مصالح آجر و ملات ساخته شده اند که درز ملات این بناها به عنوان یک نقطه ضعف اصلی در بار جانبی زلزله می باشد. به این دلیل مودهای شکست ، لغزش درز ملات و کشش قطری در رفتار درون صفحه ای و کمانش خارج از صفحه دیوارها در زلزله های گذشته بیشترین عامل تخریب ساختمان را داشته است.

روش های مقاوم سازی سازه های بنایی

مطابق با اصل ضروری در مقاوم سازی سازه های بنایی در برابر زلزله برای داشتن استحکام و مقاومت در برابر بارهای لرزه ای به هم پیوسته بودن سقف، دیوار و فونداسیون به یکدیگر است. در اصطلاح به این عملکرد سازه،

عملکرد جعبه ای می گویند. علاوه بر این که سازه باید عملکرد جعبه ای خوبی داشته باشد میزان باز شو های آن نیز باید محدود و به خوبی مهار شوند.

مودهای شکست دیوار آجری

مودهای شکست یک دیوار آجری مجزا به دو گروه عمده شکست درون صفحه ای و شکست برون صفحه ای تقسیم می شوند. در حالت شکست درون صفحه ای معمولا یکی از مودهای زیر رخ می دهد:

۱. در صورتی که دیوار تحت بار قائم زیاد بوده و نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر از واحد باشد، مود شکست برشی رخ می دهد.
۲. همچنین اگر نسبت ارتفاع به طول بزرگتر از واحد باشد (تقریبا برابر ۲) و مقدار بار قائم بسیار زیاد باشد، باز هم امکان شکست برشی وجود دارد.
۳. در صورتی که مقاومت برشی دیوار، اندک بوده و بار جانبی در مقایسه با بار قائم، بزرگ باشد، شکست برشی - لغزشی رخ خواهد داد. در این حالت معمولا نسبت ارتفاع به طول دیوار در حدود ۱,۵ به ۱ می باشد.

در صورتی که مقاومت برشی دیوار به اندازه کافی باشد و نسبت ارتفاع به طول ستون در حدود ۲ به ۱ باشد، آنگاه شکست خمشی رخ می دهد. در حالت شکست برون صفحه ای معمولا یکی از مودهای زیر رخ می دهد:

۱. اگر تنش کششی منجر به شکست، موازی درزهای افقی آجرها باشد، ترک قائم در ارتفاع دیوار به وجود می آید. این شکست معمولا هنگامی رخ می دهد که طول دیوار بزرگ باشد.
۲. اگر تنش کششی منجر به شکست، عمود بر درزهای افقی آجرها باشد، ترک افقی در میانه دیوار به وجود می آید. این شکست معمولا هنگامی رخ می دهد که ارتفاع دیوار بزرگ باشد.

تعمیر سطوح

تعمیر سطوح از روش های متداول مقاوم سازی می باشد. تکنیک های متفاوتی برای تعمیر سطوح وجود دارد که مهم ترین آن ها ملات با تور سیمی و بتن پاشی است. این روش ها به طور طبیعی با پوشش خارجی سطوح بر روی ظاهر معماری و تاریخی بنا تاثیر گذار بوده و از جمله نقاط ضعف این نوع مقاوم سازی می باشد.

ملات با تور سیمی

ملات با تور سیمی شامل چندین لایه از شبکه میلگرد با قطر کم و با چشمه های بسیار ریز است که در شکل زیر نمایش داده شده است. ملات سیمان با مقاومت بالا با ضخامتی در حدود ۱۰ الی ۵۵ میلی متر بر روی مش مذکور ریخته می شود.

بتن پاشی

یکی دیگر از روش های موجود برای مقاوم سازی ساختمان های بنایی غیر مسلح پوشش دادن دیوار و یا پایه ها با شاتکریت می باشد. روش کار بدین صورت است که پوشش بتن بر روی شبکه آرماتورهای موجود پاشیده می شود. در این روش اگر طراحی به درستی صورت پذیرد، فولادهای استفاده شده برای مسلح سازی ظرفیت بالایی از جذب انرژی را به ساختمان های بنایی غیر مسلح اضافه می نمایند. باید توجه نمود که حداقل آرماتورهای شبکه همان میزان آرماتور افت و حرارت جهت کنترل ترک باشد. برای این که دیوار و بتن پاشیده شده مانند یک جسم مرکب عمل کنند باید اتصالات برشی میان آن دو تعبیه شود. برای پر نمودن سوراخ هایی که برای ثابت نگه داشتن اتصالات برشی به کار می روند نیز می توان از اپوکسی و یا گروت سیمانی استفاده نمود. ضخامت پوشش بتن پاشیده نیز با توجه به میزان لرزه خیزی منطقه متفاوت است که حداقل ۶۰ میلی متر می باشد. جهت ایجاد چسبندگی لازم میان آجر و پوشش شاتکریت باید ابتدا آجر را به حالت اشباع در آورد تا آب موجود در شاتکریت را جذب نکرده و سبب ایجاد ترک در بتن پاشیده شده نشود و سپس لایه ای

مانند اپوکسی را بر روی آجر پاشیده و بعد از آن بتن پاشیده شده را بر روی اپوکسی شوت نماییم. اگر بتن پاشی به طریقه بالا صورت پذیرد می توان مقدار بار نهایی ساختمان های بنایی غیر مسلح را افزایش دهد. در این روش، شبکه میلگردهای افقی و قائم به دیوار نصب شده و لایه هایی از بتن به روی شبکه میلگردها پاشیده می شود. این روش شامل مراحل ذیل می باشد:

- تعبیه شبکه میله گردهای افقی و قائم و اتصال آن بوسیله آرماتورهای دوخت به دیوار موجود
- عملیات پاشیدن بتن به ضخامت معین به سطح شبکه آرماتور (شاتکریت)
- اتصال شبکه آرماتوره فونداسیون

روش اصلاح نقاط ترک خورده

این روش به منظور ایجاد عملکردی یکنواخت و یکپارچه در دیوار بنایی استفاده می شود. مراحل اجرای آن به صورت خلاصه به شرح زیر است:

الف) مقاوم سازی سازه بنایی با استفاده از دوخت قطعات بنایی در محل ترک با استفاده از میله فولادی
ب) مقاوم سازی سازه بنایی با استفاده از دوخت قطعات بنایی در محل ترک با استفاده از شبکه فولادی (مش فولادی)

افزودن دیوارهای داخلی یا پشت بند جهت بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان بنایی

این روش یک روش مقاوم سازی ارزان برای سازه های بنایی محسوب می شود. این روش با مصالح مرسوم و ارزان قابل اجرا است. برای اجرای این روش نیروی متخصص لازم نیست و حتی معمارهای محلی در روستاها نیز قادر به اجرای آن هستند.

پر کردن باز شوها

یک روش ساده برای مقاوم سازی در صفحه یک دیوار برشی پر کردن بخش و یا تمام پنجره ها یا درهای غیر ضروری میباشد. این عمل از تمرکز تنش که در گوشه های باز شوها تولید می شود و سبب ایجاد ترک است جلوگیری می نماید و همچنین باعث افزایش سختی جانبی دیوار می شود. نکته مهم در پر کردن بازشوها این است که قسمت های پر شده با قسمت های موجود به شکل در هم تنیده اجرا شود و یا نوعی از اتصالات برشی بین آن دو تعبیه شود. این عمل باعث ایجاد عملکرد واحد دیوارهای موجود با بازشوهایی پر شده می گردد.

بزرگ کردن باز شوها

متناوباً بزرگ کردن بازشوها به وسیله حذف کردن بخشی از مصالح بنایی نیز یکی از راه حل های پیشنهادی می باشد. در این روش چون شکست برشی دیوار باعث آسیب بیشتر خواهد شد، در بعضی حالات با افزایش نسبت ارتفاع به طول دیوار میتوان شکست برشی را تبدیل به شکست خمشی نمود. این تکنیک برای افزایش نسبت طول به عرض پایه ها به کار برده می شود و باعث می شود تا رفتار آن از حالت برشی به حالت خمشی تبدیل شود. این عمل شکل گسیختگی را از حالت شکننده به شکل پذیر تغییر می دهد.

افزایش بارهای قائم

افزودن بارهای قائم به ساختمانهای بنایی غیرمسلح معمولاً عملکرد دیوار را تحت بارهای داخل و خارج از صفحه بهبود می بخشد. بارهای قائم در کنار هم نگره داشتن ماتریس بنایی کمک میکند و همچنین بعد از وقوع ترک سبب تولید نیروهای اصطکاکی بیشتری می شود. در این روش، مقاوم سازی میتواند به سادگی و با افزودن وزن سازه انجام شود و یا با اجرای میله و یا کابل های پس تنیده تنش قائم بر روی اجزا دیوار اعمال کرد. البته این روش باید به دقت انجام گیرد زیرا به مانند نیروهای قائم تنشها روی ساختمان های بنایی غیرمسلح افزایش می یابد و می تواند به گسیختگی شکننده ناشی از خرد شدگی منجر شود. همچنین طراح باید افت کشش ناشی از خزش و انقباض مصالح بنایی را در محاسبات وارد نماید.

تقویت اتصالات دیوار دیافراگم

یک مشکل عمده در رابطه با ساختمانهای بنایی غیرمسلح ناکافی بودن و یا کاهش یافتن پیوستگی میان دیوار و دیافراگم است. این ارتباط از آنجا که سبب مهار بندی دیوار می شود و در مورد دیافراگم های صلب دیوارهای موزی را مجبور می نماید تا با یکدیگر عمل کنند، معیار مهمی در رفتار کلی ساختمان می باشد.

تعیین شبکه میله گردها و اتصال آن به دیوار موجود

۱. کلیه اندوذهای دیوار آجری (پلاستر گچ و گچ خاک) با هر ضخامتی که دارند برداشته شوند. در حین انجام این کار باید توجه شود که به سطح دیوار آجری آسیبی نرسد، همچنین بعد از برداشتن پلاسترها باید سطح دیوار با برس فلزی تمیز شود.

۲. سوراخ هایی به فاصله افقی ۲۵ سانتی متر و عمودی ۵۰ سانتی متر از هم به عمق ۲۰ سانتی متر روی دیوار آجری به منظور قرار دادن آرماتورهای دوخت ایجاد شود. آرماتورهای برشگیر (دوخت)، با طول حداقل ۳۰ سانتی متر که قسمت انتهایی آنها به صورت قلاب ۱۸۰ درجه با طول خم ۴ سانتی متر می باشد، در سوراخ ها قرار داده می شوند و در نهایت سوراخها با چسب اپوکسی پر شده تا آرماتورها در جای خود محکم شوند (انجام این مرحله با روش خاص شرکت مجری تخصصی کاشت بلامانع است).

۳. در مرحله بعد باید شبکه هایی از آرماتورهای افقی و قائم روی سطح دیوار قرار داده شوند. به همین منظور آرماتورهای ۴

با فواصل افقی و عمودی ۶ سانتی متر روی دیوار قرار داده شده و برای اینکه آرماتورها در روی دیوار آجری محکم شوند تا در هنگام بتن پاشی از آن جدا نگردند، لازم است در محل تقاطع با آرماتورهای برشگیر با مفتول به آنها وصل شوند.

۴. در این مرحله باید عملیات شاتکریت، تا جایی که شبکه های آرماتور درون بتن مدفون گردند، انجام شود. به همین منظور باید ضخامت بتن پاشیده شده بر سطح دیوار حداقل ۸ سانتیمتر باشد. مقاومت بتن شاتکریت حدود ۱۰۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع می باشد. پاشش شاتکریت به دیوار به دو صورت پاشش « تر » و « خشک » قابل انجام است. در روش پاشش تر بتن تازه با هوای فشرده مخلوط شده و با پمپ به دیوار بنایی پاشیده می شود. در روش پاشش خشک بتن خشک با هوا مخلوط شده و پس از هدایت به محل، با آب پرفشار نیز مخلوط و سپس به دیوار پاشیده می شود. در روش پاشش خشک، فشار هوا در پمپ برای طول لوله ۳۰ متر باید حداقل ۰,۳ مگا پاسکال باشد و برای طولهای بیشتر به ازای هر ۰,۵ متر، ۰,۳۳ مگا پاسکال به فشار اضافه می شود. همچنین فشار آبی که در روش خشک به مخلوط تزریق می شود حداقل ۰,۱ مگا پاسکال بیشتر از فشار هوای مخلوط است.

تزریق اپوکسی و گروت

برای اجرای این روش بایستی تجهیزات تزریق رزین خریداری شود؛ ولی این روش میزان مصرف رزین را به سبب اینکه تنها نیاز به پر کردن ترک ها وجود دارد، بهینه می کند. برای اجرای این روش نیز حداقل یک نیروی متخصص لازم است. از جمله راههای متداول مقاوم سازی بوده که در این روش برای برگرداندن مقاومت ساختمان های بنایی غیر مسلح، ترکها و حفره های توخالی که به علت تخریب شیمیایی و فیزیکی سطح یا فعالیتهای مکانیکی به وجود آمده است توسط گروت یا اپوکسی پر می شود. برتری این روش نسبت به روش تعمیر سطوح عدم تخریب سطح و به تبع آن حفظ زیبایی معماری و بافت تاریخی ساختمان های بنایی غیر مسلح است. موفقیت این روش به تکنیک تزریق و یکسان بودن مقاومت، مدول الاستیسیته و مشخصات حرارتی گروت با مصالح بنایی موجود بستگی دارد.

برای ترکهای کوچکتر از ۵ میلیمتر از رزین اپوکسی و برای ترکهای بزرگتر و حفره ها میتوان از گروت های ۸ میلیمتر پیشنهاد شده که از گروت سیمانی همراه با ماسه استفاده نمود. برای سوراخهای بزرگتر از ۸ میلی

متر پیشنهاد شده که از گروت سیمانی که دارای سیمان پرتلند تیپ ۳ همراه با مواد منبسط کننده و نسبت آب به سیمان ۷۵ استفاده شود.

دوخت فونداسیون

برای مقاوم سازی کامل ساختمان باید مقاوم سازی فونداسیون آن نیز در صورت نیاز به نحو مطلوبی انجام گردد تا بتواند نیروهای ناشی از زلزله را به خاک منتقل نماید. در صورت عدم مقاومت کافی فونداسیون تحت لنگرهای خمشی و نیروهای برشی وارده از طرف سازه دچار گسیختگی می گردد. همچنین در صورت عدم کفایت سطح تماس فونداسیون با خاک زیر آن احتمال تسلیم شدن خاک و در نتیجه ایجاد نشست ماندگار خاک زیر پی افزایش می یابد. برای تقویت فونداسیون موجود می توان شبکه هایی از آرماتور در اطراف پی موجود در نواحی ضعیف قرار داد و بتن ریزی نمود. اتصال فونداسیون الحاقی به فونداسیون جدید توسط آرماتورهای دوخت صورت می گیرد. از آن جاییکه مصالح لازم برای اجرای این روش به آسانی پیدا می شود و اجرای آن نیز بسیار راحت است، هزینه این روش بسیار پایین است. برای اجرای این روش نیروی متخصص لازم نیست و حتی معمارهای محلی در روستاها نیز قادر به اجرای آن هستند و این مسائل این روش را به عنوان روشی آسان برای مقاوم سازی دیوارهای بنایی ترک خورده مبدل کرده است. میرزاگل تبار، بررسی کارکرد میراگرهای انرژی سازه در مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها. همایش ملی سازه، راه، معماری.

تقویت و تعمیر سازه های بتن آرمه آسیب دیده و سازه هایی که در معرض نیروهای زلزله قرار دارند با چندین روش که از جمله آنها می توان به استفاده از ژاکتهای بتنی، ژاکتهای فولادی و ژاکتهای پلیمری اشاره نمود، صورت می گیرد. امروزه استفاده از ژاکتهای پلیمری به دلیل خواص فوق العاده آن نظیر مقاومت و سختی بالا، وزن اندک، مقاومت در برابر خوردگی، ناهمسانگرد بودن این مواد و طراحی بهینه، نصب آسان و سریع و هزینه کل کمتر (شامل زمان، مصالح و اجرا) نسبت به ورقهای فولادی مورد توجه قرار گرفته است.

نمونه های ستون تقویت شده توسط این روش دارای افزایش شک لپذیری قابل توجه بوده و همچنین در سیکلهای مختلف بارگذاری و باربرداری به علت خطی بودن رفتار ژاکت پلیمری، کرنشهای پلاستیک در ژاکت باقی نمانده تا باعث کاهش کارایی ژاکت گردند.

بدلیل وجود مشکلات اجتناب ناپذیر به هنگام اجرا بخصوص در سازه های بتنی، همواره نیاز به ترمیم و مقاوم سازی آنها احساس می شود. امروزه ترمیم و تقویت بتن و سازه های بتنی از فنون حساس و مورد نیاز در پروژه های عمرانی بوده که نیاز به دانش ویژه و تجربه مرتبط دارد. ساختمان های بتنی به عنوان عنصر شاخص در ساخت و ساز همیشه مورد توجه سازندگان می باشند، از جمله مشکلات رایج اینگونه سازه ها، بروز ترک می باشد که برای حل این مشکل باید با انواع ترک در ساختمان و روش های ترمیم آن آشنا بود. از جمله علل ایجاد انواع ترک در ساختمان می توان موارد زیر را به اختصار بیان نمود :

- افت فونداسیون بر اثر عوامل مختلف مانند رطوبت، فشارهای وارده از طبقات و کمبود ظرفیت باربری خاک

- نفوذ نمک و یا سولفات ها و مواد خورنده در بتن

- اشتباهات اجرایی و یا طراحی در سازه های بتنی

- حریق و یا آتش سوزی

- نوع مصالح مصرفی

- کرنش فونداسیون که موجب خوردگی آرماتور و در نهایت ایجاد ترک در بتن

ترک ها به دو دسته ی ترک های سازه ای و غیر سازه ای تقسیم می شوند. که هر کدام شامل ترک های مرده و زنده می باشند. باید همواره توجه نمود که در ترک های زنده ابتدا باید جلوی رشد آنها گرفته شده سپس کارهای ترمیم و مقاوم سازی انجام شود.

تقسیم بندی انواع ترک در ساختمان

ترک های ساختمانی به لحاظ ساختار

ترک های ساختمان از لحاظ ساختار به دو دسته ترک های سازه ای و ترک های غیر سازه ای تقسیم بندی می شوند.

ترک های سازه ای

ترک های سازه ای به ترک هایی گفته می شود که به دلیل ضعف در طراحی و اجرا به وجود آمده و می توانند ایمنی ساختمان را به مخاطره به اندازند. نمونه هایی از ترک های سازه ای عبارتند از ترک های به وجود آمده در تیر، ستون، دال ها و فونداسیون ساختمان.

ترک های غیر سازه ای

ترک های غیر سازه ای به ترک هایی اطلاق می گردند که به دلیل افزایش بارهای وارده بر اجزا ساختمان، تغییر میزان رطوبت، تغییر مقدار دما، یخ بندان و ... به وجود آمده اند. ترک های ایجاد شده در دیوارها، جان پناه و ... به دلیل عوامل ایجاد شده از نمونه های ترک های غیر سازه ای می باشند.

ترک های ساختمانی به لحاظ جهت

ترک های ساختمان از لحاظ جهت شامل سه حالت عمودی، افقی و مورب می باشند.

ترک های عمودی

ترک های عمودی سازه ای بوده و اگر عمق و عرضشان زیاد باشد از اهمیت زیادی برخوردارند. این ترک ها معمولاً به علل زیر بوجود می آیند :

- عدم وجود و یا کمبود شناژ قائم و وجود فاصله زیاد بین شناژها
- حرکت پی زیر دیوار
- اجرای غلط هشتگیر در تقاطع دیوارها

ترک های افقی

از دلایل ایجاد ترک های افقی و در طول دیوار می توان به موارد زیر اشاره نمود :

- به دلیل اجرای دو مرحله ای دیوار، ناپیوستگی در محل اتصال دو مرحله به دلیل نشست گرد و غبار خاک ایجاد می شود که اگر بنا محل اتصال را تمیز نکند ترک افقی ایجاد می شود.
- اگر دیوار در یک مرحله ایجاد شود، دیوار کمانش کرده و در اصطلاح شکم می دهد که از علل ایجاد ترک افقی می باشد.

ترک های مورب

ترک های با زاویه ۴۵ درجه نسبت به راستای افقی، مورب می باشند که اغلب در اثر نشست دیوار ایجاد شده و نشانه شکسته شدن دیوار است. این نوع از ترک ها بسیار خطرناک است.

ترک های ساختمانی به لحاظ عرض ترک

ترک های به وجود آمده در ساختمان دارای عرض متفاوتی بوده شامل ترک های به نازکی تارک مو که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده نبوده تا ترک های عمیق. بر این اساس انواع ترک عبارتند از:

ترک های نازک

ترک های با عرض کمتر از یک میلیمتر را ترک های نازک گویند.

ترک های متوسط

ترک های به عرض یک تا دو میلیمتر را ترک های متوسط گویند.

ترک های ضخیم

ترک های به عرض بیش از دو میلیمتر را ترک های ضخیم گویند.

بررسی ترک در ساختمان

بررسی ترک و مشخص کردن میزان تغییرات در عرض ترک، به منظور شناخت نوع و عامل ایجاد ترک و در ادامه انتخاب راهکار مناسب ترمیم آن از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. ابزارها و روش های مختلفی جهت پایش ترک ایجاد شده در ساختمان ها وجود دارند که عبارتند از:

- استفاده از خط کش فلزی
- استفاده از میکروسکوپ
- سیستم Plastic Tell Tale
- روش Glass Tell Tale
- پایش ترک با استفاده از پیچ برنجی و کولیس

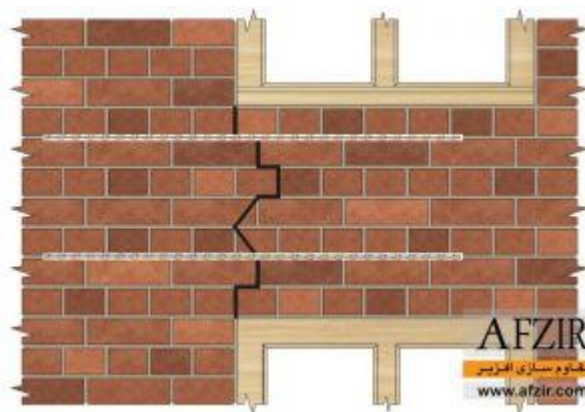


بررسی ترک به روش Plastic Tell Tale

انواع روش های ترمیم ترک در ساختمان

دوخت ترک (Crack Stitching)

روش دوخت ترک یک روش ترمیم دائم جهت ترمیم سازه ای المان های ترک خورده می باشد. در روش دوخت ترک با حفر شیارهای متقاطع بر مسیر ترک و نصب گیره های دوخت در جهت مناسب نسبت به مسیر ترکیه به وسیله چسب اپوکسی، المان ترک خورده تعمیر می گردد.



ترمیم ترک در دیوار به روش دوخت

ترمیم ترک با استفاده از کامپوزیت FRP

یکی دیگر از روش های ترمیم ترک و مقاوم سازی در ساختمان استفاده از نوارهای از جنس الیاف کربن (CFRP Straps) می باشد. در این روش پس از ترمیم موضعی سطح ترک خورده، نوارهایی از جنس الیاف

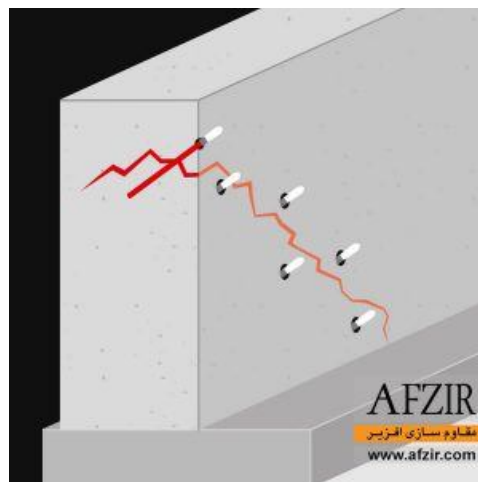
کربن با استفاده از رزین اپوکسی مطابق شکل نشان داده شده در زیر بر روی سطح آسیب دیده چسبانده می شود.



ترمیم ترک با استفاده از کامپوزیت FRP

تزریق رزین اپوکسی (Epoxy Resin Injection)

ترمیم ترک به روش تزریق عبارت است از تزریق اپوکسی با فشار پمپ (Epoxy injection) به داخل ترک. مواردی که ترک کاور بتن را رد کرده یا ترک قابل دسترس نیست از این روش استفاده می شود. تزریق اپوکسی به دو روش تزریق از سطح (سوراخ کردن در راستای ترک) و از عمق (سوراخ کردن از بغل با زاویه‌ی ۴۵ درجه) انجام می شود. در مناطق مرطوب می توان از [رزین اپوکسی](#) آب دوست و در مناطق سرد نیز از اپوکسی زودگیر استفاده کرد. قبل از تزریق باید سطح بتن را ترجیحاً بوسیله فرچه سیمی یا مینی فرز تمیز کرده، تزریق را انجام داده سپس دوباره سطح را صاف می کنیم. همچنین در مواردی که سطح از لحاظ ارتفاع یکسان نباشد، تزریق بایستی از پایین ترین نقطه آغاز و به بالاترین نقطه ختم گردد. بوسیله تزریق اپوکسی، ترک‌ها کاملاً پر شده و بتن در دو لبه ترک متصل می‌شود. رزین یک لایه چسبنده ایجاد کرده و بتن را در برابر آب، سولفات‌ها و سایر مواد خورنده محافظت می‌کند. همچنین امکان خرابی بر اثر سیکل ذوب - انجماد و خوردگی فولاد را کاهش می‌دهد.



ترمیم ترک به روش تزریق رزین

خورانش ثقلی رزین (Gravity Filling)

در این موارد تزریق اپوکسی که تحت وزن خودش (gravity filling) پر می شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش برای عضوهای بتنی افقی نظیر پل ها ، کف پارکینگ ها، سقف های طبقات و سطوح مشابه کاربرد

دارد. در واقع برای ترک هایی که به قسمت پایین سطح افقی گسترش پیدا کرده باشد، بکار می‌رود. با انجام درست این روش ترمیمی می توان جلوی نفوذ آب، سولفات ها و سایر مواد خورنده را که ممکن است به آهستگی باعث توسعه خرابی در اطراف ترک شوند را گرفت اما امکان عدم توقف کامل آنها وجود دارد.



خورانش ثقلی رزین-

مسیریابی و آب بندی (Sealing & Routing)

برای ترمیم ترک های محدود به کاور که سازه ای نیز نمی باشند، می توان از روش مسیریابی و آب بندی (sealing & routing) استفاده کرد. در این روش عرض ترک را کمی زیاد کرده سپس با ماده خمیری پر می کنیم. این روش ترمیم ترک در مقایسه با روش تزریق رزین که به نیروی متخصص جهت تزریق نیاز می باشد ساده تر است.



مسیریابی و آب بندی (Sealing & Routing)

افزودن آرماتور (Additional Reinforcement)

یکی دیگر از روش های ترمیم، اضافه کردن آرماتور می باشد. در این روش سوراخ هایی در صفحه ترک ایجاد کرده و پس از تمیز نمودن آنها به درزگیری سطحی ترک ها، پر کردن سوراخ ترک با اپوکسی و در نهایت قرار دادن سریع میلگردهای درون سوراخ می پردازیم. قطر کاربردی میلگرد در این روش معمولاً بین ۱۳ تا ۱۶ میلی متر می باشد که در هر سمت ترک، حداقل نیم متر امتداد دارد. اپوکسی باعث اتصال میلگردها به جداره های سوراخ شده و صفحه ترک را می پوشاند. در نهایت مقطع المان به حالت اولیه باز می گردد. مطابق با اصل ضروری در مقاوم سازی سازه های بنایی در برابر زلزله برای داشتن استحکام و مقاومت در برابر بارهای لرزه ای به هم پیوسته بودن سقف، دیوار و فونداسیون به یکدیگر است. در اصطلاح به این عملکرد سازه،

عملکرد جعبه ای می گویند. علاوه بر این که سازه باید عملکرد جعبه ای خوبی داشته باشد میزان باز شو های آن نیز باید محدود و به خوبی مهار شوند.

مودهای شکست دیوار آجری

مود های شکست یک دیوار آجری مجزا به دو گروه عمده شکست درون صفحه ای و شکست برون صفحه ای تقسیم می شوند.

در حالت شکست درون صفحه ای معمولا یکی از مودهای زیر رخ می دهد:

۱. در صورتی که دیوار تحت بار قائم زیاد بوده و نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر از واحد باشد، مود شکست

برشی رخ می دهد.

۲. همچنین اگر نسبت ارتفاع به طول بزرگتر از واحد باشد (تقریبا برابر ۲) و مقدار بار قائم بسیار زیاد باشد، باز هم امکان شکست برشی وجود دارد.

۳. در صورتی که مقاومت برشی دیوار، اندک بوده و بار جانبی در مقایسه با بار قائم، بزرگ باشد، شکست برشی – لغزشی رخ خواهد داد. در این حالت معمولا نسبت ارتفاع به طول دیوار در حدود ۱،۵ به ۱ می باشد.

در صورتی که مقاومت برشی دیوار به اندازه کافی باشد و نسبت ارتفاع به طول ستون در حدود ۲ به ۱ باشد، آنگاه شکست خمشی رخ می دهد. در حالت شکست برون صفحه ای معمولا یکی از مودهای زیر رخ می دهد:

۱. اگر تنش کششی منجر به شکست، موازی درزهای افقی آجرها باشد، ترک قائم در ارتفاع دیوار به وجود می آید. این شکست معمولا هنگامی رخ می دهد که طول دیوار بزرگ باشد.

۲. اگر تنش کششی منجر به شکست، عمود بر درزهای افقی آجرها باشد، ترک افقی در میانه دیوار به وجود می آید. این شکست معمولا هنگامی رخ می دهد که ارتفاع دیوار بزرگ باشد.



شکست دیوار آجری تحت اثر زلزله

تعمیر سطوح

تعمیر سطوح از روش های متداول مقاوم سازی می باشد. تکنیک های متفاوتی برای تعمیر سطوح وجود دارد که مهم ترین آن ها ملات با تور سیمی و بتن پاشی است. این روش ها به طور طبیعی با پوشش خارجی سطوح بر روی ظاهر معماری و تاریخی بنا تاثیر گذار بوده و از جمله نقاط ضعف این نوع مقاوم سازی می باشد.

ملات با تور سیمی

ملات با تور سیمی شامل چندین لایه از شبکه میلگرد با قطر کم و با چشمه های بسیار ریز است که در شکل زیر نمایش داده شده است. ملات سیمان با مقاومت بالا با ضخامتی در حدود ۱۰ الی ۵۵ میلی متر بر روی مش مذکور ریخته می شود.

بتن پاشی

یکی دیگر از روش های موجود برای **مقاوم سازی ساختمان** های بنایی غیرمسلح پوشش دادن دیوار و یا پایه ها با شاتکریت می باشد. روش کار بدین صورت است که پوشش بتن بر روی شبکه آرماتورهای موجود پاشیده می شود. در این روش اگر طراحی به درستی صورت پذیرد، فولادهای استفاده شده برای مسلح سازی ظرفیت بالایی از جذب انرژی را به ساختمان های بنایی غیرمسلح اضافه می نمایند. باید توجه نمود که حداقل آرماتورهای شبکه همان میزان آرماتور افت و حرارت جهت کنترل ترک باشد. برای این که دیوار و بتن پاشیده شده مانند یک جسم مرکب عمل کنند باید اتصالات برشی میان آن دو تعبیه شود. برای پر نمودن سوراخ هایی که برای ثابت نگه داشتن اتصالات برشی به کار می روند نیز می توان از اپوکسی و یا گروت سیمانی استفاده نمود. ضخامت پوشش بتن پاشیده نیز با توجه به میزان لرزه خیزی منطقه متفاوت است که حداقل ۶۰ میلی متر می باشد. جهت ایجاد چسبندگی لازم میان آجر و پوشش شاتکریت باید ابتدا آجر را به حالت اشباع در آورد تا آب موجود در شاتکریت را جذب نکرده و سبب ایجاد ترک در بتن پاشیده شده نشود و سپس لایه ای مانند اپوکسی را بر روی آجر پاشیده و بعد از آن بتن پاشیده شده را بر روی اپوکسی شوت نماییم. اگر بتن پاشی به طریقه بالا صورت پذیرد می توان مقدار بار نهایی ساختمان های بنایی غیر مسلح را افزایش دهد. در این روش، شبکه میلگردهای افقی و قائم به دیوار نصب شده و لایه هایی از بتن به روی شبکه میلگردها پاشیده می شود. این روش شامل مراحل ذیل می باشد:

- تعبیه شبکه میله گردهای افقی و قائم و اتصال آن بوسیله آرماتورهای دوخت به دیوار موجود
- عملیات پاشیدن بتن به ضخامت معین به سطح شبکه آرماتور (شاتکریت)
- اتصال شبکه آرماتوره فونداسیون

روش اصلاح نقاط ترک خورده

این روش به منظور ایجاد عملکردی یکنواخت و یکپارچه در دیوار بنایی استفاده می شود. مراحل اجرای آن به صورت خلاصه به شرح زیر است:

- الف) مقاوم سازی سازه بنایی با استفاده از دوخت قطعات بنایی در محل ترک با استفاده از میله فولادی
- ب) مقاوم سازی سازه بنایی با استفاده از دوخت قطعات بنایی در محل ترک با استفاده از شبکه فولادی (مش فولادی)

افزودن دیوارهای داخلی یا پشت بند جهت بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان بنایی

این روش یک روش **مقاوم سازی** ارزان برای سازه های بنایی محسوب می شود. این روش با مصالح مرسوم و ارزان قابل اجرا است. برای اجرای این روش نیروی متخصص لازم نیست و حتی معمارهای محلی در روستاها نیز قادر به اجرای آن هستند.

پر کردن باز شوها

یک روش ساده برای مقاوم سازی در صفحه یک دیوار برشی پر کردن بخش و یا تمام پنجره ها یا درهای غیر ضروری میباشد. این عمل از تمرکز تنش که در گوشه های باز شوها تولید می شود و سبب ایجاد ترک است جلوگیری می نماید و همچنین باعث افزایش سختی جانبی دیوار می شود. نکته مهم در پر کردن باز شوها این است که قسمت های پر شده با قسمت های موجود به شکل در هم تنیده اجرا شود و یا نوعی از اتصالات برشی بین آن دو تعبیه شود. این عمل باعث ایجاد عملکرد واحد دیوارهای موجود با باز شوهای پر شده می گردد.

بزرگ کردن باز شوها

متنابا بزرگ کردن باز شوها به وسیله حذف کردن بخشی از مصالح بنایی نیز یکی از راه حل های پیشنهادی می باشد. در این روش چون شکست برشی دیوار باعث آسیب بیشتر خواهد شد، در بعضی حالات با افزایش نسبت ارتفاع به طول دیوار میتوان شکست برشی را تبدیل به شکست خمشی نمود. این تکنیک برای افزایش نسبت طول به عرض پایه ها به کار برده می شود و باعث می شود تا رفتار آن از حالت برشی به حالت خمشی تبدیل شود. این عمل شکل گسیختگی را از حالت شکننده به شکل پذیر تغییر می دهد.

افزایش بارهای قائم

افزودن بارهای قائم به ساختمانهای بنایی غیرمسلح معمولاً عملکرد دیوار را تحت بارهای داخل و خارج از صفحه بهبود می بخشد. بارهای قائم در کنار هم نکه داشتن ماتریس بنایی کمک میکند و همچنین بعد از وقوع ترک سبب تولید نیروهای اصطکاکی بیشتری می شود. در این روش، **مقاوم سازی** میتواند به سادگی و با افزودن وزن سازه انجام شود و یا با اجرای میله و یا کابلهای پس تنیده تنش قائم بر روی اجزا دیوار اعمال کرد. البته این روش باید به دقت انجام گیرد زیرا به مانند نیروهای قائم تنشها روی ساختمان های بنایی غیرمسلح افزایش می یابد و می تواند به گسیختگی شکننده ناشی از خرد شدگی منجر شود. همچنین طراح باید افت کشش ناشی از خزش و انقباض مصالح بنایی را در محاسبات وارد نماید.

تقویت اتصالات دیوار دیافراگم

یک مشکل عمده در رابطه با ساختمانهای بنایی غیرمسلح ناکافی بودن و یا کاهش یافتن پیوستگی میان دیوار و دیافراگم است. این ارتباط از آنجا که سبب مهار بندی دیوار می شود و در مورد دیافراگم های صلب دیوارهای موزی را مجبور می نماید تا با یکدیگر عمل کنند، معیار مهمی در رفتار کلی ساختمان می باشد.

تعبیه شبکه میله گردها و اتصال آن به دیوار موجود

۱. کلیه اندوهای دیوار آجری (پلاستر گچ و گچ خاک) با هر ضخامتی که دارند برداشته شوند. در حین انجام این کار باید توجه شود که به سطح دیوار آجری آسیبی نرسد، همچنین بعد از برداشتن پلاسترها باید سطح دیوار با برس فلزی تمیز شود.

۲. سوراخ هایی به فاصله افقی ۲۵ سانتی متر و عمودی ۵۰ سانتی متر از هم به عمق ۲۰ سانتی متر روی دیوار آجری به منظور قرار دادن آرماتورهای دوخت ایجاد شود. آرماتورهای برشگیر (دوخت)، با طول حداقل ۳۰ سانتی متر که قسمت انتهایی آنها به صورت قلاب ۱۸۰ درجه با طول خم ۴ سانتی متر می باشد، در سوراخ ها قرار داده می شوند و در نهایت سوراخها با چسب اپوکسی پر شده تا آرماتورها در جای خود محکم شوند (انجام این مرحله با روش خاص شرکت مجری تخصصی کاشت بلا مانع است).

۳. در مرحله بعد باید شبکه هایی از آرماتورهای افقی و قائم روی سطح دیوار قرار داده شوند. به همین منظور آرماتورهای $\Phi 6$

با فواصل افقی و عمودی ۶ سانتی متر روی دیوار قرار داده شده و برای اینکه آرماتورها در روی دیوار آجری محکم شوند تا در هنگام بتن پاشی از آن جدا نگردند، لازم است در محل تقاطع با آرماتورهای برشگیر با مفتول به آنها وصل شوند.

۴. در این مرحله باید عملیات شاتکریت، تا جایی که شبکه های آرماتور درون بتن مدفون گردند، انجام شود. به همین منظور باید ضخامت بتن پاشیده شده بر سطح دیوار حداقل ۸ سانتیمتر باشد. مقاومت بتن شاتکریت حدود ۱۰۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع می باشد. پاشش شاتکریت به دیوار به دو صورت پاشش « تر » و « خشک » قابل انجام است. در روش پاشش تر بتن تازه با هوای فشرده مخلوط شده و با پمپ به دیوار بنایی پاشیده می شود. در روش پاشش خشک بتن خشک با هوا مخلوط شده و پس از هدایت به محل، با آب پرفشار نیز مخلوط و سپس به دیوار پاشیده می شود. در روش پاشش خشک، فشار هوا در پمپ برای

طول لوله ۳۰ متر باید حداقل ۰,۳ مگا پاسکال باشد و برای طولهای بیشتر به ازای هر ۰,۵ متر، ۰,۳۳ مگا

پاسکال به فشار اضافه می شود. همچنین فشار آبی که در روش خشک به مخلوط تزریق می شود حداقل ۰.۱ مگا پاسکال بیشتر از فشار هوای مخلوط است.

تزریق اپوکسی و گروت

برای اجرای این روش بایستی تجهیزات تزریق **رزین** خریداری شود؛ ولی این روش میزان مصرف رزین را به سبب اینکه تنها نیاز به پر کردن ترک ها وجود دارد، بهینه می کند. برای اجرای این روش نیز حداقل یک نیروی متخصص لازم است. از جمله راههای **متداول مقاوم سازی** بوده که در این روش برای برگرداندن مقاومت ساختمان های بنایی غیر مسلح، ترکها و حفره های توخالی که به علت تخریب شیمیایی و فیزیکی سطح یا فعالیتهای مکانیکی به وجود آمده است توسط گروت یا اپوکسی پر می شود. برتری این روش نسبت به روش تعمیر سطوح عدم تخریب سطح و به تبع آن حفظ زیبایی معماری و بافت تاریخی ساختمان های بنایی غیر مسلح است. موفقیت این روش به تکنیک تزریق و یکسان بودن مقاومت، مدول الاستیسیته و مشخصات حرارتی گروت با مصالح بنایی موجود بستگی دارد.

برای ترکهای کوچکتر از ۵ میلیمتر از رزین اپوکسی و برای ترکهای بزرگتر و حفره ها میتوان از گروت های ۸ میلیمتر پیشنهاد شده که از گروت سیمانی همراه با ماسه استفاده نمود. برای سوراخهای بزرگتر از ۸ میلی متر پیشنهاد شده که از گروت سیمانی که دارای سیمان پر تلند تیپ ۳ همراه با مواد منبسط کننده و نسبت آب به سیمان ۷۵ استفاده شود.

دوخت فونداسیون

برای مقاوم سازی کامل ساختمان باید مقاوم سازی فونداسیون آن نیز در صورت نیاز به نحو مطلوبی انجام گردد تا بتواند نیروهای ناشی از زلزله را به خاک منتقل نماید. در صورت عدم مقاومت کافی فونداسیون تحت لنگرهای خمشی و نیروهای برشی وارده از طرف سازه دچار گسیختگی می گردد. همچنین در صورت عدم کفایت سطح تماس فونداسیون با خاک زیر آن احتمال تسلیم شدن خاک و در نتیجه ایجاد نشست ماندگار خاک زیر پی افزایش می یابد. برای تقویت فونداسیون موجود می توان شبکه هایی از آرماتور در اطراف پی موجود در نواحی ضعیف قرار داد و بتن ریزی نمود. اتصال فونداسیون الحاقی به فونداسیون جدید توسط آرماتورهای دوخت صورت می گیرد. از آن جایکه مصالح لازم برای اجرای این روش به آسانی پیدا می شود و اجرای آن نیز بسیار راحت است، هزینه این روش بسیار پایین است. برای اجرای این روش نیروی متخصص لازم نیست و حتی معمارهای محلی در روستاها نیز قادر به اجرای آن هستند و این مسائل این روش را به عنوان روشی آسان برای مقاوم سازی دیوارهای بنایی ترک خورده مبدل کرده است.

ساختمان های مصالح بنایی

منظور از ساختمان های مصالح بنایی ساختمان هایی هستند که با آجر، بلوک سیمانی یا سنگ یا خشت ساخته می شوند و در آن ها تمام یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارها با مصالح بنایی تحمل می گردد. ساختمان های بنایی را می توان به دودسته ساختمان های بنایی کلاف بندی شده و ساختمان های بدون کلاف بندی تقسیم کرد.



ساختمان

مصالح بنایی

رفتار کلی ساختمان های بنایی در برابر نیروها

رفتار ساختمان های بنایی به عواملی مانند نیروی چسبندگی مصالح ساختمانی بستگی دارد که باعث پیچیدگی در بررسی رفتار سازه بنایی شده است.

از آنجاکه مصالح آجر و ملات به شدت ترد هستند هنگامی که تحت اثر نیرو قرار می گیرند پس از رسیدن به حداکثر مقاومت خود، یک باره دچار شکست شده و خرد می شوند، برخلاف بتن مسلح و فولاد که پس از رسیدن به حداکثر مقاومت خود وارد مرحله الاستو پلاستیک و سپس پلاستیک شده و تغییر شکل های قابل توجهی خواهند داد.

در نتیجه ضعف اساسی ساختمان های آجری در مقابل زلزله، کمبود مقاومت نیست، بلکه کمبود نرمی (شکل پذیری) است میزان خسارت سازه های نرم تا حدودی تابع **بزرگی زلزله** است و در زلزله ای بسیار مخرب با بزرگی بیش از ۷، در ناحیه مرکزی زلزله بیشترین آسیب مشاهده می شود و از مرکز که دور می شویم به تدریج از شدت آسیب کاسته می شود.

مقاوم سازی ساختمان های بنایی

عوامل مؤثر در تخریب ساختمان ها با مصالح بنایی به موارد زیر دسته بندی می شوند:

- استفاده از آجرهای بی کیفیت
- استفاده از ملات سست و ضعیف
- بی نظمی در پلان در جهت عمودی
- ضعف دیوارهای باربر
- کمبود المان های عمودی محدود کننده
- وجود کنسول و بالکن نامناسب

خسارات مشاهده شده در ساختمان های بنایی

از جمله خسارت ها و خرابی هایی که در ساختمان های بنایی مشاهده شده است می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ایجاد ترک و جدا شدن دیوارها از یکدیگر
- فروریختن خارج از صفحه دیوارها
- ایجاد ترک های مورب کششی در کنار بازشوها
- فروریختن دیوارهای باربر و سقفها

- از بین رفتن انسجام سقف و فروریزش آجرهای طاق ضربی
- خسارت در گوشه ساختمان و فروریزش جزئی

روش‌ها مقاوم سازی ساختمان‌های بنایی

۱. یکپارچه ساختن سقف

سقف طاق ضربی باید منسجم و در صورت نیاز صلب گردد. در سقف های طاق ضربی برای ایجاد انسجام و یکپارچگی از روش های زیر استفاده می شود:

۱،۱ ابتدا خاک، سنگ و نخاله روی آجرها را برداشته و مطابق شکل میلگردهایی را به تیرها جوش می دهند. سپس روی سقف بتن ریزی شده تا پوششی به ضخامت حداقل ۵ سانتی متر روی تیرها ایجاد شود. در مواردی که استفاده از روش فوق میسر و اقتصادی نباشد می توان از روشهای دیگر استفاده نمود، البته درجه صلبیت به اندازه روش گفته شده در بالا افزایش نمی یابد.

۱،۲ اندود سقف را از داخل هر اتاق به صورت ضربدری برداشته می شود و یک جفت میلگرد نمره ۸ یا تسمه را مطابق با شکل، به زیر تیر آهن ها جوش داده می شود.

۱،۳ روی دیوارهای باربر، فاصله بین تیرها را تمیز کرده پس از جوش دادن سه میلگرد نمره ۱۸ به تیرها روی آنها بتن ریزی به گونه ای انجام می شود که کلاف افقی به ارتفاع حداقل ۲۵ سانتی متر ایجاد شود.

۲. روش و تکنیک مقاوم سازی با FRP

تکنیک پایه مقاوم سازی با FRP که در طیف گسترده ای به کار می رود، شامل روش چسباندن نوارهای تولید شده پیش ساخته است. نکته ای که در اینجا وجود دارد این است که در راستای نوارهای FRP و یا ایافی که به کمک رزین اپوکسی در محل به کامپوزیت FRP تبدیل می شوند، باید تا حدی که امکان اجرایی وجود دارد، در جهت محور اصلی تنشهای کششی عضو باشد.

۲،۱ تقویت دیوارهای آجری بدون اعضای بتنی یا فولادی محیطی

الف: تقویت برشی

دیوارهایی که نسبت بعدی (ارتفاع به طول) کمی دارند دچار شکست برشی شده و ترک های قطری در آنها ظاهر می شوند. مود شکست در این حالت به صورت ترد در دیوار رخ می دهد. برای جبران ضعف برشی دیوار، صفحات FRP در راستای طول دیوار و به صورت افقی در دو وجه دیوار نصب می گردد. نحوه عملکرد FRP بدین صورت می باشد که پس از ایجاد ترک های برشی در دیوار، کرنش در FRP در آن منطقه افزایش یافته و نیروها به FRP منتقل می گردد. نتایج نشان میدهد تقویت برشی دیوار با FRP سبب افزایش مقاومت و شکل پذیری دیوار می گردد.

ب: تقویت خمشی

برای جبران ضعف خمشی دیوار، صفحات FRP در راستای ارتفاع و به صورت قائم در دو طرف نصب می گردد. در صورتی که کامپوزیت FRP به منظور افزایش مقاومت خمشی بر روی دیوار به صورت ارتعایی استفاده شود، لازم است که انتهای آن به نحو مناسبی در پای دیوار مهار گردد تا نیروهای درون این صفحات به تکیه گاه پای دیوار انتقال یابد. برای مهار انتهای صفحات خمشی می توان از مقطع نبشی فولادی در مجاورت تکیه گاه دیوار که بر آن پیچ می گردد و یا از صفحه برشی FRP عمود بر لایه FRP خمشی در انتهای لایه استفاده نمود.

در صورتیکه از هر دو تقویت خمشی و برشی به صورت قرارگیری ایاف به طور افقی و عمودی بر روی دیوار به صورت توأم استفاده گردد افزایش سختی، مقاومت و شکل پذیری بیشتر از حالتی قبل است. در این سیستم قرارگیری ایاف به صورت افقی خود مهار کننده ایاف خمشی می باشند.

۳. تعبیه میلگرد در دیوار و روکش بتنی

یکی از روشهای موثر تقویت ساختمانهای موجود ایجاد روکش بتنی روی دیوارهاست. در این روش شبکه ای از میلگردهای افقی و قائم روی دیوار نصب می شود و سپس بر روی آن بتن می پاشند. استفاده از روکش بتنی برای سازه های بتنی و آجری نتایج مفیدی در برداشته و تجربه نشان م دهد که بتن پاشیده شده به خوبی درزها را پر کرده، اتصال مناسبی را فراهم می آورد. در این روش سطوح آجری کاملاً تمیز می شوند و برای ایجاد چسبندگی بیشتر سطوح صاف زخمی می گردند. قبل از پاشیدن بتن، زیرکار را کمی تر می کنند اما نه چندان که بتن فرو ریزد. همچنین قبل از شروع، قسمتهایی از زیرکار را که خرد شده یا سست است تراشیده و عمل پاشش در چند لایه صورت می گیرد تا گودشدگی به حداقل برسد و در نقاطی که پاشش خوب انجام نشده و به عوارضی همچون گودشدگی، برآمدگی و یا پوسته شدن، انجامیده است بتن تراشیده، دوباره پاشیده می شود. با ایجاد روکش بتنی در سطوح بیرونی یا درونی دیوارهای آجری می توان مقاومت لرزه ای ساختمان را به طور چشمگیری افزایش داد، آنگاه این دیوارهای آجری-بتنی می توانند مانند دیوارهای برشی بتنی نیروی جانبی زلزله را بگیرند. برای ایجاد روکش بتنی باید در دیوار شیارهای قائم ایجاد کرد تا پس از پاشیدن بتن این شیارها همچون کلاف قائم عمل کرده و علاوه بر تقویت مقاومت خمشی دیوار، روکش بتنی و دیوار آجری را به طور مناسبی با هم یکپارچه کنند.



مقاوم سازی ساختمان بنایی با ایجاد روکش بتنی

استفاده از میلگرد ها در مرحله خطی اثری در افزایش مقاومت و سختی ندارد و میلگرد ها باعث افزایش مقاومت و سختی در مرحله پلاستیک می شوند و این افزایش تا مرحله جاری شدن میلگردها ادامه می یابد و پس از آن افت نمودار اتفاق می افتد. با افزایش حجم میلگرد نیز سختی و مقاومت دیوار در مرحله خطی تغییر نمی کند. ولی در مرحله پلاستیک باعث افزایش سختی و مقاومت نسبت به حالت های قبلی می شود و این افزایش تا مرحله جاری شدن میلگردها ادامه می یابد ولی پس از آن افت می کند. با مقایسه الگوی گسترش در دیوار های بدون تقویت و تقویت شده می توان به این نتیجه رسید که شکست غالب، شکست برشی است. اما استفاده از میلگردها باعث پراکندگی ترک ها شده و از تخریب زود هنگام دیوار جلوگیری می کنند. فاصله کلاف های قائم S می تواند بین ۲ تا ۲,۵ متر باشد. در کنار بازشوها حتما باید کلاف قائم قرار گیرد. ایجاد کلاف افقی گرچه می تواند عملکرد روکش را بهبود بخشد اما به سبب آنکه بارهای قائم به دیوار آجری وارد می شوند، کندن شیار افقی می تواند خطرناک باشد و لذا استفاده از کلافهای افقی ایجاد شده با روکش بتنی توصیه نمی شود.

در موردی که ایجاد روکش در سطوح بیرونی ممکن نباشد باید سطوح داخلی را روکش کرد. باید توجه داشت که در محل اتصال دیوار به سقف، روکش قطع می شود و در نتیجه نیروهای خمشی وارد به روکش در طبقه بالا به طبقه پایین منتقل نمی شوند.

۴. استقرار دیوارهای جدید

در حین زلزله، ساختمانهای نامتقارن در معرض اثرات پیچش واقع می شوند. با جداسازی قسمتهایی از ساختمان می توان مرکز جرم را بر مرکز سختی منطبق نمود که در این صورت پیچش در ساختمان اتفاق نمی افتد. همچنین با ایجاد دیوارهای جدید (مصالح بنایی) می توان واحدهایی را به طور اختصاصی قرینه نمود. ضمناً استقرار دیوارهای متقاطع، قدرت باربری بیشتری برای دیوارهای طویل ساختمانهایی نظیر خوابگاهها، مدارس و غیره فراهم می نماید. تنها باید دقت شود که تغییرات معماری بوجود آمده باعث از بین رفتن کاربری های مدنظر نگردد.

مساله اصلی در این چنین اصلاحاتی، ایجاد گیرداری بین دیوارهای جدید و قدیم می باشد. عموماً با استفاده از کلیدهای فولادی و بتنی تعبیه شده در دیوارهای قدیمی این گیرداری تامین می شود. در استقرار دیوارهای جدید باید به یک نکته توجه داشت که دیوار جدید باید در طول مدت بهره برداری ساختمان مستقر بوده و هیچگاه برداشته نشود. بنابراین در مقاوم سازی ساختمانهایی که امکان تغییر کاربری دارند باید همواره به این نکته توجه نمود که پس از تغییرات کاربری دیوارهای جدید از معماری ساختمان حذف نشود.

روش های تعمیر، حفاظت و مقاوم سازی سازه های بتنی و سازه های با مصالح بنایی

تعمیر، بهسازی و مقاوم سازی سازه های بتنی

روش های بهسازی و مقاوم سازی سازه های بتنی بسیار متنوع و گسترده هستند و ممکن است در شرایط مختلف از روش های متفاوتی استفاده گردد. اما بر مبنای نتایج مطالعات فنی بهسازی و مهندسی ارزش، مقایسه چند معیار بر اساس تحلیل ریسک و تجربه برای انواع سازه های مورد نیاز به مقاوم سازی موثرترین و بهینه ترین روش انتخاب می گردد. ملاحظات اصلی ترمیم و بهسازی سازه ها مطابق ذیل می باشد:

- تثبیت و پایا سازی مصالح موجود
- ارضای معیارهای کفایت سازه ای
- سازگاری فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی مصالح بهسازی با مصالح موجود
- پیوستگی و انتقال نیروی بین مصالح جدید و قدیم
- پایش دوام و مسائل نگهداری و بهره برداری
- امکان پذیری و سهولت و قابلیت اطمینان کیفیت اجرا
- اقتصاد طرح
- حداقل ریسک طراحی و اجرا و بهره برداری
- حصول حداکثر افزایش عمر مفید

پایا سازی و بهره گیری از مقاومت مصالح موجود در مرحله اولیه در تعمیر سازه های بتن مسلح

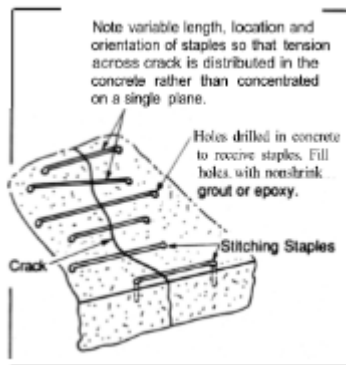
پایا سازی و بهره گیری از مقاومت مصالح موجود یکی از روش های موثر برای بهینه نمودن طرح بهسازی و مقاوم سازی می باشد و می تواند بصورت های زیر انجام می شود:

- استفاده از مواد بازدارنده خوردگی از نوع آلی و بر پایه آمینه کربوکسیلات (MCI) برای پایاسازی بتن مسلح جهت امکان استفاده از تسلیح موجود برای عملکرد درازمدت سازه در مواردی که آسیب در سازه از طریق فرایند خوردگی صورت پذیرفته است.

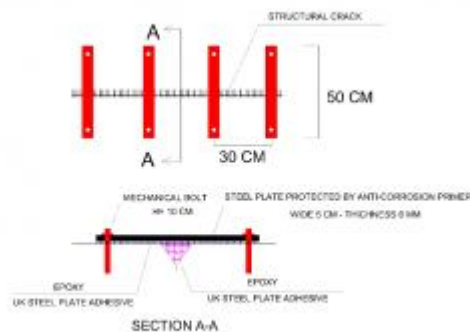
- شرط دیگر استفاده از تسلیح موجود وجود قلاب یا مهار کافی برای تبادل نیرو بین بتن و فولاد در سازه‌های بتنی می‌باشد.
- تزریق و دوخت ترک‌ها از دیگر الزامات پایا سازی بتن مسلح موجود است.
- ترمیم سطحی بتن (خصوصاً در ناحیه کاور) بوسیله ملات های پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر و الیاف

MCI، به دلیل توانایی در مهاجرت به عمق بتن و رسیدن به سطح فلز تقویت کننده بتن و تشکیل یک لایه مولکولی محافظ روی سطح فلز می‌تواند موجب حفاظت آرماتور شود، زمانی که در تماس با آن قرار می‌گیرد. MCI می‌تواند هم حین ساخت بتن با افزوده شدن به آب یا مستقیماً به میکسر (Mixer) و هم برای سازه‌های بتنی موجود بکار رود. در سازه‌های بتنی موجود، MCI روی سطح سازه اعمال می‌شود و توسط خاصیت موینگی (Capillary) به داخل سازه کشیده می‌شود. در واقع بتن مانند یک اسفنج عمل می‌کند و موجب مکش بازدارنده به داخل می‌شود. وقتی MCI در تماس با فولاد قرار می‌گیرد، یک جاذبه یونی به سطح فولاد (آرماتور) پیدا می‌کند و لایه مولکولی محافظ را روی آن تشکیل می‌دهد که تمایل آن به سطح فلز، خیلی بیشتر از آب، یون‌های کلراید و سایر عوامل خورنده است. در مواردی که عمق کاور بتن بالاتر از ۷ سانتیمتر می‌باشد جهت حفاظت و کنترل خوردگی سازه‌های موجود می‌توان از روش تزریق MCI استفاده نمود در مرحله تعمیر سازه‌ها در روش‌های جدید ملات های تعمیر الیاف دار اصلاح شده با پلیمر و حاوی مواد بازدارنده خوردگی تولید شده است که نیازهای پایا سازی و حفاظت سازه‌های موجود را در مرحله تعمیرات برآورده می‌سازد.

یکی دیگر از الزامات پایا سازی سازه‌های موجود تزریق و یا دوخت ترک‌ها در سازه‌های بتن مسلح می‌باشد. تزریق ترک‌ها در بتن با مواد پایه اپوکسی انجام می‌گردد. دوخت ترک‌ها می‌تواند بروش بخیه زنی (Stitching) که در دستورالعمل‌های ACI 224-1R-93 جزئیات آن موجود می‌باشد، صورت پذیرد.



جزئیات دوخت ترک‌ها بوسیله تسمه فلزی و چسب پایه اپوکسی



جزئیات دوخت ترک‌ها بوسیله تسمه فلزی و چسب پایه اپوکسی در پروژه مقاوم‌سازی پل‌های محور قم به اراک

استفاده از تسلیح خارجی در عملیات بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌ها

استفاده از تسلیح خارجی بروش استفاده از شیت الیاف FRP و یا لمینیت FRP

الیاف کربن مصالح دارای مقاومت و سختی زیاد هستند که عمدتاً به دو شکل ورقه، تسمه برای تقویت سازه‌های بتنی استفاده می‌شوند. استفاده از FRP به دلیل داشتن مزیت‌های سرعت اجرای بالا، وزن کم، عدم ایجاد محدودیت معماری و مقاومت بالا در عملیات مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های بتنی توجیه‌پذیر می‌باشد. برای دال‌ها بتنی تقویت خمشی با ورقه برای سطوح کوچک و تسمه برای طول‌های متوسط و بلند استفاده می‌شود. استفاده از ورقه‌های الیاف کربن برای سطح زیر دال به دلیل اجرای بسیار مشکل در حالت متداول و قابلیت اطمینان چسبیدن ورق خصوصاً در حضور نیروهای دینامیکی و ارتعاشی به سطح عملاً مرسوم نیست. ملاحظات و ضوابط آئین‌نامه‌ای طراحی و استفاده از الیاف کربن در ACI440-2R-2008 بطور مفصل ارائه شده و موارد مهم آن بصورت زیر می‌باشد:

- نیاز به کنترل کیفی دقیق حین اجرا و اطمینان از استفاده از رزین و چسب سازگار با رزین الیاف
 - نیاز به نیروی ماهر آموزش دیده
 - نیاز به تسطیح و زیر سازی سطح برای نصب
 - نیاز به طراحی دست بالا برای کنترل مد شکست ناگهانی در حالت حدی نهایی
 - نیاز به لایه حفاظتی ملات برای برآورده نمودن معیارهای آتش‌سوزی
- استفاده از FRP در دور پیچ کردن کامل یا پوشاندن قسمتی از المان، موجب افزایش مقاومت برشی تیرها و ستون‌های بتنی می‌شود. ایجاد محصورشدگی المان سازه‌ای با FRP همچنین می‌تواند باعث افزایش شکل‌پذیری اعضای تحت بارگذاری فشاری و خمشی و بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه شود. در یک عضو خمشی چسباندن FRP به ناحیه کششی بتن، به گونه‌ای که الیاف موازی با محور طولی عضو باشد، باعث بهبود مقاومت خمشی در المان خواهد شد.



استفاده از لمینیت الیاف کربن در فرآیند مقاوم‌سازی پایه‌های پل‌های راه‌آهن محور بافق-بندرعباس



استفاده از شست الیاف کربن در فرآیند مقاومسازی پایه‌های پل‌های راه‌آهن محور بافق-بندرعباس

استفاده از تسمه فولادی در فرایند بهسازی و مقاومسازی سازه‌ها

استفاده از تسلیح فولادی زیر سطحی و یا خارجی یکی از روش‌های متداول تقویت سازه‌های بتنی است. تسلیح زیر سطحی با ایجاد شیار روی سطح بتن و نصب میلگرد یا تسمه با چسب مخصوص و پوشاندن آن در صورت لزوم با ملات ترمیمی انجام می‌شود. در حالت تسلیح روی سطح نیز فقط تسمه فولادی با چسب مخصوص و در صورت عدم کفایت انتقال برش توسط چسب، با اضافه نمودن بولت‌های برشگیر نصب می‌شود. ملاحظات این روش عبارت‌اند از:

- استفاده از چسب مناسب برای ایجاد مکانیزم مناسب انتقال نیروی پیوستگی
- استفاده از ماده پوششی مناسب ضد خوردگی روی فولاد بطوری که پیوستگی فولاد و بتن یا چسب تحت تاثیر قرار نگیرد.
- نیاز به نیروی ماهر آموزش‌دیده
- نیاز به تسطیح و زیرسازی سطح برای نصب یا ایجاد شیار برای قرار دادن تسمه در داخل آن
- استفاده از تسلیح خارجی با فولاد از لحاظ آیین‌نامه‌ای محدودیت مقاومت بتن ندارد و برای مقاومت‌های کمتر از ۱۷ مگاپاسکال ضوابط سازه‌های بنایی مسلح بر مبنای آیین‌نامه IBC می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
- به لحاظ ایجاد امکان عملکرد تسمه‌ها و آرماتورها باهم لازم است ملات تعمیری استفاده شده در زیر کار سطح می‌بایست دارای چسبندگی در آزمایش Pull off حداقل معادل ۱/۴ مگا پاسکال و مقاومت فشاری حداقل معادل مقاومت بتن بستر باشد.

آب‌بندی سازه‌های موجود بروش آب‌بندی منفی

آب‌بندی سازه‌های موجود به دو روش مثبت و منفی صورت می‌پذیرد که در صورتی که دسترسی به سطح تماس بتن با آب وجود نداشته باشد می‌توان اجرای عملیات آب‌بندی را به روش منفی انجام داد. از مهمترین معایب این روش امکان ایجاد خوردگی در سازه بتن مسلح بدلیل مستغرق بودن آن در آب می‌باشد که می‌توان با بهره‌گیری از مواد بازدارنده خوردگی از نوع الی آرماتورهای سازه را محافظت نمود. کلیات روش و عملیات آب‌بندی بروش منفی در سازه‌های موجود بشرح ذیل می‌باشد:

- استفاده از آنی‌گیرهای پایه سیمانی جهت کنترل نشست آنی آب
- استفاده از ملات‌های تعمیری آب‌بند جهت تعمیر سطوح آسیب‌دیده به سبب نشست آب
- اجرای یک و یا چند لایه مواد پلیمری پایه کریستالیزه شونده بر روی سطح (لازم به توضیح می‌باشد مطابق آیین‌نامه ACI212-3-R استفاده از مواد پایه سیلیکاتی در سطوحی که در تماس با هد هیدرواستاتیکی آب قرار دارد مجاز نمی‌باشد)

در خصوص وجود درزهای اجرایی و یا انبساطی در سازه موجود می‌توان به یکی از دو روش زیر عمل نمود:

- در صورت وجود درزهای اجرایی و انبساطی خشک که امکان نشت آب در آینده وجود دارد (مثلاً به دلیل عدم جاگذاری واتراستاپ) می‌توان از ماستیک های آب‌بند و شکل‌پذیر استفاده نمود.
- در صورت وجود درزهای اجرایی و انبساطی دارای نشت آبی می‌توان از نوار هیبریدی آب‌بند آماده متشکل از یک لایه PVC، اکسید آلومینیوم و الیاف آرامید استفاده نمود.



پروژه آب‌بندی سطوح و درزهای لاینینگ تونل‌های خط ۶ متروی تهران بروش آب‌بندی منفی مقاوم سازی بناهای تاریخی و بهبود عملکرد بناهای تاریخی، آثار باستانی و ساختمان های بنایی معمولاً با افزایش مقاومت و یا شکل پذیری دیوارها و انسجام بخشی به کل ساختمان صورت می‌گیرد. وزن زیاد، ضعف مقاومتی ملات، کمبود نسبی دیوارهای بنایی (تراکم کم) و وجود بازشوهای بزرگ باعث ضعف مقاومتی ساختمان شده و ساختمان با وجود انسجام کافی ممکن است قابلیت عملکردی مورد نظر را نداشته باشد. بناهای تاریخی ایران ساختمان هایی است که عموماً از مصالحی نظیر خشت، گل، سنگ و چوب ساخته شده است. سه ویژگی عمده آسیب پذیری اینگونه بناها را در برابر حوادث طبیعی نظیر زمین لرزه بالا می‌برد که عبارتند از : فرسودگی مصالح، مقاوم نبودن مصالح و سنگین بودن سازه. براین اساس راهکارهای مقاوم سازی ساختمان بناهای تاریخی در برابر لرزه باید متضمن رفع این نواقص باشد.

بناهای تاریخی ساخته شده با مصالح آجر و ملات در ایران بسیار است، بسیاری از این بناها در حال حاضر در وضعیت مناسبی قرار ندارند و دچار مشکلات بسیار زیاد سازه‌ای و غیر سازه‌ای شده اند، بنابراین ایجاد روشی که بتواند راه حلی را برای مداخله در عناصر سازه‌ای و غیر سازه‌ای بنا با بهره‌گیری از فن‌آوری‌های نوین ارائه کند ضروری به نظر می‌رسد. بهره‌گیری از سرعت و دقت بالا و توان عملکردی این تکنیک‌ها، در صورت کاربرد صحیح و حفظ اصالت بنا و انجام به دست متخصصین این امر می‌تواند بسیار مفید باشد. تقویت سازه در بناهای تاریخی فرآیندی است که از طریق شناسایی همه جانبه بنا و به کارگیری تکنیک‌ها و مصالح سازگار با بنا به انسجام و در نتیجه پایداری بیشتر بنا کمک می‌کند و بهره‌وری از بنا را در سطحی ایمن فراهم می‌سازد. در این راستا ارزیابی اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای بنا گامی مؤثر در جهت به دست آوردن برنامه‌ای منسجم برای تقویت بنا محسوب می‌شود، زیرا با شناسایی و ارزیابی ویژگی‌های ساختاری بنا است که می‌توان همگام با طبیعت بنا، روش‌های مناسبی را برای تقویت آن ارائه کرد. هم‌زمان با پیشرفت علوم و استفاده از فن‌آوری‌های نوین در تمامی عرصه‌ها، عرصه بناهای تاریخی نیز باید به فراخور خود از این فن‌آوری بهره‌مند شود. این فن‌آوری‌ها هم در عرصه مصالح و هم در تکنیک‌های اجرایی می‌توانند پاسخگوی بسیاری از نیازها باشند. برای آشنایی و دستیابی به نتایج بهینه در استفاده از این تکنیک‌ها، ضرورت دارد مطالعاتی جامع انجام شود که در آن روش‌ها شناسایی و نحوه اجرای صحیح آن‌ها در بناهای تاریخی مشخص و معرفی شوند.

رفتار کلی سازه بنایی در برابر نیروها

پرداختن به سازه بنایی کار بسیار مشکلی است، چون این امر وابسته به برگه‌های خاص اعضای سازه و همین‌طور نیروهای چسبندگی میان مواد ساختمانی است. این پیچیدگی در مورد ساختمان‌های بنایی تاریخی بسیار بیشتر است زیرا در این بناها برگه‌های سازه‌ای وظیفه پایداری و پایداری کل بنا را به وسیله انتقال بارها و نیروهای وارده از طریق مسیرهای بار بر عهده دارند. نیروهای چسبندگی بین مواد نیز به وسیله ملات تامین می‌شود. سیستم ایجاد شده از این فرم‌ها و مواد در نهایت توده ساختمانی یکپارچه‌ای ایجاد می‌کند. این توده ساختمانی مقاومت بسیار خوبی در برابر نیروهای فشاری از خود نشان می‌دهد اما در برابر نیروهای کششی مقاومت بسیار ناچیزی در این بناها دیده می‌شود. از آنجاکه مصالح آجر و ملات به شدت ترد هستند هنگامی که تحت اثر نیرو قرار می‌گیرند پس از رسیدن به حداکثر مقاومت خود، یک باره دچار شکست شده و خرد می‌شوند، برخلاف بتن مسلح و فولاد که پس از رسیدن به حداکثر مقاومت خود وارد مرحله الاستو پلاستیک و سپس پلاستیک شده و تغییر شکل‌های قابل توجهی خواهند داد. در واقع ضعف اساسی ساختمان‌های آجری در برابر زلزله کمبود مقاومت نیست بلکه کمبود نرمی (شکل‌پذیری) است.

مراحل انجام مقاوم سازی در بناهای تاریخی

- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ساختگاه بنا: شامل اطلاعات مربوط به بستر و پی بنا
- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پیرامون بنا: شامل اطلاعات مربوط به ساختمان‌های مجاور بنا مانند بررسی وجود عضو مشترک و آسیب‌شناسی بناهای مجاور
- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سازه بنا: شامل اطلاعات مربوط به مصالح، دیوارهای باربر، سیستم سازه‌ای، دال‌ها، اتصالات اعضای سازه‌ای، اتصالات اعضای غیر سازه‌ای
- تحلیل مناسب و دقیق برای تعیین راه کارهای عملی
- ارائه طرح مقاوم سازی
- برآورد هزینه‌ها
- اجرای طرح مقاوم سازی



مقاوم سازی بناهای تاریخی با الیاف FRP

انتخاب روش مقاوم سازی:

پس از جمع آوری و تحلیل اطلاعات موردنیاز باید روش مقاوم سازی بنا که شامل انتخاب مصالح و تکنیک های مناسب است انتخاب شود. از آنجا که بناهای تاریخی ظرافت ها و حساسیت های خاص خود را دارند هر گونه دخالتی در آن ها باید با در نظر گرفتن حساسیت های ویژه این بناها انجام شود. روشی که برای مقاوم سازی این بناها انتخاب می شود باید پاسخ گوی موارد چندگانه زیر باشد:

۱. نیاز به کمترین تخریب در بنا داشته باشد
۲. سختی سازه را افزایش دهد زیرا توزیع نیروی زلزله در بنا به نسبت سختی اعضا انجام می شود
۳. همزمان با رفع نیازهای دینامیکی سازه به لحاظ استاتیکی هم بنا را تقویت کند
۴. شکل پذیری اعضا را در برابر نیروها افزایش دهد
۵. حتی المقدور بار اضافی به سازه بنا وارد نشود و مصالح سبک استفاده شود
۶. بیشترین میزان یکپارچگی را در بنا ایجاد کند
۷. مصالح استفاده شده با مصالح بنا سازگاری داشته باشد
۸. حتی المقدور به صورت مخفی اجرا شود و در نظام زیبایی شناسی و معماری بنا اختلال ایجاد نکند

از میان مصالح و روش های به کارگیری آن ها در روش های نوین مقاوم سازی می توان به استفاده از مصالح FRP و همین طور ملات های تزریقی اشاره کرد. در این مقاله روش استفاده از میل های FRP به همراه گروت برای تقویت سازه های بناهای تاریخی آجری معرفی می شود. در این روش جرزها و دیوارهای بنا که در اثر فرسایش ملات و خرد شدن آجرها و تاثیر دیگر موارد آسیب رسان مقاومت خود را تا حد زیادی از دست داده اند بهسازی می شوند. در واقع در این روش هسته مقاومی درون عضو ایجاد می شود که وظیفه انتقال نیروهای عمودی به پی و همینطور مقاومت در برابر نیروهای جانبی را بر عهده خواهد داشت. به علاوه تزریق ملات تا آنجا ادامه پیدا می کند که تمام فضاهای داخلی و پوک عضو پر شود، به این ترتیب شبکه یکپارچه ای از ملات ضمن انسجام ملات قدیمی تمامی اجزا را به هسته مرکزی وصل می کند. لایه های نازک FRP (عموما در حدود ۳/۱ میلی متر) روی دیوار، ستون یا تیر ابنیه اجرا می شوند تا مقاومت آن را افزایش دهند؛ در عین اینکه حداقل تغییر را در ظاهر بنا ایجاد کنند. این لایه های FRP را می توان به کمک پوشش ها یا رنگ از معرض دید خارج کرد. دیگر راهکارهای بر پایه FRP شرکت افزیر نیز مانند میلگردها و ورقه های کربن اجرا شده به روش NSM را می توان درون شکاف های سازه اجرا کرد تا آن ها را کاملا غیرقابل مشاهده کنند.

مزایای استفاده از الیاف FRP:

- دیوارها، کفها، تیرها و ستون ها را می توان با این روش مقاوم سازی کرد.
- حداقل افزایش ابعاد در اعضا سازه (عموما ۱۳ میلی متر)
- تعمیرات انجام شده کاملا قابل پنهان کردن هستند.
- سرعت اجرای بالا
- صرفه اقتصادی فراوان
- آب بند کردن ابنیه تاریخی و فرهنگی
- افزایش و حفظ یکپارچگی ابنیه باستانی و تاریخی
- جلوگیری از ایجاد خوردگی در دیوارها، کفها، تیرها و ستونها ابنیه تاریخی و فرهنگی



مقاوم سازی سازه های تاریخی با الیاف FRP

روش اجرا در جرزها و ستون ها

در این روش محل های شناسایی شده برای کارگذاری المان با مته های مخصوصی به صورت حفره های عمودی سوراخ می شوند و المان که از جنس میله های GPFR و یا CFRP است درون حفره قرار داده می شود. قطر این حفره ها در حدود ۱۰ سانتی متر است و قطر میله های FRP نیز حدود ۸ میلی متر است. این حفره ها تا درون پی امتداد پیدا می کنند. پس از قراردادن این میله ها درون حفره ها با عبور دادن میله از یک صفحه حفره بسته می شود و میله نیز با استفاده از بسط های مخصوص به صفحه بسته می شود. سپس با استفاده از دستگاه تزریق ملات با پایه سیمانی و با فشار به درون حفره تزریق می شود. تزریق ملات تا آنجا ادامه می یابد که ملات تمامی فضاهای خالی و پوک درون عضو را پر کند و بیرون بزند.

روش اجرا در دیوارها

در این روش محل های شناسایی شده برای کارگذاری المان در دیوار با مته های مخصوص به صورت حفره های افقی سوراخ می شوند و سپس المان هایی از جنس میله های GFRP و یا CFRP درون حفره قرار داده می شود. قطر این حفره ها در حدود ۲۵ میلی متر است و قطر میله های FRP نیز حدود ۸ میلی متر است. پس از قراردادن این میله ها درون حفره ها با قرار دادن صفحاتی از جنس FRP در دو طرف دیوار حفره بسته می شود و میله با استفاده از بست های مخصوص به صفحات بسته شده و تنیده می شود. این حفره ها باید با افق زاویه ای در حدود ۱۵ درجه داشته باشند تا برای حصول نتیجه بهتر چند ردیف آجر را در ارتفاع قطع کنند. سپس با استفاده از دستگاه تزریق ملات با پایه سیمانی و با فشار به درون حفره تزریق می شود. تزریق ملات تا آنجا ادامه می یابد که ملات تمامی فضاهای خالی و پوک درون دیوار را پر کند و بیرون بزند. در نهایت با اجرای نازک کاری روی دیوار و یا اجرای مجدد تزئیناتی که برای اجرای مقاوم سازی برداشته شده بودند نمای محل اجرای مقاوم سازی در دیوار مخفی می شود.

روش اجرا در کف طبقات:

برای افزایش مقاومت و یکپارچگی بیشتر بنا لازم است مقاوم سازی در کف طبقات نیز انجام شود. روش اجرا در کف ها به این صورت است که در محل های مشخص شده شیپهایی با عمق و ابعاد مشخص در امتداد کف طبقه ایجاد می شود، در محل هایی که لازم است تقویت از داخل جرز یا ستون عبور کند می توان مانند روش

گفته شده در مورد جرز و ستون ها، با استفاده از مته حفره های افقی در عضو ایجاد نمود. پس از ایجاد شیار و قرار دادن المان تقویتی شیار با ملات پر شده و در نهایت سطح شیار پرداخت شده و کف سازی اجرا می شود. با اجرای این روش در واقع در بنا کلاف بندی افقی انجام می شود. با تقویت جرزها و ستون ها نیز عملا کلاف بندی قائم در بنا اجرا می شود. بنابراین در فاز اجرایی باید در محل تلاقی کلاف های عمودی و افقی اتصال مناسب میان تقویت های افقی و عمودی ایجاد شود و تزریق به صورت یکپارچه انجام شود.

خدمات مقاوم سازی شرکت افزیر برای ساختمان های بنایی:

- مقاوم سازی با استفاده از [کامپوزیت های FRP](#)
- مقاوم سازی به وسیله تسلیح دیوار و شاتکریت پیرامونی
- مقاوم سازی بوسیله تزریق رزین اپوکسی و هاردنر
- مقاوم سازی و آب بندی بوسیله تزریق پلی اورتان
- اجرای دیوار برشی به موازات دیوار آجری موجود جهت کنترل تغییر مکان سازه
- ایجاد پشت بند و هسته مقاوم
- تقویت کلاف و اتصالات
- مقاوم سازی با استفاده از میلگردهای قائم و پس تنیدگی دیوار
- مهار شکست خمشی و برشی به کمک میلگردهای افقی
- یکپارچه سازی سقف و دیوار
- مقاوم سازی و تقویت بازشوهای بزرگ
- تقویت اتصال دیوار به سقف و پی
- مهار دیوارهای سازه ای، غیر سازه ای و نما
- مهار شکست برشی به وسیله کمرکش
- تقویت پی دیوارهای روکش شده (شاتکریت شده)

استفاده از تسمه فولادی در فرایند بهسازی و مقاوم سازی سازه ها

استفاده از تسلیح فولادی زیر سطحی و یا خارجی یکی از روش های متداول تقویت سازه های بتنی است. تسلیح زیر سطحی با ایجاد شیار روی سطح بتن و نصب میلگرد یا تسمه با چسب مخصوص و پوشاندن آن در صورت لزوم با ملات ترمیمی انجام می شود. در حالت تسلیح روی سطح نیز فقط تسمه فولادی با چسب مخصوص و در صورت عدم کفایت انتقال برش توسط چسب، با اضافه نمودن بولت های برشگیر نصب می شود. ملاحظات این روش عبارتند از:

- استفاده از چسب مناسب برای ایجاد مکانیزم مناسب انتقال نیروی پیوستگی
- استفاده از ماده پوششی مناسب ضد خوردگی روی فولاد بطوری که پیوستگی فولاد و بتن یا چسب تحت تاثیر قرار نگیرد.
- نیاز به نیروی ماهر آموزش دیده
- نیاز به تسطیح و زیرسازی سطح برای نصب یا ایجاد شیار برای قرار دادن تسمه در داخل آن
- استفاده از تسلیح خارجی با فولاد از لحاظ ایمن نامهای محدودیت مقاومت بتن ندارد و برای مقاومت های کمتر از ۱۷ مگاپاسکال ضوابط سازه های بنایی مسلح بر مبنای آیین نامه IBC می تواند مورد استفاده قرار گیرد.
- به لحاظ ایجاد امکان عملکرد تسمه ها و آرماتورها باهم لازم است ملات تعمیراتی استفاده شده در زیر کار سطح می بایست دارای چسبندگی در آزمایش Pull off حداقل معادل ۱/۴ مگا پاسکال و مقاومت فشاری حداقل معادل مقاومت بتن بستر باشد.



مقاوم‌سازی دال پل‌های راه‌آهن محور قم به کاشان با استفاده از تسمه فلزی



مقاوم‌سازی لاینینگ بتنی تونل راه تبریز-شیبلی با استفاده از تسمه فلزی

استفاده از روش فروسیمان در مقاوم‌سازی سازه‌ها

فروسیمان نوعی از بتن مسلح می‌باشد که متفاوت از بتن مسلح یا تحکیم‌یافته‌ی معمولی می‌باشد. در درجه اول از نظر اجزای تسلیح‌کننده متفاوت بوده که دارای پخش منظم بوده و شامل مش چندلایه با فاصله نزدیک که کاملاً در ملات سیمانی درگیر شده‌است، می‌باشد. فروسیمان شکل گرفته از مواد کامپوزیتی رفتاری متفاوت در استحکام، تغییر شکل و کارهای نیازمند پتانسیل اجرایی نسبت به بتن معمولی داشته و بنابراین به عنوان نوعی مواد و مصالح جدا تقسیم‌بندی می‌شود.

ضوابط و چگونگی استفاده از تکنولوژی فروسیمان در فرآیند بهسازی سازه‌ها منطبق بر آیین‌نامه ACI 549-1R-93 می‌باشد. یکی از مصالح مورد استفاده در تکنولوژی فروسیمان تری دی پانل‌های سه بعدی خرپایی می‌باشد. استفاده از پانل‌های سه بعدی پیش ساخته ضد خوردگی با تقویت موضعی با میلگرد، باعث افزایش سرعت و کیفیت اجرا و مقاومت برشی و کششی و قابلیت جذب انرژی می‌شود. این پانل‌ها از میلگردهای نورد سرد با مقاومت مشخصه جاری شدن حداقل ۷۰۰ مگاپاسکال بافته می‌شوند که در دو قطر ۳ و ۴ میلی‌متر با شبکه ۱۰ در ۱۰ سانتیمتر و میلگردهای مایل عرضی با زاویه ۴۵ درجه می‌باشند.

این سیستم بدلیل سه بعدی بودن، انعطاف‌پذیری، پیوسته بودن و عدم نیاز به هرگونه اتصال عملاً تمام معایب سیستم‌های متداول را به مزیت تبدیل می‌نماید. قابلیت خم کردن دستی و نصب سریع و آسان از مزایای ویژه این پانل‌ها می‌باشد. مشخصات فنی مصالح و طرح بصورت زیر می‌باشد. برای تبدیل بتن پاشیده معمولی به بتن پاشیده پایا بطوری که بتواند نقش بتن معمولی را در طول عمر مفید سازه ایفا نماید لازم است موارد زیر در دستور کار قرار گیرد:

- پایایی میلگردها و جلوگیری از خوردگی

- کنترل و پیشگیری از ترک خوردگی بتن پاشیده
- افزایش چسبندگی به میلگرد و کاهش تخلخل خصوصاً در بارهای ارتعاشی در زمان گیرش بتن پاشیده
- افزایش میزان مقاومت الکتریکی محصول نهایی و دوام آن
- آببندی
- جهت دستیابی به موارد فوق از راهکارهای زیر استفاده می‌شود:
- اضافه نمودن افزودنی MCI جهت پایایی فولادها
- اضافه نمودن الیاف پلیمری اصلاح شده به میزان متوسط ۱ تا ۳ کیلوگرم در مترمکعب جهت حذف ترک و کاهش نیاز به اجرای درز و میلگرد طولی
- اجرای لایه غشای مایع آببند



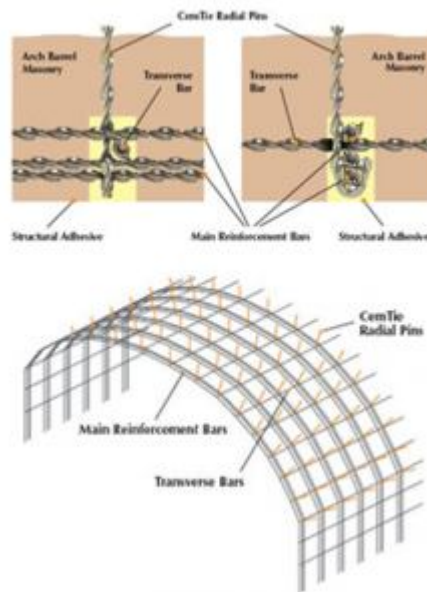
طرح مقاومسازی تونل ریزشی بلیتی شوشتر با استفاده از سیستم پانل تری دی پانل با میلگرد اضافی روبه و شاتکریت

ترمیم و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بنایی و سنگی

تعمیر سازه‌های بنایی و سنگی بوسیله بازیابی و پایا سازی ملات داخل بنایی‌های سنگی جهت امکان استفاده از مقاومت فشاری و برشی واحد بنایی با عملیات تزریق مواد پایه سیمانی و یا آهکی اصلاح شده در توده سنگ و انجام عملیات مقاومسازی لرزه‌ای سازه‌های بنایی بروش تسلیح سطحی با میلگردهای با مقاومت بالا (هلی بار) می‌تواند صورت پذیرد. روش تسلیح سطحی با میلگردهای هلی بار که از روش‌های نوین بهسازی سازه‌های سنگی و بنایی موجود است، در حال حاضر یکی از مرسوم‌ترین راهکارهای بهسازی سازه‌های سنگی در دنیا می‌باشد. در این سیستم از میله‌های مهار فولادی ضد زنگ با مقاومت بالا به منظور ایجاد یک شبکه آرماتور برای مسلح سازی سازه استفاده می‌شود همچنین در محل تقاطع این شبکه آرماتور، از میله‌های فولادی که به صورت شعاعی داخل قوس قرار می‌گیرند استفاده می‌شود. تمام میله‌های مورد استفاده در این روش به وسیله‌ی رزین‌های مخصوص تزریق شده و با پوشش ایجاد شده روی آن‌ها هیچ‌گونه تغییری در ظاهر پل ایجاد نمی‌شود. بطور کلی مزایای این سیستم عبارتند از:

- اقتصادی، موثر و قابل اطمینان
- افزایش مقاومت و شکل‌پذیری و بهبود مد خرابی بدون ایجاد سختی اضافی و توزیع نامتجانس بار
- رفتار سازه‌ای بهبود یافته
- اجازه‌ی حرکات عادی سازه در حین اجرا
- طراحی بر اساس آنالیز کامپیوتری دقیق سازه
- نصب سریع و همخوان

- نصب مرحله‌ای و مقطعی
- حداقل تغییرات در اصل و هویت پل و حفظ ظاهر اصلی
- بدون اختلال در ترافیک راه و راه‌آهن



چگونگی استفاده از روش تسلیح سطحی با هلی بار بصورت شماتیک

عملکرد ساختمان‌های بنایی در برابر زلزله به مشخصات هندسی و سازه مقاوم آنها در برابر بارهای جانبی بستگی دارد. در ساختمان‌های کوتاه و صلب با شکل پذیری کم و پریود ارتعاشی کم مانند ساختمان‌های بنایی غیرمسلح شتاب ایجاد شده بر ساختمان‌ها خیلی بیشتر از شتاب زمین در هنگام وقوع زمین لرزه است. شتابهایی که در حین زمین لرزه بر ساختمان‌های بنایی وارد می‌شوند گاهی تا حدود شتاب ثقل نیز میرسد. نیروهای ایجاد شده در ساختمان بر اثر شتاب زمین در حین زلزله، بسیار بزرگتر از نیروی طراحی سازه بنایی است. برای ائتلاف این نیروهای اضافی از خاصیت شکل پذیری ساختمان استفاده می‌شود. هر چه ساختمان بیشتر توانایی تغییر شکل پلاستیک را داشته باشد می‌تواند قبل از فروریختگی نیروهای بیشتری را تحمل کند. نمونه واضح این مورد ساختمانهای فولادی هستند که دارای پریود ارتعاشی زیاد و تغییر شکل زیاد هستند در حالی که ساختمانهای بنایی به محض رسیدن به مقاومت نهایی دچار فروریختگی می‌شوند. در حالی که ممکن است مقاومت یک ساختمان بنایی از سازه فولادی معادل آن بیشتر باشد. در نتیجه پایداری نهایی هر ساختمان بستگی به توانایی آن سازه برای تغییر شکل پلاستیک دارد و در ساختمانهای بنایی مسلح که با تعبیه کلافهای قائم و افقی و یا استفاده از میلگرد که به منظور مسلح کردن ساختمان در بندهای ملات و یا در بین اجزای بنایی قرار می‌دهند؛ با بهبود خاصیت شکل پذیری در برابر نیروهای زلزله مقاوم تر می‌شوند.

انواع عملکرد ساختمان‌های بنایی در زلزله

عدم شکل پذیری در ساختمان‌های بنایی غیرمسلح سبب می‌شود که روند تخریب و یا ایجاد ترک‌ها در این ساختمان‌ها تدریجی نباشد. ساختمانهای بنایی تا حد معینی می‌توانند نیروهای زلزله را تحمل کنند و در این حد تنها ترک‌های جزئی در آن‌ها ایجاد می‌شود ولی با افزایش نیرو بطور ناگهانی دچار فروریختگی جزئی یا کلی می‌شوند.

از دلایل عملکرد ضعیف ساختمان‌های بنایی در برابر نیروهای زلزله می‌توان به ترد بودن مصالح و وزن زیاد که سبب جذب انرژی بیشتر در هنگام وقوع زلزله و سختی زیاد اشاره کرد. هنگامی که ساختمان در معرض زمین لرزه قرار می‌گیرد نیروهای اینرسی متناسب با وزن ساختمان بر آن وارد می‌شود این نیروها براساس

حرکات رفت و برگشتی زلزله و مؤلفه های آن هر لحظه تغییر کرده و ارتعاشات پیچیده ای را سبب می شوند. این ارتعاشات به نحوه اتصال دیوارها به یکدیگر و مهار آن ها در سقف و کف بستگی زیادی دارد وقتی دیوارها اتصال مناسبی با یکدیگر نداشته باشند ارتعاش آنها یکنواخت نبوده و هر کدام دچار خمش خارج از صفحه شده و ترکهایی در گوشه های دیوار یا نزدیک انتهای دیوار ایجاد می شود. زیرا دیوارها مقاومت کششی لازم برای مقابله با نیروهای ایجاد شده از زلزله را ندارند. هنگامی که در ساختمانهای بنایی مسلح دیوارها به وسیله کلافهای قائم به یکدیگر و بوسیله کلافهای افقی بصورت مناسب در کف و سقف مهار می شوند، ارتعاش کل دیوارها با یکدیگر به صورت همزمان صورت می گیرد و خمش خارج از صفحه که در دیوارها ایجاد می شود کمتر اهمیت دارد و دیوارها بر مقاومت ساختمان در برابر نیروهای زلزله می افزایند. در این ساختمان ها چون دیوار از چهار طرف به تکیه گاه های صلب متصل است رفتار بسیار مناسبی از خود نشان می دهد.

در مقاومت ساختمانهای بنایی در مقابل زلزله فاکتورهای اصلی زیر تأثیر زیادی دارند:

- کیفیت مصالح و اجرا
- شکل و سیستم سازه
- دیوارهای ساختمان
- سیستم سقف
- انسجام اجزاء ساختمان
- اجزای غیرسازه ای
- سیستم کلاف
- خاک محل

در این قسمت به شرح مختصر و ضعف های هر کدام از این عوامل می پردازیم:

کیفیت مصالح و اجرا

پایین بودن کیفیت و مقاومت مصالح بنای ساختمان مانند آجر و بلوک سیمانی، یکی از دلایل آسیب پذیری ساختمانهای بنایی است. استفاده از ملاتهای نامناسب مانند ملات گل و یا رعایت نکردن نسبت مناسب ماسه و سیمان که موجب پایین آمدن مقاومت کششی دیوارهای ساخته شده با این مصالح می شود از عوامل دیگر نامناسب بودن کیفیت مصالح بنایی است.

در مورد اجرا نیز مواردی چون عدم هم پوشانی کافی بین واحدهای بنایی و قرارگرفتن درزهای عمودی در امتداد یکدیگر و یا درزهای افقی با ضخامت زیاد و درزهای قائمی که از ملات پر نمی شوند، باعث کاهش شدید مقاومت خارج از صفحه و کاهش ظرفیت برشی درون صفحه دیوار می شود. زنجاب نکردن آجر قبل از استفاده در دیوار باعث جذب آب از ملات و کاهش مقاومت و چسبندگی آنها می شود و استفاده از روش هشستگیر در اتصال دیوارها، باعث اتصال نامناسب دیوارها و کاهش مقاومت خارج از صفحه دیوار می گردد.

شکل و سیستم سازه ای

از اشکالات عمده در سیستم سازه ای به موارد زیر می توان اشاره کرد:

(۱) کافی نبودن مسیر بار

نیروهای زلزله از طریق دیافراگم های افقی سقف به دیوارهای برشی منتقل و نهایتاً به پی و زمین منتقل می شوند سیستم مقاوم باربر جانبی باید مسیری مستقیم میان دیافراگم ها، دیوارهای برشی و پی تشکیل دهد، هر نوع اتصال و یا وجود بازشوها و یا حذف یک جزء از این سیستم می تواند کار این سیستم را مختل کند.

(۲) کافی نبودن مقاومت برشی ساختمان

در صورتی که مقاومت دیوارهای برشی در امتداد نیروهای زلزله کم و یا تراکم آن ها نسبت به سطح ساختمان بدلیل وجود بازشوهای بزرگ در دیوار کم باشد مقاومت برشی ساختمان در برابر نیروی زمین لرزه کافی نخواهد بود.

۳) توزیع نامتقارن دیوارها در پلان

این مورد سبب ایجاد پیچش در ساختمان شده و پیچش در نواحی بحرانی تنش در دیوارها را افزایش می دهد. استفاده از دیوارهای باربر در یک جهت از فرم های نامناسب سازه می باشد که در این صورت دیوارهای جهت دیگر که نمی تواند مقاومت قابل قبولی در مقابل نیروهای زلزله داشته باشند و در نتیجه دچار گسیختگی برشی و دچار خمش خارج از صفحه می شوند و ساختمان فرو می ریزد.

۴) توزیع نامناسب سختی در ارتفاع

تغییرات سختی در اثر نامنظمی در طبقات مختلف شامل طبقه ضعیف، طبقه نرم، نامنظمی هندسی قائم طبقات، نامنظمی در وزن می باشد. این دیوار موجب جذب نیروهای زیاد در دیوارهای ترازای که دچار تغییرات ناگهانی شده است می شود.

۵) اثر ساختمانهای مجاور

ساختمان هایی که در کنار یکدیگر هستند ولی درز انقطاع مناسب ندارند به دلیل هم فزونی بودن ارتعاشات در حین زمین لرزه ممکن است به یکدیگر ضربه بزنند. مخصوصاً در ساختمان های مجاور هم که سقف طبقاتشان در یک تراز باقی نیست ممکن است در اثر ضربه حین زلزله متحمل خسارات بسیار بیشتری شوند. در ساختمان هایی که دارای اشکال هندسی نامتقارن در پلان هستند می توان با ایجاد درز انقطاع مناسب از ایجاد تغییر شکل های نامنظم و تمرکز تنش در نقاط بحرانی جلوگیری کرد.

دیوارهای ساختمان

از دلایل تخریب ساختمان های بنایی آسیب پذیر بودن دیوارها است. زیاد بودن ارتفاع و مهار نبودن خارج از صفحه و طول مهار شده زیاد دیوار و وجود بازشوهای بزرگ در دیوار و یا نزدیکی بازشو به انتهای دیوار و قرار گرفتن مستقیم تیرهای باربر سقف بر روی دیوار از علل آسیب پذیری دیوارهای ساختمان های بنایی است.

سیستم سقف

استفاده از مصالح سنگین و کاهگل و آسفالت کردن های مکرر سقف ها باعث سنگین شدن سقف ها می شود که نه تنها باعث افزایش نیروهای جانبی ساختمان می شود بلکه ارتعاش قائم سقف ها را نیز موجب می شود. وجود سقف های انعطاف پذیر باعث ایجاد ترک های قائم در اتصال دیوار یا در دیوارهای متقاطع می شود. بایستی حتی المقدور از سقفهای صلب با کلافهای خارجی استفاده شود. از معایب دیگر سقف ها می توان عدم رعایت طول تکیه گاهی مناسب برای تیرهای سقف سوی دیوار های باربر و وجود بازشو های بزرگ در سقف و زیاد بودن ابعاد دال سقف که باعث انعطاف پذیری و کاهش عملکرد دیافراگمی سقف ها خواهند شد را نام برد.

انسجام اجزای ساختمان

از بیشترین مواردی که در اکثر زلزله های گذشته در ساختمان های بنایی تخریب شده دیده شده است عدم انسجام اجزاء مختلف ساختمان بوده است. ضعف در اتصال دیوارهای متقاطع و بین دیوارهای باربر با سقف و تیغ هها و دیوارها غیرساز های با سقف از مواردی است که انسجام ساختمان را تهدید می کند. استفاده از روش هشتگیر در اتصال دیوارها و یا نزدیکی بازشو به انتهای دیوار و یا عدم استفاده از مهار مناسب در اتصال سقف و دیوارها باعث ضعف در اتصال اجزاء ساختمان می شود.

اجزای غیرسازه ای

ضعف در تیغه ها و دودکش و جان پناه و نمای ساختمان و تأسیسات مکانیکی در بسیاری از زلزله ها باعث تلفات جانی و مالی شده است وجود نداشتن مهار جانبی مناسب در جان پناه و دودکش ها و اتصال ضعیف قطعات نمای ساختمان با دیوارهای سازه ای و وزن زیاد و ضخامت کم تیغه ها از جمله معایب عمده این اجزاء است.

سیستم کلاف

نبود یا ضعف در سیستم کلاف ساختمان از عوامل مهم در تخریب ساختمان های بنایی است. از عمده ضعف های سیستم کلاف بندی ساختمان محل قرارگیری و پخش نامناسب کلافها در پلان، ضعف مصالح و ضعف میلگردها می باشد. نسبت های اختلاط نامناسب و عمل آوردن ناقص بتن و استفاده از نخاله های ساختمانی در بتن کلافها، عدم طول مهاری کافی میلگردها و همپوشانی نامناسب آنها با یکدیگر و بسیاری از موارد دیگر که در بخش اجزای ساختمانی مصالح بنایی ذکر شد، از اشکالات سیستم کلاف ساختمان است که وجود این موارد باعث ناپایداری و فروریختن کلی ساختمان در بسیاری از زمین لرزه ها خواهد شد.

خاک محل

گاهی نامناسب بودن خاک و گسیختگی زمین از عوامل تخریب ساختمان های بنایی است. روانگرایی که می تواند موجب نشست پی ها و کج شدن ساختمان و در نهایت فروریختن آن شود و لغزش زمین های شیب دار که می تواند باعث نشست ناهمگون یا حرکت پی ها شود از نمونه هایی که در زلزله های گذشته بیشتر دیده شده است.

انواع مدهای شکست در دیوارهای مصالح بنایی

دیوارهای باربر در ساختمان های مصالح بنایی نقش انتقال نیروهای قائم یا ثقلی را بر عهده دارند ولی در صورت ایجاد نیروهای جانبی ناشی از زلزله همین دیوارها به کمک سقفهای صلب و کلاف ها باید این نیروها را در جهت افقی تحمل کنند. یعنی دیوارها باید قادر باشند تا خمش و برش اضافی ناشی از ارتعاش افقی ساختمان را تحمل کند. اگر سقفهای صلب به صورت نامناسب در دیوارها مهار شده باشد؛ عامل اصلی انتقال نیروی ناشی از زلزله از پی ها به ساختمان، همین دیوارهای باربر می باشند و چون سقفها بر دیوارها تکیه دارند با تخریب دیوارها احتمال فروریختن کل ساختمان وجود دارد. در نتیجه اهمیت دیوارهای باربر بیش از پیش نمایان می شود.

در اثر مؤلفه های نیروی زلزله و با توجه به نحوه و جهت اعمال بار دو نوع نیرو بر دیوارهای باربر اعمال می شود:

- بارهای صفحه ای: بارهایی که در راستای سطح دیوار اعمال می شوند.
- بارهای بر صفحه ای: بارهایی که عمود بر صفحه دیوار به آن اعمال می شوند

از نظر این نوع توزیع بارها دیوارهای ساختمان بنایی نیز به دو دسته برشی و عرضی تقسیم می شوند. دیوارهای برشی که تحت تأثیر بارهای صفحه ای هستند و دیوارهای عرضی که تحت تأثیر بارهای بر صفحه ای هستند.

دیوارهایی که بدون مهار جانبی هستند چنانچه تحت تأثیر نیروهای عمود بر صفحه خود قرار بگیرند (دیوارهای عرضی) مقاومت چندانی از خود نشان نمی دهند. در این دیوارها مقاومت جانبی دیوار به وزن و مقاومت کششی ملات بستگی دارد. در صورت مسلح شدن قائم دیوار در صورت ایجاد ترک افقی در تراز پی همچنان مقاومت خواهند کرد. در صورتی که دیوارهای عرضی در طرفین خود به وسیله دیداری متعامد مهار شوند در مورد این دیوارها که عمود بر جهت زمین لرزه هستند گسیختگی به صورت شکست خمشی خارج از صفحه صورت می گیرد و رفتار خمشی آنها مانند دال تخت دو طرفه (اگر فاصله دیوارهای متعامد با این دیوارها کم باشد) و مانند دال یک

طرفه (چنانچه فاصله دیوارهای عمودی طرفین زیاد باشد) عمل می کنند. دیوار های عرضی تحت تأثیر نیرو های اینرسی ناشی از وزن خود هستند.

در صورت اعمال نیروها به صورت صفحه ای و در امداد طول، به دلیل اینرسی زیاد دیوار در جهت نیرو، مقاومت جانبی قابل توجهی از خود نشان می دهد. در اینصورت گسیختگی دیوارهای برشی غیرمسلح به مشخصات هندسی دیوار (نسبت ارتفاع به طول) و مشخصات مصالح بستگی دارد. در این دیوارها که تمام بار جانبی زلزله را تحمل می کند تسلیح و تقویت آنها اهمیت زیادی دارد و دو نوع حالت شکست محتمل است. شکست

خمشی یا شکست برشی. در دیوار باریک بیشتر حالت شکست خمشی غالب است. یک ویژگی مشترک دیوار های آجری غیرمسلح این است که تحت شتاب دیواری که نسبت بعدی (ارتفاع به طول) کوچکی دارد بقدر کافی پهن بوده و امکان شکست خمشی در آن کم است. به عکس پی در هنگام وارد آمدن نیروی زلزله به صورت لحظه ای مادام که به حد آستانه نرسیده است آثار تخریب چندانی در آنها ظاهر نمیشود اما به محض عبور از حد آستانه دیوار تحت این نیروهای جانبی متناوباً بر روی پاشنه و پنجه تلو می خورد. در اثر این نیروی رفت و برگشتی، دیوار تا چندین سانتیمتر از پی جدا و مجدداً با یک ضربه محکم به پی، در جهت دیگر حرکت می کند. این ضربات باعث خرد شدن پنجه و پاشنه دیوار می شود و از عرض مؤثر پایه می کاهد و دیوار ضعیف می شود. در نتیجه این حرکت دیوار نیروهای افقی بزرگی ایجاد می شود که ممکن است سبب گسیختگی برشی شود.

بنابراین در نتیجه شکست خمشی دیوار، شکست برشی به صورت ایجاد ترکهای مورب در دیوار بوجود می آید و به دلیل عوض شدن جهت نیروی زلزله، به صورت ضربدری و دو طرفه در دیوار ظاهر می شود. در دیوارهای مصالح بنایی با کاهش نسبت ارتفاع به طول احتمال وقوع شکست برشی بیشتر می شود.

حالتهای شکست در دیوارهای برشی

نیروهای اینرسی در سازه در نتیجه شتاب حاصل از حرکات زمین که قابل به تغییر شکل دادن ساختمان دارند بوجود می آیند. در یک ساختمان بنایی پایه های بین دو بازشو در یک دیوار انعطاف پذیرتر از قسمت بالا و پایین بازشو هستند. بنابراین تقریباً تمامی تغییر شکل دیوار در پایه ها صورت می گیرد. در مقاطع پایین و بالای بازشوها، پایه ها بیشترین تنشهای فشاری یا کششی را متحمل می شوند. همچنین در مقطع وسط بازشو، پایه ها بیشترین تنش برشی را دارا می باشند. این تنش ها همگی بستگی به مقدار نیروی اینرسی افقی دارد. در حدود ۴ میلیون از خانه های روستایی در ایران در مقابل زمین لرزه آسیب پذیر هستند. در نظر گرفتن این مسئله، اهمیت بررسی آسیب پذیری لرزه ای خانه های سنتی را روشن می سازد. در این قسمت به طبقه بندی سازه ای خانه های روستایی ایران و توزیع آن ها در کشور پرداخته می شود. پس به شرح مواد و المانهای استفاده شده در سقف و دیوارها و اندازه های مربوط به آن ها پرداخته می شود.

در حدود ۹۷ درصد از حدود ۴ میلیون خانه روستایی در ایران که بیش از ۲۰ میلیون نفر در این خانه ها زندگی می کنند، هیچ المان مقاوم در برابر بار جانبی ندارند و در مقابل زمین لرزه ها، آسیب پذیر هستند. از طرف دیگر ایران بر روی کمر بند زلزله آلپ - هیمالیا واقع شده و زمین لرزه های مخرب زیادی را در گذشته تجربه کرده است که برخی از آنها به شرح زیر است: زلزله منجیل ۱۹۹۰ (۶۰۰۰۰ کشته)، زلزله بم ۲۰۰۳ (۶۰۰۰۰ کشته)، زلزله داهویه زرنند ۲۰۰۵ (۶۵۰ کشته)، بیشتر تلفات در مناطق روستایی بود که نشان دهنده اهمیت رسیدگی به روش های بهسازی برای این سازه ها می باشد.

المانهای سازه ای خانه های سنتی

مواد و روش های ساخت مختلف در اجزای سازه ای خانه های روستایی در ایران، استفاده می شود. این تغییرات تحت تأثیر آب و هوا و دسترسی به مواد سازنده می باشد. این نکته قابل توجه است که روستائیان از مواد و مصالح محلی برای ساخت، ستون ها، دیواره ها، فونداسیون ها و سقف ها استفاده می کنند. برای بررسی رفتار لرزه ای این خانه ها مطالعه مشخصات این المان ها ضروری است.

سقف ها

سقف های خانه های روستایی بر طبق شکل و مصالح آنها در ۴ گروه طبقه بندی می شوند. سقف های قوسی، سقف های سطح چوبی، سقف های شیبدار، و سقف های تیرچه بلوک. از حدود ۴ میلیون خانه روستایی در ایران، ۵۰ درصد دارای سقف مسطح چوبی، ۳۷ درصد سقف تیرچه، ۶ درصد سقف شیبدار و ۵ درصد دارای انواع سقف های قوسی و ۲ درصد دارای انواع دیگری از سقف ها هستند.

• سقف‌های قوسی

مواد مورد استفاده در این نوع از سقف‌های شامل، آجر، خشت، ملات گل، و مخلوطی از گاه و گل به عنوان پوشش هستند. امروزه از آجر و ملات ماسه سیمان استفاده می‌شود. با توجه به شکل معماری این نوع سقف‌ها به انواع زیر طبقه بندی می‌شوند. سقف‌های گنبدی، سقف‌های قوسی استوانه‌ای، سقف قوسی هلالی شکل، سقف‌های قوسی پیچیده، سقف قوسی مربعی. سقف‌های قوسی بیشتر در مناطق گرم و خشک واقع در استان‌های مرکزی ایران شبیه، کرمان، جنوب خراسان و یزد یافت می‌شوند.

• سقف‌های چوبی مسطح

این سقف‌ها، نوع سنتی از سقف‌های تیرچه با استفاده از تیرهای چوبی به جای بتن مسلح یا تیرهای فلزی هستند. بار ثقلی این سقف از طریق تیرهای چوبی که در دیواره ای خشتی یا سنگی فرو رفته اند به دیوارها منتقل می‌شود و معمولاً مهار عرضی و طولی در آنها مشاهده نمی‌شود. تیرهای چوبی با شاخه‌های درختان و گل و در نهایت با گاه گل که به صورت، عایق عمل می‌کند، پوشانده می‌شوند. سقف‌های مسطح چوبی در مناطق سرد و کوهستانی شبیه آذربایجان، شمال خراسان و فارس و عموماً در مناطقی از ایران که چوب در دسترس است، ساخته می‌شوند.

• سقف‌های چوبی شیب دار

این نوع از سقف‌ها اکثراً در استان‌های ساحلی دریای خزر، گیلان، مازندران، و استان گلستان با بارندگی سالانه زیاد، یافت می‌شوند. ساختار این نوع از سقف‌ها، یک خرپای چوبی است که توسط، آهن گالوانیزه، آریست، گاه گل و پوشانده می‌شود. این سقف‌ها نسبتاً سبک هستند و بنابراین آسیب پذیری کمتری در هنگام زمین لرزه دارند. المان‌های چوبی توسط میخ و به صورت ساخت ضعیف، به یکدیگر متصل می‌شوند.

• سقف‌های طاق ضربی

این نوع از سقف‌ها با مصالح صنعتی شبیه آجر، فولاد، بتن و ملات گچ - رس ساخته می‌شوند و تقریباً در هر روستایی یافت می‌شوند. گاهی اوقات به دلیل فقدان نظارت در روستاها، منجر به ساخت سقف‌های ضعیف و مشکلات گوناگون در رفتار لرزه ای آنها می‌شود. یکی از مشکلات این سقف‌ها فاصله خیلی زیاد بین تیرهای تکیه گاهی است که در شکل ۵ نشان داده شده است. مشکل متعارف دیگر طول تکیه‌گاهی ناکافی آجرها بر روی تیر است که منجر به لغزش سقف قوسی آجری در زلزله می‌شوند. این نوع از گسیختگی در زلزله زرد کرمان بسیار متعارف بوده است.

دیوارها

دیوارهای ساختمان‌های روستایی از گل، سنگ، چوب، یا آجرها و یا بلوک‌های بتنی ساخته می‌شوند. از ۴ میلیون خانه روستایی در ایران، ۵۸ درصد از آجر یا بلوک‌های بتنی، ۲۶ درصد از خشت و گل و ۱۴ درصد از سنگ و ۲ درصد از چوب مواد ساخته شده اند.

• دیوارهای خشتی و گل

این نوع از دیوارها در مناطقی که خاک‌های خشتی در دسترس هستند و هم چنین در مناطق خشک و مناطق خشک و مناطق با تغییرات دمای قابل توجه در شب و روز، خصوصاً در کرمان، یزد، و جنوب خراسان متداول هستند اجزای این دیوارها از بلوک‌های خشتی خشک شده در آفتاب و ملات گل هستند که در نهایت با گاه گل پوشانده می‌شوند. بلوک‌های خشتی معمولاً در ابعاد $20 \times 10 \times 5$ سانتی متر هستند.

• دیوارهای سنگی

این نوع از دیوار در مناطق کوهستانی که سنگ به راحتی قابل دسترسی است، مانند خراسان و فارس بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. به دلیل اینکه سنگ‌ها دارای مقاومت فشاری بالایی هستند در ساخت این دیوارها

از ملات های خیلی ضعیف (مانند، ملات های گل یا ژپسون) استفاده می شود. به علاوه، دیوارهای سنگی بسیار سنگین هستند، و بارهای ناشی زمین لرزه ای را افزایش می دهند.

• دیوار های چوبی

این نوع از دیوار ها اغلب در سواحل دریای خزر که چوب به راحتی قابل دسترسی است، یافت می شود. در این دیوارها بعد از برپایی ستون های چوبی، (با قطر بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر). تیرهای افقی یا میل (قطر ۵ تا ۱۵ سانتی متر) مابین ستون ها قرار گرفته و سپس فضای خالی بین آنها را با گل و سپس کاه گل می پوشانند. اسم محلی این دیوارها (زگالی، یا زگمی) می باشد.

این نوع سازه ها رفتار خوبی را در زلزله های گذشته از خود نشان داده اند (برای مثال منجیل ۱۹۹۰)، که رفتار به دلیل وزن سبک و المان های موربی است که بارهای لرزه ای را انتقال می دهند.

• دیوار های آجری یا بلوک بتنی

این نوع از دیوارها قابل نسبت به اغلب خانه های روستایی ایران است. دیوارهای آجری و بلوک بتنی حقیقتاً یک تقلید از ساختمان شهری هستند و به صورت بومی مربوط به مناطق روستایی نمی شوند (شکل ۹). این خانه ها توسط ساختمان های بنایی غیر مسلح شناخته می شوند که حتی در زلزله های متوسط نیز ضعف آنها اثبات شده است. هر چند روستائیان تمایل دارند این خانه ها را به دلیل مقاومت بالا و ساخت راحت، بسازند، اما فقدان اطلاعات تکنیکی آنها (برای مثال استفاده از ملات گل به جای ملات ماسه - سیمان) منجر به کیفیت و عملکرد ضعیف آنها شده است.

بازشوها

ابعاد و موفقیت بازشوها تحت تأثیر، آب و هوا، مواد مورد نیاز و فرهنگ هستند. قطر و موقعیت بازشو ها اثر مهمی بر روی رفتار لرزه ای و مقاومت برشی ساختمان دارد. بازشو ها می توانند به سه نوع، به واسطه ابعاد آنها، تقسیم بندی شوند، پنجره ها، درها و ... که به عنوان قفسه استفاده می شوند. هم چنین بر طبق ساختمان آنها، در بعضی آنها نعل درگاه چوبی و در بقیه در بالای بازشو یک طاق قوسی کوچک قرار دارد. بازشو ها معمولاً دارای نعل درگاه می باشند که در شکل ۱۶ نشان داده شده است. جدول ۸ انواع مختلف بازشوها و ابعاد آنها را نشان می دهد.

فونداسیون ها

هیچ فونداسیون حقیقی در خانه های روستایی مانند آنچه که در آیین نامه های فنی شرح داده شده است، وجود ندارد. در ساختمان هایی که بدون فونداسیون هستند، خرابی در محور دیوار رخ می دهد. هر چند فونداسیون ها برای پایداری ساختمان ها بسیار مهم هستند، توجه زیادی در سازه های روستایی به آنها نشده است. عموماً فونداسیون سازه ها، تحت تأثیر توپوگرافی سایت و شرایط خاک هستند و به طور جدی مورد توجه قرار نمی گیرند. مگر در نواحی؛ خاک های خیلی سست، شبیه خاک های ارگانیک در نواحی کوهستانی، و روستاهایی که روی خاک های خیلی سفت ساخته می شوند، فونداسیون ه امکان است به هیچ وجه یافت نشود. در نواحی که فونداسیون ها ساخته می شوند، رنج عمق آنها بین ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی متر است.

طبقه بندی خانه های سنتی در ایران

بر طبق مشاهدات صحرایی در مناطق روستایی، خانه های روستایی به گروه های زیر طبقه بندی می شوند. که این طبقه بندی بر پایه مشخصات اجزای توضیح داده شده در قبل می باشد.

دیوارهای آجری یا بلوک بتنی با سقف طاق ضربی

تقریباً در تمام مناطق روستایی یافت میشوند. این نوع با مصالح صنعتی ساخته می شود و در نتیجه به آب و هوای خاصی محدود نیست. فراوانی آن ها در حدود ۲۵ درصد است. این نوع ساختمان های بنایی غیرمسلح هستند، که حتی در مقابل زمین لرزه های متوسط نیز، ضعیف عمل می کنند. مشکلات این ساختمان ها

عبارتند از، بازشوهای بزرگ، فواصل بزرگ بین تیرهای تکیه‌گاهی، فقدان اطلاعات ساخت (برای مثال استفاده از ملات گل به جای ملات ماسه سیمان)، و شکل‌پذیری پایین.

دیوارهای خشتی با سقف چوبی مسطح

بسیار متعارف است. معمولاً در مناطق کوهستانی از شمال شرقی و شمال غربی ایران یافت می‌شود. این ساختمان، نوع غالب از سازه‌های روستایی در خراسان، آذربایجان و اردبیل است. فراوانی آن‌ها در حدود ۲۰ درصد بوده و خصوصیات این سازه عبارتند از: ضعف در اتصالات تیر به دیوار، ضعف در اتصالات تیر به ستون و اتصالات دیوار به دیوار، عدم وجود مهار عرضی و طولی در تکیه‌گاه‌های تیر در دیوارهای خشتی و فونداسیون نامناسب.

دیوارهای بلوک بتنی یا چوبی زگالی با سقف شیبدار

بیشتر سواحل دریای خزر در شمال ایران و استان‌های گیلان، مازندران و گلستان یافت می‌شوند و در حدود ۲۰ درصد فراوانی دارند. سقف این ساختمان‌های دو طبقه، از کاه است در حالی که از آهن گالوانیزه، آذین نیز به صورت وسیعی استفاده می‌شود. کاه یک عایق حرارتی خوب است. ساختار این سقف یک خرپا از چوب و گاهی از فولاد است.

دیوارهای سنگی با سقف مسطح چوبی

در مناطق کوهستانی و سرد و استان‌های فارس، آذربایجان و خراسان یافت می‌شود. فراوانی آن‌ها در حدود ۱۵ درصد می‌باشد. دیوارهای خیلی سنگین با اتصالات ضعیف دیوار به دیوار و تیر به دیوار، در این سازه‌ها یافت می‌شود. سقف نیز هر دو یا سه سال یک بار با کاه‌گل پوشانده می‌شود که آن را سنگین می‌سازد. ملات این سازه‌ها گل، گچ است، و در بعضی موارد اصلاً ملات استفاده نمی‌شود.

دیوارهای بلوک بتنی و آجر با سقف مسطح چوبی

معمولاً در مناطقی که چوب در دسترس است یافت می‌شود. در حدود ۱۵ درصد فراوانی دارند و این سازه‌ها با مصالح بنایی غیر مسلح با بازشوهای بزرگ و اتصالات ضعیف دیوار به سقف ساخته می‌شوند.

دیوارهای خشتی با سقف قوسی

در مناطق خشک، به ویژه بیابان‌های مرکز ایران، استان‌های کرمان، یزد، و جنوب خراسان یافت می‌شود. چندین لایه از پوشش کاه‌گل در آن وجود دارد که سقف را بسیار سنگین می‌سازد. اگر اتصالات دیوارها باقی بمانند، از واژگونی سقف جلوگیری می‌شود.

دیوارهای بلوک بتنی آجری با سقف قوسی

بیشتر در مناطق خشک یافت می‌شوند و سقف آن‌ها با آجر ساخته می‌شود و توسط ملات کاه‌گل پوشانده می‌شود.

اثر میان قاب‌ها در رفتار لرزه‌ای قاب‌های ساختمانی :

معمولاً به علت چشم‌پوشی کردن از اثر سخت‌کنندگی میان قاب‌ها، که گاهی اوقات سختی قاب‌ها را تا ۲۰ برابر افزایش می‌دهند، خسارات زیادی به قاب‌های مرکب وارد می‌شود. زیرا این افزایش سختی باعث کاهش پیروم قاب مرکب نسبت به قاب خالی می‌شود و باعث جذب نیروی زلزله بیشتری می‌گردد و میانقاب‌ها را تحت تأثیر تنش‌های بالایی قرار می‌دهد که این افزایش تنش منجر به شکست‌های جزئی و یا کلی میانقاب‌ها می‌شود. در اثر شکست کلی میانقاب‌ها، نیروی بالایی که قبلاً توسط قاب مرکب تحمل شده بود در اثر حذف میان قاب‌ها به طور ناگهانی به اعضای لاغر قاب (تیر و ستون‌ها) اعمال می‌گردد و چون هرگز برای چنین نیرویی تحلیل و طراحی نشده‌اند بشدت آسیب دیده و پایداری قاب را به مخاطره می‌اندازند.

اثرات منفی میانقاب ها:

میان قاب ها به علت وزن زیاد ، مقاومت و سختی بالایی که دارند موجب افزایش نیروی زلزله وارد بر ساختمان می گردند.

۱. توزیع نامتقارن دیوارها در پلان منجر به جابجایی مرکز سختی و تولید یک لنگر پیچشی مخرب در ساختمان می شود که در طراحی دیده نشده است.
۲. اندرکنش قاب و میانقاب می تواند موجب شکست های برشی ترد در ستون های بتن مسلح گردد.
۳. میانقاب ها می توانند با سخت تر کردن طبقات بالا در سازه، باعث ایجاد طبقه اول نرم شوند که از نظر عملکرد لرزه ای بسیار نامطلوب است.



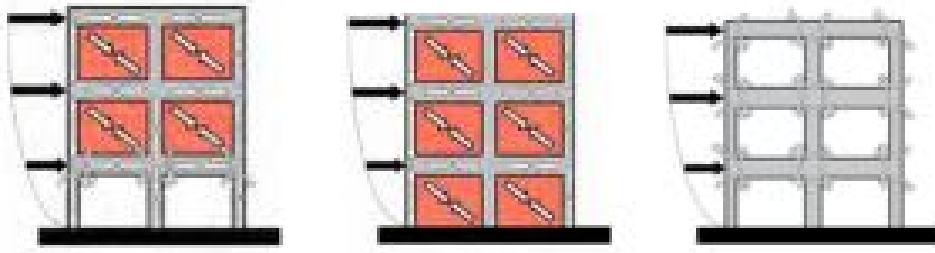
ایجاد طبقه نرم در قاب

اما با وجود مطالب فوق ، بسیاری بر این اعتقادند که میان قاب ها تأثیر مثبتی بر سختی و مقاومت نهایی سازه دارند. با نگاهی به زلزله های گذشته در کشورمان مشاهده می شود در خیلی از موارد دیوارهای آجری قاب ها ، بهبود قابل توجهی در عملکرد سازه در هنگام زمین لرزه داشته اند که بیشتر این موارد در ساختمان هایی دیده می شود که به فرم سنتی اجرا شده و فاقد یک سیستم باربر لرزه ای منسجم می باشند . به عنوان نمونه می توان به عملکرد مثبت و مؤثر میانقاب ها در زلزله ۱۳۶۹ منجیل اشاره کرد . اکثر سازه های این منطقه دارای اتصالات مفصلی تیر به ستون بودند و فقط میانقاب ها، نقش باربری جانبی را ایفا کرده اند، ضمن اینکه بسیاری از این سازه ها که متوسط یا کوتاه بودند بدون فرو ریزش زلزله را پشت سر گذاشته اند که این فقط به دلیل وجود میان قاب ها بوده است ، هرچند که میان قاب ها دچار ترک خوردگی و خرابی شده اند.

اندرکنش بین قاب و میانقاب در قاب های مرکب

مجموعه قاب و میان قاب تحت اثر بارهای جانبی کم بصورت یک سیستم یکپارچه عمل می کنند و با افزایش مقدار نیروی جانبی، قاب پیرامونی در انتهای قطر کششی از میان قاب جدا شده و در انتهای قطر فشاری به میان قاب تکیه می کند

اگرچه غالباً رفتار قاب به صورت خمشی و رفتار دیوار به صورت برشی است اما اندرکنش قاب و میان قاب مکانیزم مقاومت را تغییر می دهد . به بیانی دیگر میان قاب از حرکت آزاد قاب جلوگیری می کند و در اثر این اندرکنش انتقال نیرو از روش انتقال خمشی در قاب خالی به انتقال خرابایی در قاب مرکب تبدیل می گردد. انتقال نیرو به روش خرابایی باعث افزایش نیروهای محوری و کاهش لنگرهای خمشی و نیروهای برشی در ستون های قاب می گردد.



ج

ب

الف

الف) قاب خالی با عملکرد خمشی، ب) قاب میان پر با عملکرد خرپایی، ج) قاب دارای عملکرد ترکیبی

توزیع تنش در میان قاب

تنش های صفحه ای ایجاد شده در داخل میان قاب در اثر اعمال نیروی جانبی به قاب ، بدین صورت است که تنش کششی حداکثر در راستای قطر کششی در مرکز میانقاب و تنش فشاری حداکثر در راستای قطر فشاری و در کنج قاب اتفاق می افتد. متوسط تنش کششی روی قطر کششی بسیار کمتر از متوسط تنش فشاری روی قطر فشاری است ، در نتیجه افزایش طول قطر کششی از کاهش طول قطر فشاری بسیار کمتر است. مقدم و استفورد اسمیت در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده اند که هرچه قاب نسبت به میان قاب سخت تر باشد ، قاب در طول بیشتری به میانقاب تکیه می کند و در نتیجه افزایش طول تماس بین آن ها ، نیروهای اندرکنشی در سطح وسیع تری توزیع می شوند و تنش وارد بر میانقاب در گوشه ها کمتر می گردد ؛ و این در حالی است که تنش های مرکز میان قاب مستقل از سختی قاب بوده و فقط وابسته به نسبت ابعادی میان قاب است.

انواع مودهای گسیختگی در قاب های مرکب

ترک مرزی

این مود یکی از مشخصه های اصلی قاب های مرکب است و معمولاً در مراحل اولیه اتفاق می افتد. این مود باعث تغییر شکل هندسی قاب می شود به طرزیکه یک قطر آن کوتاه تر و یک قطر آن بلندتر می گردد. نیرو در قطر فشاری افزایش می یابد تا گسیختگی صورت گیرد.

مود خردشدگی گوشه

در این حالت حداقل یکی از گوشه های تحت فشار میان قاب خرد می شود . این مود به شدت تحت تأثیر سختی نسبی قاب و میانقاب قرار دارد . قاب های نسبتاً قوی تنش های فشاری زیادی را در مرکز میان قاب متمرکز می کنند که باعث ایجاد مود گسیختگی ترک قطری می شود ، در حالیکه در قاب های ضعیف تنش های گوشه فقط در ناحیه کوچکی پخش می شوند و باعث ایجاد مود گسیختگی خردشدگی گوشه می گردند. بر اساس نتایج تحلیل اجزاء محدود ردینگتون، نسبت ابعادی میانقاب (h/l) هیچ تأثیری در مود گسیختگی خردشدگی گوشه ندارد مگر در حالت میانقاب خیلی بلند که تنش های گوشه خیلی زیاد هستند.

مود شکست برشی لغزشی

در این حالت شکست برشی لغزشی در بین درزهای افقی مصالح بنایی میان قاب ایجاد می شود و معمولاً در قاب های قوی با ملات ضعیف در بین درزها، اتفاق می افتد. این مود معمولاً برای نسبت ابعادی میانقاب (h/l) بالاتر اتفاق می افتد.

مود ترک قطری یا کشش قطری

در این حالت یک ترک قطری در امتداد قطر فشاری از یک گوشه به گوشه دیگر شکل می گیرد. در میان قاب هایی که ملات بسیار قوی دارند و ملات مانع عبور ترک از میان درزهای افقی و قائم می گردد ، شکست قطری

از نوع کششی است؛ در حالیکه در میان قاب های با ملات معمولی ترک قطری از آجرها عبور نمی کند بلکه از میان بندهای افقی و قائم ملات می گذرد و شکست از نوع برشی می باشد.

این مود تحت تأثیر مقاومت کششی میان قاب و نسبت ابعادی میان قاب (h/l) می باشد. نتایج حاصل از تحلیل ها و اندازه گیری ها نشان دهنده بیشترین تنش کششی در مرکز میانقاب می باشد. همچنین نتایج تحلیلی ردینگتون و بنیامین و ویلیامز نشان می دهد که با افزایش نسبت ابعادی میان قاب (h/l) ظرفیت باربری نهایی کاهش می یابد. این مود را نباید به عنوان یک مود گسیختگی در نظر گرفت زیرا میان قاب پس از ایجاد این ترک هنوز قادر به تحمل بارهای بیشتری است.

مود شکست فشاری قطری

در این حالت میان قاب در ناحیه مرکزی خود خرد می شود که معمولاً در قاب های مرکب دارای میانقاب های لاغر در اثر کمناش خارج از صفحه آن ها اتفاق می افتد؛ البته این مود بندرت اتفاق می افتد زیرا کمناش خارج از صفحه میانقاب مستلزم نسبت لاغری بالایی است که با توجه به ابعاد پانل ها و ضخامت بالای آن ها، این نسبت ارضاء نمی شود.

مود گسیختگی قاب

در این حالت در ستون ها یا اتصالات تیر به ستون مفاصل خمیری ایجاد می شود. این مود معمولاً در قاب های ضعیف یا قاب های دارای اتصالات ضعیف با اعضای قوی و میان قاب نسبتاً قوی اتفاق می افتد. این مود فقط در قاب های مرکب بتنی ایجاد می شود.

مود پرتاب خارج از صفحه میان قاب

دو مؤلفه طولی (در صفحه میان قاب) و عرضی (عمود بر میان قاب) به طور همزمان در هنگام زلزله به میان قاب وارد می شوند. در اثر خردشدگی، قابلیت کنش قوسی میان قاب که مهمترین عامل حفظ ایستایی میانقاب در برابر نیروهای عرضی است، بشدت کاهش می یابد.

بین حالت های شکست میانقاب تحت نیروهای صفحه ای و عرضی، اندرکنشی وجود دارد، بنابراین باید جابجایی قاب مرکب محدود شود تا مقاومت عرضی لازم برای ایستادگی در برابر زلزله تأمین گردد. در غیراین صورت میانقاب از قاب به بیرون پرتاب می شود و مقاومت و سختی سازه شدیداً دچار تغییر می شود و ایستایی لرزه ای آن به خطر می افتد.

شکست برشی در ستون

این حالت در نتیجه ترکیب نیروهای برشی (که میان قاب به قاب وارد می کند) و نیروی کششی (حاصل از عملکرد قاب) در ستون نزدیک گوشه فشاری قاب ایجاد می شود. این پدیده بیشتر در ستون های بتنی که اغلب برای بار فشاری طراحی می شوند مشاهده می شود و در قاب های فولادی به علت مقاومت کششی بالا رخ نمی دهد.

شکست ستون کوتاه :

در برخی ساختمان ها به دلیل محدودیت های معماری مانند وجود باز شو، دیوارهای ضخیمی که بین ستون ها را پر کرده اند ارتفاع کمتری از ارتفاع طبقه دارند. سختی زیاد این دیوارها باعث می شود تا محل نقطه بحرانی برش ستون تغییر کند و از آن جایی که هیچ تمهید خاصی مانند کاهش فاصله خاموت ها در این نقطه اندیشیده نشده است، ستون ها در این نقاط آسیب پذیر می باشند.

بررسی عوامل مؤثر در بهسازی لرزه ای و روش های مؤثر تجربی

برای بافت ها و بناهای تاریخی

چکیده:

در نتیجه عدم پیش بینی و به طبع آن عدم اتخاذ راه حل هایی برای بهسازی لرزه ای بناهای خشتی گلی، در گذشته شاهد از دست رفتن بخش عظیمی از این بناها بوده ایم. در مقاله حاضر سعی شده با توجه به اهمیت مشخصات این بناها در وهله اول عوامل مؤثر در انتخاب روش های بهسازی لرزه ای مورد ارزیابی قرار گیرد و در ادامه با توجه به آموزه های زلزله های پیشین روشهای بهسازی لرزه ای در این بافت ها مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف نویسندگان این مطلب جلوگیری از تخریب کامل این بناها و ایجاد فرصت برای ترمیم و مرمت می باشد. رعایت این موارد در بهسازی لرزه ای این بناها و بافت ها می تواند در جهت کاهش خسارات وارده از زلزله در این سازه ها مؤثر باشد.

مقدمه:

بی تردید یکی از وظایفی که بر دوش جامعه مهندسين می باشد مقاوم سازی دقیق بناهایی است که در آینده ساخته می شوند، اما آنچه در این راستا حائز اهمیت می باشد ایمن سازی و بهسازی لرزه ای این بناها و بافت های با ارزش تاریخی است. این بناها علاوه بر ارزش تاریخی بیانگر تمدن، فرهنگ، توانایی ها و تفکر اقوام گذشته می باشند. علاوه بر این موارد یکی دیگر از عواملی که اهمیت حفاظت از این بناها را دوچندان نموده نقش این بناها در اشتغال زایی و منافع اقتصادی کشورهاست. همانگونه که می دانیم ایران به لحاظ جاذبه های تاریخی جزو ده کشور برتر دنیا می باشد، لذا با اتخاذ راه حل های مناسب به جای تخریب و از دست دادن این بناها در حوادث طبیعی باشیم از آنها به عنوان یک منبع درآمد و اشتغال زایی بهره ببریم. در سالهای گذشته به دلیل عدم احیاء و اتخاذ روش های بهسازی لرزه ای این بناها و بافت ها و تأثیر عوامل جوی و محیطی بسیار ارزشمندی را همچون ارگ قدیم بم از دست داده ایم و شاهد خسارات جبران ناپذیری بوده ایم.

جهت بهسازی بناها و بافت های تاریخی در برابر زلزله نیاز به بررسی و ارزیابی کامل بنا قبل از اتخاذ روش می باشد تا سازه مورد نظر به لحاظ پایداری به اهداف از پیش تعیین شده ما برسد و همچنین به لحاظ معماری و تاریخی ارزش ها رعایت گردد. آنچه در این راستا بدیهی است در رابطه با بناها و بافت های تاریخی نمی توان به پایداری قطعی رسید، به عبارت دیگر عملیات بهسازی مدنظر قرار دارد که با روش های مقاوم سازی متفاوت است.

۱- تفاوت بهسازی لرزه ای با مقاوم سازی لرزه ای

همانگونه که می دانیم در رابطه با بناها و بافت های تاریخی و قدیمی نمی توان از روش های معمول محاسباتی دقیق که در محاسبات سازه ها کاربرد دارد استفاده نمود چراکه در عمل اجرای نتایج ممکن ناپذیر است، لذا در مورد این بناها هیچگاه نمی توان بنا را بطور قطعی مقاوم سازی لرزه ای کرد. با توجه به این مطالب، موارد اشاره شدن در ادامه در رابطه با بهسازی این بناها می باشد. منظور از بهسازی در مورد این بناها، اتخاذ روش هایی است تا سطح خسارات وارده بر روی این بناها و بافت ها کاهش یابد و به عبارت دیگر پس از وقوع زلزله با تخریب کامل بنا مواجه نشویم و خسارات وارده جبران پذیر باشد.

۲- عوامل مؤثر در تعیین روش های بهسازی لرزه ای بناها و بافت های تاریخی

قبل از اتخاذ هرگونه روش بهسازی در مورد بناهای قدیمی باید عوامل متعددی را در نظر گرفت که با بررسی این عوامل روش مناسبی با توجه به ویژگی های منطقه و بنا فقط مختص آن بنا اجرا کرد. این بررسی ها شامل: مشخصات اجزای سازه ای و غیر سازه ای، میزان خطر منطقه به لحاظ آتین نامه، تاریخچه بهره برداری گذشته و آینده، ملاحظات خاص اقتصادی-اجتماعی، نتایج ارزیابی اولیه مقاومت لرزه ای، میزان مقاومت مصالح بکار رفته، نحوه اجرا در گذشته، قابلیت انعطاف پذیری و شکل پذیر بودن مصالح و کل سیستم بنا و... از جمله عواملی می باشند که باید قبل از اقدام به هرگونه مقاوم سازی بطور دقیق مورد بررسی قرار گیرد. اما پس از بررسی

های فوق آنچه که بسیار حائز اهمیت است، ویژگی اختصاصی هر بنا می باشد که باید بطور دقیق مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد؛ این موارد بطور کامل منحصر به یک بنا می باشد. در این مرحله تهیه نقشه و دیتایل از قسمت های مختلف بنا هم در مرحله بهسازی و هم بعد از وقوع زلزله در مرحله بازسازی و ترمیم بطور کامل می تواند بسیار کارساز باشد. در تهیه این نقشه ها علاوه بر مشخصات دقیق معماری می بایست اطلاعات فنی بنا نیز لحاظ شود، مانند نحوه اجرای اتصالات، جنس مصالح بکار رفته، مقاومت و انعطاف پذیری مصالح، سطح عملکرد اجزاء و... لحاظ شود. بطور کلی توصیه می شود که تهیه شناسنامه مختص بنا و بررسی آن مورد توجه قرار گیرد. همانگونه که شاهد هستیم به دلیل شرایط اقلیمی و محیطی - جوی ایران اغلب بناها و بافت های گذشته جزو بناهای خشتی گلی یا مصالح بنایی سنتی می باشند لذا بررسی نحوه رفتار این بناها در برابر زلزله و میزان مقاومت این مصالح و انعطاف پذیری آنها می تواند در اتخاذ روش مناسب مؤثر باشد. این بناها اغلب عناصر مقاوم لرزه ای نداشته و یا عموماً به واسطه شکل نامناسب سازه ای، ضعف مصالح یا نحوه اجرا، در برابر زلزله ضعیف عمل می کنند. از جمله نتایج حاصل بررسی و مطالعه روی بافت ها و بناهای قدیمی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-۲- مصالح: پائین بودن کیفیت مواد اولیه موجود و به طبع آن بکارگیری مصالح نامناسب در این بناها و ضعف قدرت چسبندگی ملات از عمده نواقص به لحاظ مصالح می باشد.

۲-۲- سیستم سازه ای: کامل نبودن مسیر بار، کافی نبودن مقاومت برشی دیوارها، عدم وجود سیستم ثانویه کمکی مانند کلاف، ناتوانی بنا در حفظ انسجام و هماهنگی رفتار در حین وقوع زلزله، عدم وجود پی مناسب، نامنظمی در ارتفاع، نامنظمی در پلان و اجزاء باربر، عدم وجود فاصله کافی از بناهای مجاور و از همه مهمتر عدم اتصال مناسب بین اجزاء باربر با سقف و پی از جمله این موارد می باشد.

۳-۲- دیوارهای باربر: از جمله نواقصی که در مورد دیوارهای باربر بکار رفته در این بناها مشاهده می شود عبارتند از نادرست چیدن دیوارهای باربر، ارتفاع زیاد نسبت به ضخامت دیوار، طول زیاد دیوار و عدم مهار، تراکم کم این دیوارهای بواسطه وجود بازشوها زیاد، نزدیکی بازشوها به قسمت های نزدیک به لبه دیوار، عدم وجود اتصال مناسب بین سقف و دیوار و پی، مهار نامناسب سقف های قوی در برابر نیروی رانش (قوس ها و گنبد ها).

۴-۲- سیستم سقف و کف: مهمترین مشکلات ایجاد شده در مورد سقف ها، عبارتند از: زیاد بودن وزن سقف، عدم انسجام و یکنواختی، عدم وجود اتصالات مناسب سیستم سقف ها به دیوارها، و در بعضی موارد بالا بودن نسبت طول به عرض دهانه از جمله مواردی است که می توان در این رابطه اشاره کرد.

۵-۲- اجزاء غیر سازه ای و ملحقات: عدم پایداری و اتصال نامناسب این اجزاء مانند دودکش، و جان پناه و... از جمله مهمترین عواملی است که باید در نظر گرفته شود.

با توجه به موارد بیان شده و بررسی های انجام یافته تدابیر لازم و روش مناسب و از همه مهمتر قابل اجرا با توجه به محدودیت های موجود در نظر گرفته می شود.

۳- بررسی روش های تجربی برای بهسازی لرزه ای بافت های قدیمی و تاریخی

بررسی تجربیات و آموزه های زلزله های پیشین و نحوه رفتار این بناها و در مقابل حوادث رخ داده روش های مؤثری در راستای بهسازی لرزه ای بناها و بافت های تاریخی ارائه می دهد.

۱-۳- قرار دادن ستون در جان دیوارهایی با طول زیاد

در بسیاری از بافت های قدیمی شهرها ، ارگ ها ، قلعه ها ، دژها ، حصارهایی را مشاهده می کنیم که دیوارهای بسیار طویل و بلندی دور تا دور این بناها را گرفته که غالباً این دیوارها دارای ضخامت نسبتاً زیادی می باشند . مشکل اساسی این دیوارها در مقابل زلزله ، واژگونی این دیوارها می باشد به خصوص در جهت عمود به طول دیوار بطوری که اگر این دیوارها عمود بر جهت زلزله قرار گیرند تحت تأثیر لنگر واژگونی واژگون می شوند . عملکرد این دیوارها هنگامی که به موازات نیروی زلزله قرار می گیرند به نسبت قبل قبول است اما می توان با بکارگیری روش های ذیل از میزان خسارت وارده کاست . با توجه به اینکه غالباً این دیوارها از جنس خشتی - گلی می باشند ، یکی از مؤثرترین روش هایی که در مورد این دیوارها می توان بکار برد قرار دادن ستون در جال این دیوارها می باشد . برای کاهش شواهد ناشی از بازسازی در این دیوارها می توان با استفاده از ابزارهای مناسب بطور دقیق به اندازه مورد نیاز برای قرار گرفتن این ستون ها در دیواره کنده کاری کرد . (در قسمت زیر سطح زمین برای ایجاد پی مورد نیاز ستون نیز حفر می گردد .) بعد از قرار گرفتن ستون در قسمت مورد نظر برای اتصال کامل و هماهنگ کردن در تمام طول دیوار می توان از آرماتور گذاری ریشه استفاده کرد ، با ایجاد این اتصالات رفتار دیوار و ستون هماهنگ شده اجرای این ستون ها با توجه به موقعیت و جنس دیوار می تواند به صورت بتنی یا فولادی باشد . در هنگام اجرا علاوه بر موارد بالا باید در عواملی از قبیل اجرای ستون ها در فواصل منظم ، اتصال مناسب و کامل بین ستون ها و ستون و دیوار دقت شود . در انتها با توجه به پوشش کاهگل و حجم کم کنده کاری می توان تمامی شواهد ناشی از بازسازی را بدون آنکه تغییر محسوسی در کیفیت ظاهری بنا ایجاد شود بازسازی نمود .

۲-۳- استفاده از پشت بند در دیوارهای طویل

یکی دیگر از راه حل هایی که می توان در مورد دیوارهای بلند بکار بست استفاده از پشت بند برای این دیوارها می باشد ، اما آنچه بسیار اهمیت دارد ، محل قرار گرفت پشت بند و ارتفاع مناسب برای پشت بند ، جنس مصالح مورد استفاده و نحوه اجرا می باشد بطوری که هم به پایداری این دیوارها کمک کند و هم از نظر ظاهری لطمه ای به ظاهر بنا وارد نکند .

۳-۳- ترمیم خوردگی های پای دیوار

با توجه به تجربه ها و مشاهداتی که از زلزله های گذشته بدست آمده یکی دیگر از عواملی که باعث واژگونی دیوارها و حتی دیوارهای نه چندان طویل شده خوردگی پای دیوارها و از بین رفتن اتصال کامل دیوار روی زمین و پی آن می باشد با ترمیم و بازسازی این خوردگی ها با استفاده از مصالح مقاوم و ایجاد اتصال مناسب بین پی و دیوار می توان از این امر جلوگیری کرد .

۴-۳- ترمیم اتصال قوسها و طاقهای گنبدی به تکیه گاهها

قوس یکی از عناصر اصلی در فرم های طاقی و گنبدی می باشد . یکی از ویژگی های فرم های قوسی نیروی رانشی است که در تکیه گاه های قوس وجود دارد . خنثی کردن این رانش جانبی ضامن حفظ تعادل قوس و عامل جلوگیری از ویران شدن آن می باشد . یکی از روش های جذب رانش جانبی در این سقف ها ساختن تکیه گاه های قطور و سنگین است تا در برابر رانش ایستادگی کند که این امر در گذشته رایج بوده ، همانطوری که از تجربیات زلزله های اخیر شاهد بوده ایم خرابی اصلی در این موارد در قسمت هایی می باشد که به علت عدم اتصال مناسب سقف های قوسی با دیوارها جانبی است و یا ضعف این دیوارها که می توان با تقویت این دیوارها و ترمیم اتصالات قوسها و گنبدها، میزان خرابی هارا کاهش داد .

۵-۳- ترمیم پی و تقویت ساختگاه

یکی دیگر از عواملی که باید مورد توجه قرار گیرد ساختگاه و پی در این بناها می باشد. همانطوری که در زلزله بم شاهد بودیم در شرایط سازه ای یکسان در مورد سازه هایی که بر روی رسوبات آبرفتی ساخته شده اند شدت تخریب زیاد بوده و در بناهایی که بر روی بستری از سنگ واقع شده اند پایداری نسبی شاهد بوده ایم، لذا در بسیاری از موارد باید پی این بناها و بافت ها بخصوص بافت هایی که بر روی رسوبات آبرفتی واقع شده اند اصلاح شوند برای این امر می توان با توجه به محدودیت های حاضر در این بناها از انواع روش تزریق استفاده کرد.

۳-۶- کلاف بندی برج و باروها

در بسیاری از موارد در برج و باروهایی بلند که از خشت و کاه گل ساخته شده می توان با ایجاد کلاف و شناژهای قائم و افقی از واژگونی آنها جلوگیری کرد. با توجه به اینکه نمایی کاه گل بازسازی ظاهری در این بناها وجود دارد. در این روش می توان همانند روش های مذکور فقط در قسمت هایی که شناژ قرار می گیرد کننده کاری و خالی کردن دیوار انجام شود سپس با استفاده از همان مصالح اولیه که معمولا در دسترس نیز می باشد ظاهر رویه این کلاف ها را بدون آنکه تغییرات محسوس در بنا ایجاد شود ترمیم کرد. در این موارد استفاده از توری های فلزی می تواند مفید واقع شود. علاوه بر روش های ارائه شده، می توان از روشهای دیگری نیز در امر بهسازی لرزه ای کمک گرفت از جمله این روش ها می توان به سبک تر کردن سقف های سنگین، استفاده از قاب های فلزی، استفاده از شبکه های آرماتوری و... که در امر بهسازی مؤثر می باشند اشاره کرد.

۴- مسائل و مشکلات اجرایی روش های بهسازی لرزه ای

عدم وجود تجهیزات و امکانات کافی در این زمینه چه در مرحله تحقیق و بررسی و چه در مرحله اجرا از جمله عمده ترین مشکلات در بهسازی بناها و بافت های قدیمی می باشد. کمبود اطلاعات اختصاصی در رابطه نحوه احداث و بازسازی های گذشته و محدودیت های مالی و کمبود نیروی متخصص نیز در این زمینه مشکل ساز می باشد. اجرای ناصحیح اتصالات به علت کمبود مهارت نیروی فنی در این رابطه بی تاثیر نمی باشد. شایان ذکر است عدم حمایت مسئولین از تحقیقات و مطالعات انجام شد در این مورد بر عدم موفقیت این پروژه ها بی تأثیر نبوده است.

نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

با توجه به مطالب ارائه شده در مقاله حاضر، در رابطه با بناها و بافت های قدیمی مقاوم سازی لرزه ای امکان پذیر است، به عبارت دیگر نمی توان این بناها را بطور قطع در مقابل زلزله ایمن نمود بلکه می توان با اتخاذ روش هایی این بناها را بهسازی نمود. روش های بهسازی از تخریب کامل بنا جلوگیری کرده و امکان ترمیم و بازسازی را فراهم می کند. بهسازی لرزه ای شامل روش های متعددی می باشد اما آنچه که در انتخاب روش بهسازی حائز اهمیت است خصوصیات سازه ای، مصالح، طرح معماری، نحوه اجرا و ویژگی های ژئوتکنیکی می باشد. دسته ای از روش های بهسازی براساس محاسبات دقیق و دسته ای دیگر بر مبنای تجربیات و آموزه های حاصل از تجربه های گذشته می باشند. این روش های بهسازی اگرچه توجیه محاسباتی ندارند ولی در پایداری لرزه ای این نوع بناها و بافت ها می توانند مؤثر واقع شوند. عملیات بهسازی در این بناها با توجه به کمبود تجهیزات و مطالعات جامع در این زمینه و نبود نیروی متخصص با مشکلاتی همراه خواهد بود که نیازمند دقت و ظرافت عمل بیشتری می باشد. با وجود همه مصائب و مشکلات اجرایی بهسازی این بناها و بافت ها از آنجایی که این بناها زمینه ساز توریسم و اشتغال زایی در کشور می باشند؛ پروژه های بهسازی توجیه اقتصادی می یابند. عملیات بهسازی بناها و بافت های تاریخی به عنوان یک سرمایه ملی یاری و مساعدت هرچه بیشتر مسئولین را می طلبد.

مراجع و مآخذ

- [۱] بم و زمین لرزه اش به ما می آموزد (آشنایی با مهندسی زلزله و عملکرد لرزه‌های ساختمان ها) ، چاپ دوم ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، تهران ، ۱۳۸۴ .
- [۲] مجله شمس ، شورای مرکزی سازمان نظام مهندسی ، تهران ، خرداد و تیر ۱۳۸۴ .
- [۳] آئین نامه طراحی ساختمان هادر برابر زلزله ، استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش ۳) ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ، ۱۳۸۴ .
- [۴] ذره ، نوید ، ”ملاحظات معماری در طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله“ ، آبادی-فصلنامه شهر سازی معماری ، شماره ۳۶ ، پائیز ۱۳۸۱ .
- [۵] شرح تصویری آئین نامه طراحی ساختمان هادر برابر زلزله ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن .

راهکارهای بهسازی و مقاوم سازی ابنیه خاصی نظیر بناهای ارزشمند قدیمی

چکیده:

ساختمانهای تاریخی و باستانی میراث گرانبه‌تری هستند که از گذشته های دور تاکنون به بشریت در راستای پیشرفت بهتر و بهتر الهام داده اند. یادگیری از معماری گذشته و ساختارهای گذشته می تواند ارتباطی گسترده بین نسلهای حال و گذشته ایجاد نماید. در این مقاله با بررسی راهکارهای بهسازی و مقاوم سازی بناهای تاریخی سعی شده است در این راستا گامهای بزرگی برداشته شود.

کلمات کلیدی: راهکارهای بهسازی ، مقاوم سازی، ابنیه خاص ، بناهای ارزشمند قدیمی

۱- مقدمه:

زمین لرزه ویرانگر 5 دی ماه 1382 در شهر تاریخی و کویری بم موجب بروز تلفات انسانی، ویرانی و خسارات عظیم به میراث فرهنگی گردید، شاید این حادثه مانند یک شوک عظیم بیش از پیش کارشناسان و دست اندرکاران را به فکر راهکارهایی جهت کاهش خسارات احتمالی در هنگام زلزله علی الخصوص در بناهای تاریخی فرورد و از آن تاریخ تاکنون در نقاط و سازمان های مختلف کارهایی صورت گرفته است. در این مقوله هدف اصلی پیشنهاد مسیری است در جهت تقلیل آسیبها.

با بازرسی قبلی و مقاوم سازی ساده نقاط ضعف می توان تا حد قابل ملاحظه ای از آسیبها کاست. اما نکته اینجاست که شناخت این نقاط ضعف و رفتار خاص بناها در شرایط بحرانی در بناهای تاریخی بدون شناخت کامل اثر امکان پذیر نیست. هدف از این مقاله ارزیابی آسیب پذیری و روشهای طرح تقویت و مقاوم سازی آثار ارزشمند تاریخی است. در این رابطه مطالعات گسترده ای بشرح زیردرخصوص کلیسای نیکیتا یکی از کلیساهای دوره بیزانس (قرون 9 تا 14 میلادی) انجام می شود. شایان ذکر است که مقاوم سازی آثار تاریخی باید بگونه ای باشد که دواصل مهم مداخله کمتر به جهت حفظ ارزش های تاریخی و عمر طولانی به جهت یک ارثیه گرانبها برای نسل های آینده را مدنظر داشته باشد.

1-مطالعات ژئوتکنیکی درخصوص محل اثر

2-ساخت یک مدل آزمایشی با اشل حدود 1:3 و با مصالح محل اثر

3-آزمایش مدل تحت میز لرزان و بررسی آسیب پذیری مدل و مکانیسم شکست با وارد کردن شتاب زلزله های شناخته شده بزرگ دنیا

4-مقاوم سازی مدل براساس نتایج آزمایشات

5-آزمایش مدل مقاوم شده تحت میز لرزان زلزله

6-تحلیل کامپیوتری دو مدل مقاوم شده و مدل اصلی

7-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل و آزمایش

8-تعیین یک متد مشخص جهت مقاوم سازی کلیساهای مشابه

نهایتاً مشخص می شود که با بکارگیری مصالح شکل پذیر مانند فولاد و ایجاد انسجام درمحل اتصالات و یکپارچگی درسازه می توان انواع مکانیسم های شکست را به هنگام زلزله های شدید کنترل نمود. ما در سرزمینی زندگی می کنیم که در طول تاریخ خود شاهد حوادث گوناگونی بوده است حوادث طبیعی و غیرطبیعی که در طی سالها بر این مرز و بوم گذشته و گذشتگان ما همواره سعی در مقابله با آن را داشته اند. زمین لرزه جزو طبیعت و ذات این سرزمین است پس باید آنرا شناخت و با آن زندگی کرد و آنرا از محدودیت به یک امکان تبدیل کرد خصلتی که مردم ما در تمام طول تاریخ پربارشان به آن شهرت داشته اند. در این مجموعه سعی گردید بخش کوچکی از فعالیتهای دفتر اجرایی طرح پردیسان که در زمینه مقاوم سازی بناهای تاریخی صورت گرفته عرضه شود و راهکارها و اقداماتی که در زمینه مقاوم سازی بناهای تاریخی پروژه هایی از قبیل پردیس شهرستانک -پردیس آرشام بم و پردیس ماکو انجام شده مورد نقد و بررسی قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت آن بیان گردیده است. در این مجموعه نحوه برخورد با دو تیپ از بناهای تاریخی شامل بناهای خشتی-گلی و سنگی مورد بررسی قرار گرفته است. و بکارگیری اصول سنتی در ساخت مجدد این بناها و استفاده از تکنولوژی جدید مورد نقد قرار گرفته است. نحوه اجراء کلاف کشی در بناهای تاریخی و محدودیت های موجود در این گونه بناها مورد توجه قرار گرفته که گاهاً منجر به این می شود که عملاً هیچ گونه اقدام موثری در زمینه مقاوم سازی بناها نمی توان انجام داد. ارزشهای معماری و تزئینات وابسته به معماری بناهای تاریخی همان اندازه که چشم نواز و زیبا می باشند بعنوان یک عامل بازدارنده در امرمقاوم سازی عمل می کنند. با این حال نایستی فراموش نمود اصل اصلی در کنار تداوم حیات بناهای تاریخی حفظ جان انسانها می باشد. در نهایت براساس تجربیات و مطالعات نگارنده یکسری از عواملی که موجب تخریب بناهای تاریخی در مقابله با زلزله می شود ارائه گردیده است. که چنانچه در رفع آن اقدام شود. تاحدی ضامن پایداری بناهای تاریخی خواهد شد. امید است آنچه ارائه گردیده بتواند در جهت پیشرفت دانش مقاوم سازی در بناهای تاریخی قدمی هر چند کوچک محسوب گردد. کشور ما از کشورهایی است که دارای آثار تاریخی فراوان می باشد. موقعیت اقلیمی آن شرایطی را فراهم نموده که گونه های مختلفی از معماری با توجه به مصالح بومی در آن شکل گرفته است. با توجه به وسعت گسترده سطح کویر در کشور بدیهی است که بخش زیادی از آثار ما را بناهای خشتی تشکیل می دهند، بر اساس مطالعات انجام شده قدمت این آثار گاهاً به بیش از هزار سال می رسد. مانند مجموعه زیگوات چغازنبیل، تپه سیلیک کاشان یا مجموعه خشتی ارگ بم کرمان.

سازگاری مناسب، اقتصادی بودن، سهولت و سرعت در تهیه از جمله پارامترهایی است که در این نوع مصالح (خشت) را در منطقه کویر فرا نموده است. در دوره و عصر ما نیز با توجه به تغییراتی که در روند زندگی اجتماعی رخ داده است و پیشرفتهای چشمگیری که در عصر تکنولوژی صورت پذیرفته هنوز هم خشت می تواند به عنوان یک مصالح مورد اعتماد در برخی از نقاط کشور بکار رود و بناهای خشتی بهترین کارایی را داشته باشند. لذا شایسته است ما که دارای این ثروت عظیم ملی هستیم با برنامه ریزی صحیح ضمن بکارگیری مجدد پتانسیل های نهفته در این مجموعه این سرمایه های ملی را حفظ نموده و در راستای زندگی امروز و کاربردهای جدید از آنها استفاده نماییم، اقدام در جهت حفاظت، مرمت و احیاء بناهای خشتی می تواند اولین قدم در جهت معرفی صحیح پتانسیل های نهفته در این مجموعه باشد. لذا در این تحقیق پس از بررسی گوناگون نمونه های بلوک و دیوار و در نهایت

سازه خشتی مورد نظر و شناخت نقاط ضعف سازه در مقابل اعمال بار زلزله طرح مرمتی و پایدار سازی سازه خشتی مطابق با پتانسیل های موجود محلی پیشنهاد شده است.

مقاوم سازی بناهای تاریخی و ضرورت ها:

ضرورت مقاوم سازی ابنیه تاریخی در برابر زلزله آسیب پذیری میراث فرهنگی کشور در مقابل زلزله، توجه خاص به بهسازی لرزه ای این ابنیه را ضروری می سازد. در سالهای اخیر، مقاوم سازی بناهای تاریخی مد نظر قرار گرفته است. لیکن دقت بیشتر در برنامه ریزها و کاربرد روشهای مناسب در برابر زلزله کمک خواهد نمود در اینجا به بیان اجمالی مشکلات و راهکارهای بهسازی لرزه ای بناهای تاریخی پرداخته شده است که امید می رود برای دست اندرکاران مرمت این بناها بسیار مفید باشد. جوامع پیشرفته با پیش بینی مخاطرات احتمالی زمین لرزه و تدوین آیین نامه و ضوابط خاص برای بهبود ساخت و ساز و کنترل اجرای آن، تا حدودی ایمنی لازم شهرهای خود را تامین کرده اند. این جوامع با برنامه ریزی صحیح و تعیین وظایف سازمانهای مختلف و مسئولان مربوطه، با گذار از مرحله نگرانی حفظ جان و سلامت مردم در مواقع خطر، حفظ و نگهداری از منابع ملی و سرمایه های فرهنگی را در برنامه خود قرار داده اند. در این مرحله، حفظ و صیانت آن بخش از ثروتهای ملی که تخریب آنها به هیچ وجه قابل جبران نیست اهمیت خاصی دارد و در صدر برنامه های دولتهای آنها قرار گرفته است. میراث فرهنگی به چه مانده از گذشته از جمله این ثروتهاست که از دست رفتن آنها، هویت ملی افتخارات فرهنگی، تاریخی و قومی را محو خواهد کرد. ایران نیز یکی از ملل دیرینه با هزاران بنای به جا مانده از گذشته های دور می باشد که نه تنها بیانگر هویت ملی مردم این کشورند، بلکه بسیاری از آنها افتخارات فرهنگی بین المللی بوده و ثبت آثار جهانی رسیده یا خواهند رسید. با توجه به مطالعات علمی و شواهد تاریخی، وقوع پدیده های طبیعی نظیر زمین لرزه در ایران بسیار محتمل می باشد. از این رو، توجه به این گونه ابنیه و یافتن روشهایی برای کاهش آثار زمین لرزه بر آنها باید در اولویت برنامه مقاوم سازی ابنیه و شهرهای زلزله خیز کشور قرار گیرد. در این راستا، ارزیابی نجارب دیگران در این زمینه و کاربرد صحیح آن می تواند گامی مثبت در راستای حفظ و حراست از این بناها باشد. در سال های اخیر مطالعه حرکت های زمین و تکنیکی نشان داده است که خشکی های زمین به صفحه هائی چسبیده اند که به آرامی بر روی زیر لایه زمین که ماگمای مذاب است حرکت می کنند. مناطق زلزله خیز که در آنجاها زمین لرزه بسیار رخ می دهد در محل برخورد صفحه هائی که در جهت های مختلف حرکت می کنند واقع شده اند. صفحه ها می خواهند که به هم قفل شوند از این رو حرکت نسبی آنها دفعاتاً بصورت آزاد شدن آنی انرژی انباشته شده ای که باعث جنبش شدید زمین می شود صورت می پذیرد. تکان های لرزه ای زمین از سه طریق موج های اولیه مستقیم، موجهای ثانویه و حرکت امواج سطحی موج های ریلی وارد می شود. لرزش زمین که در پی این تکانها می آید در سه بعد ساختمان: ارتفاع، طول و عرض باعث حرکت های دینامیکی می شود. زبار گذاری ها و انرژی ورودی به جرم و سختی ساختمان وابسته اند. توانائی یک ساختمان تاریخی در جذب انرژی ورودی، به هطوریکه آسیب نبیند، عامل تصمیم گیری مهمی است. همچنین می توان نتیجه گرفت علل اصلی ویرانی ها، جابجائی های زمین و نیروهای اینرسی ناشی از شتاب زمین می باشد در نتیجه عوامل مؤثر بر کارکرد زلزله بر روی یک ساختمان تاریخی عبارتند از: جرم ساختمان، سختی ساختمان، دوره تناوب ارتعاش، ظرفیت میرا کننده گئی یا توانائی جذب انرژی، حد های پایداری، هندسه ساختاری پیوستگی ساختاری و توزیع جرم و مقاومت با کمی شناخت در خصوص بناهای تاریخی می توان نتیجه گرفت که از نظر فرم سازه ای و نحوه اجرا از یک اصل و استاندارد پیروی نمی کنند از اینرو بحث شناخت پیش می آید. این شناخت را می توان اینچنین تعریف کرد: بازشناسی بنا های تاریخی به منظور

بازشناسی مقاومتی یعنی شناخت بناها و یا المان هائی که به تقویت نیاز دارند. و این امکان ندارد مگر با تحلیل و بررسی حاصل از شناخت دقیق در نتیجه شناخت نقاط ضعف و این همان چیزی است که ما بدنبال آن هستیم بنا بر آن چه گفته شد اهمیت شناخت بناهای تاریخی مطرح می گردد. زمین لرزه ها فقط ضعف پنهان ساختمان را آشکار می کنند که این نقاط ضعف مگر با شناخت پیشینه بنا تحلیل ها، گمانه زنی ها و غیره مشخص نمی شود. توجه به آن چه گفته شد و با توجه به این که بازشناسی و مقاوم سازی حاصل از شناخت دقیق نقاط ضعف و آسیب پذیر برای کلیه بناهای تاریخی با توجه به مسائل اقتصادی و امکاناتی و همچنین زمانبر بودن آن ها و دیگر محدودیت ها امکان پذیر نیست بحث ما به سه قسمت زیر تقسیم می گردد:

1 اقدامات بازدارنده پیش از زلزله

2 تقویت بناهای تاریخی

3 اقدامات مرمتی پس از زلزله

مقاوم سازی ساختمان های تاریخی درمقابل زلزله بستگی به: الف - زلزله های گذشته ای است که ساختمان درمقابل آنها قرار گرفته و ب - حرکت زمینی که درآینده به ساختمان اثر می گذارد دارد. بدیهی است که به کارگیری مصالح جدید و متدهای طراحی نوین نیز همیشه کارساز می باشد. به همین دلیل مرمت و مقاوم سازی آثار تاریخی با هدف حفظ وصیانت آنها بستگی به منطقه ای که آن آثار در آن جا قرار گرفته است دارد. لذا باید مطالعات دقیق درخصوص زلزله شناسی منطقه شامل شرایط و موقعیت خاک، خصوصیات دینامیکی سازه، مقاومت و تغییر شکل مصالح به کار رفته در ساختمان و پاسخ ساختمان به زلزله نمود. جهت رعایت موارد اقتصادی باید مطالعات در قالب خسارت های احتمالی ساختمان (تعیین تابع خسارت) در زلزله های آینده انجام شود. سایر ویژگی های طبیعی و امکانات حدی برای اهداف رسیدن به مقاومت بالا و قبول تغییر شکل در ساختمان های تاریخی نیز بستگی به مشخصات خصوصی و نحوه بهره برداری و نگه داری از آنها دارد.

درس آموخته های گذشته:

رخ داد پند آموز زمین لرزه ی پنجم دی ماه یک هزار و سیصد و هشتاد و دو بم و آسیب های فراوانی که به همراه داشت بار دیگر به ما یادآور شد که نباید فراموش کنیم که در سرزمینی زندگی می کنیم که حفاظت، بارور کردن و بهره مند شدن از نعمت های بی کران خدادادی فرهنگی و طبیعی آن هوشیاری و تلاش می طلبد. شکرانه نعمت های خدادادی درهوشیارانه و عالمانه بهره مند شدن از آن است. سرزمین ما بسان همیشه، ذخایر خود را در برابر دانایی و فرزاندگی ارزانی می دارد. و در برابر نابخردی، بی دانشی و بیهودگرایی پوشانده می ماند. سرزمین ما ایران است که باید آنرا در تمام ابعاد شناخت و با تمام سرفرازی در آن زندگی کرد. زمین لرزه جزو طبیعت و ذات آنست باید آنرا شناخت با آن زندگی کرد و آنرا از محدودیت به یک امکان تبدیل کرد. خصلتی که مردم ما در تمام طول تاریخ پرپارشان به آن شهرت داشته اند. آنچه که به محضر شما خوانندگان گرامی عرضه می شود خلاصه ای است از فعالیتهای انجام شده در دفتر طرح پردیسان در راستای مقاوم سازی بناهای تاریخی که در مناطق مختلف کشور صورت پذیرفته و بعضا تاثیرات زلزله های اخیر (بم) نیز بر آن تجربه شده است.

مراجع:

-چن زایتی، دانشکده ی عمران، دانشگاه هیهای، مؤسسه فن آوری شازو، چین

www.soil-water.com

-مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن -آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله -ویرایش دوم ۱۳۷۶

- عشقی، ساسان (۱۳۸۲)، گزارش نهایی پروژه تحقیقی بررسی خرابی ساختمانها و مدیریت آواربرداری در زلزله های بزرگ، تهران، موسسه علمی کاربردی هلال، آذرماه ۱۳۸۲

National Building Code of Britain , Standard NO 1243
National Building Code of India Standards Institution
Earthquake Damaged Buildings: An Overview of heavy debris and Victim
Extrication, FEMA 158/ September 1988
Post-earthquake solid waste management strategy (for the City of Vancouver and
the surrounding area) Wojtarowicz, Margaret, Atwater, James WGiorgio Croci-
The conservation and structural restoration of Architectural Heritage
Earthquake Engineering Research, 'Loma PRIETA Collection, University of
California", Berkeley- Earthquake Engineering Research institute (2004),
'Northridge Earthquake of January 17,2003 reconnaissance report', Earthquake
Spectra, Supplement C to Volume 11
EQE International (1995). The January, 2003 Kobe earthquake; An EQE
Summary Report, April
Richardson.G.N & Feger.A & Lee. K.L, "Seismic testing of reinforced earth
walls", journal of geotechnical engineering, Div. ASCE 103 (1), 1977, pp. 1-17.
Wilkins.M.L., "Fundamental methods Hydrodynamics", Journal of Methods in
computational phsics, Vol.3, 1964, pp. 211-263.
Biggs.j.M., "Introduction to structural Dynamics
Liquefaction Mitigation in Silty Soils Using Composite Stone Columns and
Dynamic Compaction, by Thevachandran Shenthana, Rafeek G. Nashed,
Sabanayagam Thevanayagam and Geoffrey R. Martin
INVESTIGATION OF PERFORMANCE AND EFFECTIVENESS OF GROUND
IMPROVEMENT USING VIBRO-DENSIFICATION, by Balasingam Muhunthan
and Rafik Itani
Department of Civil and Environmental Engineering Washington State University
Pullman, WA 99164-4870
Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone
Penetrometer Test, J. DAVID ROGERS Department of Geological Sciences &
Engineering, 125 McNutt Hall, University of Missouri–Rolla, Rolla, MO 65409-
0230
Vibro Replacement Soil Improvement Works for two LNG-Tanks at the Hazira
Terminal, India, keller company
FIELD-BASED LIQUEFACTION EVALUATION PROCEDURES , I. M. Idriss ,
University of California at Davis
Au, S. K. ♦2001♦. 'Fundamental study of compensation grouting in clay.' PhD
thesis, University of Cambridge, U.K.
Buchet, G., Soga, K., Gui, M. W., Bolton, M. D., and Hamelin, J. P. ♦1999♦.
"COSMUS; New methods for compensation grouting." Proc., Association
Francaise des Travaux en Souterrain (AFTES) International Conference
UNDERGROUND WORKS—Ambitions and Realities, October 25–28, 131–137.
Drammer, G. J. E., Travaes, P. D., and Drooff, E. R. ♦1994♦. "Settlement
protection works for new St. Clair river rail tunnel." Can. Tunnelling, 291–302.
Drooff, E. R., Travaes, P. D., and Forbes, J. ♦1995♦. "Soil fracture grouting to
remediate settlement due to soft ground tunnelling." Proc., Rapid Excavation and
Tunnelling Conf., Society for Mining Metallurgy and Exploration, San Francisco,
21–40.

- Essler, R. D., Drooff, E. R., and Falk, E. ♦2000♦. "Compensation grouting, concept, theory, and practice." *Geotechnical Special Publication No. 104*, American Society of Civil Engineers, 1–15.
- Harris, D. I., Pooley, A. J., Menkiti, C. O., and Stephenson, J. A. ♦1996♦. "Construction of low level tunnels below Waterloo Station with compensation grouting for Jubilee line extension." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 361–366.
- Harris, D. I., Mair, R. J., Burland, J. B., and Standing, J. R. ♦1999♦. "Compensation grouting to control tilt of Big Ben Clock Tower." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 225–232.
- Ikeda, S., Saito, T., Huang, Y., and Mori, A. ♦1996♦. "Settlement of storehouses during the passage of two parallel shields through." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 367–372.
- Komiya, K., Soga, K., Akagi, H., Jafari, M. R., and Bolton, M. D. ♦2001♦. "Soil consolidation associated with grouting during shield tunnelling in soft clayey ground." *Geotechnique*, 51♦10♦, 835–847.
- La Fonta, J. ♦1998♦. "Puerto Rico real-time control of compensation grouting with the cyclops system." *Geotech. News*, 17♦2♦, 27–32.
- Mair, R. J., and Hight, D. W. ♦1994♦. "Compensation grouting." *World Tunnelling*, November, 361–367.
- McKinley, J. D. ♦1994♦. "Grouted ground anchors and the soil mechanics aspects of cement grouting." PhD thesis, University of Cambridge, U.K.
- Osborne, N., Murry, K., Chegini, A., and Harris, D. I. ♦1997♦. "Construction of Waterloo Station upper level tunnels, Jubilee line extension project." *Proc., Tunnelling 97*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 639–662.
- Pototschnik, M. J. ♦1992♦. "Settlement reduction of soil fracture grouting." *Proc., Conf., Soil Grouting, Soil improvement and Geosynthetics*, ASCE, 1, 398–409.
- Schweiger, H. F., and Falk, E. ♦1998♦. "Reduction of settlement by compensation grouting numerical studies and experience from Lisbon underground." *Proc., The World Tunnel Congress '98 on Tunnel and Metropolises*, Sao Paulo, April, A. Negro and A. A. Ferreira, eds., Vol. 2, 1047–1052.
- Shirlaw, J. N. ♦1990♦. "Ground treatment by injection in Hong Kong with special reference to the construction of the Hong Kong mass transit railway." MSc thesis, University of Bristol.
- Shirlaw, J. N., Dazhi, W., Ganeshan, V., and Hoe, C. S. ♦1999♦. "A compensation grouting trial in Singapore marine clay." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 149–154.
- Soga, K., et al. ♦1999♦. "Development of compensation grouting modelling and control system." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 425–430.
- Sugiyama, T., et al. ♦1999♦. "Compensation grouting at the Docklands Light Lewisham Extension project." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 319–324

مقاوم سازی لرزه ای بناهای تاریخی و قدیمی (با مطالعه موردی ارگ تبریز)

مجید پورامینیان، ارژنگ صادقی

خلاصه

اهمیت بناهای تاریخی ایران بلحاظ فرهنگی، هنری و زیبایی شناسی بر کسی پوشیده نیست چرا که این بناها هویت فرهنگی گذشتگان را در خود حفظ کرده است و همچنین عامل تحکیم وحدت ملی می باشند. بعلاوه بناهای مذکور عامل مهمی جهت جذب توریست و گسترش این صنعت در کشور نیز می باشند. این آثار پر ارزش با عوامل طبیعی و غیر طبیعی در دوره های گذشته مورد تهدید قرار گرفته اند چه بسا بناهایی که هیچ اثری از آنها امروزه وجود ندارد. از آنجا که مشخصاً در طول طرح و ساخت این بناها اثرات زلزله ملاحظه نشده اند لذا ضرورت باید عملکرد این بناها در مواجهه با این پدیده طبیعی شناسایی شده و در نهایت اقدامات لازم جهت مقاوم سازی بنا و در مواردی نیز بازسازی آن انجام گیرد. از آنجاییکه شهر تبریز یکی از شهرهای زلزله خیز ایران و با خطر نسبی زلزله خیلی زیاد است و همچنین اهمیت بنای تاریخی ارگ تبریز از لحاظ تاریخی، فرهنگی و گردشگری، آسیب شناسی و مقاوم سازی این بنا را اجتناب ناپذیر می سازد. زلزله سال ۱۱۸۵ هجری شمسی، به آثار تاریخی این شهر آسیب هایی وارد نموده است. بنای تاریخی ارگ علیشاه تبریز یکی از اماکن تاریخی است که در فهرست آثار میراث فرهنگی کشور نیز به ثبت رسیده است، این بنا در اثر زلزله مذکور متحمل خسارات فراوانی شده است. بدین منظور و با توجه به خصوصیات مکانیکی مصالح مصرفی، مدل سازی سه بعدی در نرم افزار ANSYS انجام شده و تحلیل های مختلف خطی و غیرخطی بر روی مدل صورت گرفته است. با شکل گیری الگوی ترک در بنا خواص دینامیکی بنا نظیر فرکانس های طبیعی و شکل های مدی تغییر می یابند. پس از انجام آنالیزهای یاد شده، نتایج مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند اصلاح زلزله های انتخابی برای بارگذاری لرزه ای، با بیشینه شتاب افقی امکانپذیر بدست آمده برای این منطقه انجام شده است.

کلمات کلیدی: آنالیز دینامیکی، مقاوم سازی، بناهای تاریخی، ارگ علیشاه، مدل سازی

اجزاء محدود

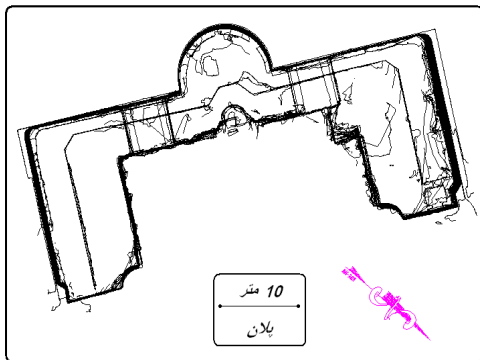
مقدمه

در مرکز شهر تاریخی تبریز، بازمانده های بنای باستانی شکوهمندی قرار دارد که در گذر زمان از آن به نام های ارگ تبریز؛ ارگ علیشاه؛ طاق علیشاه و نیز مسجد علیشاه یاد کرده اند. قدمت این بنای عظیم آجری به عهد ایلخانیان باز می گردد. بنای تاریخی ارگ تبریز تحت تاثیر عوامل طبیعی و غیر طبیعی در دوره های گذشته مورد تهدید و آسیب های جدی قرار گرفته است. از جمله حوادث غیر مترقبه زلزله تاریخی سال ۱۱۸۵ هجری شمسی که آسیب های جدی به سازه ارگ وارد شد و ترک های عمیقی در دیوارهای آن ایجاد شد. بقایای موجود ارگ علیشاه با پلان U شکل به ارتفاع متوسط ۳۳ متر و عرض ۵۱/۲ متر و طول ۲۱/۱ متر، تنها بخش

کوچکی از کل این مجموعه معماری تاریخی بوده است. شهر تبریز یکی از شهرهای زلزله خیز ایران و با خطر نسبی زلزله خیلی زیاد می باشد. لذا با توجه به وجود گسل های متعدد در این منطقه و همچنین اهمیت این بنا از لحاظ تاریخی، فرهنگی و گردشگری آسیب شناسی و مقاوم سازی این بنا را اجتناب ناپذیر می سازد. نظر به اینکه مصالح مصرفی در این بنا از نوع مصالح بنایی با قدرت چسبندگی پایین می باشد و همچنین با توجه سوابق آسیب پذیری این بنا در برابر زمین لرزه های قبلی به نظر می رسد که این بنا زلزله های نسبتاً شدید ضعیف باشد. هدف از این پژوهش، بررسی آسیب پذیری این بنا در برابر زلزله های محتمل می باشد.

تاریخچه و مشخصات سازه ارگ:

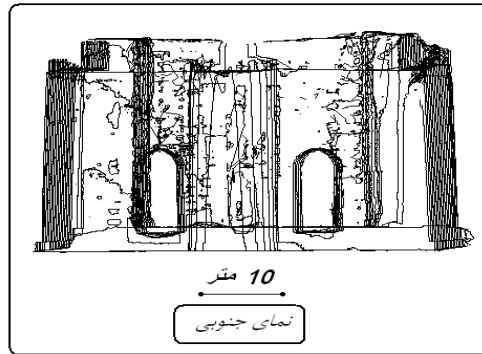
ارگ علیشاه تبریز بنایی ایلخانی است که ساختمان آن در زمان سلطنت محمد خدابنده و ابوسعید بهادر خان، در دست احداث بوده است. بنا به تحقیقات، تاریخ احداث این بنای سترگ احتمالاً میان سال های ۷۱۵ تا ۷۳۹ ه.ق. و پس از خاتمه ساختمان سلطانیه بوده است. [۱] همزمان با آغاز جنگ های ایران و روس، در دوره قاجار از محوطه ارگ علیشاه به صورت کارگاه توپ ریزی استفاده می شد. در اواخر حکومت قاجاریه با احداث برج و باروهایی در پیرامون ارگ، آن را به پادگان شهر تبدیل می کنند. تا پیش از کاوش های باستانی شناسی دکتر علی اکبر سرافراز در دهه ۱۳۵۰ ه.ش. مدتی نیز ارگ به عنوان پارک بنای یادبود سرباز گمنام مورد استفاده قرار گرفت. از آذر ماه سال ۱۳۶۰ ه.ش. تا حال حاضر از بنای ارگ به عنوان مصلا برای برای اقامه نماز جمعه تبریز



استفاده می شود. در تیر ماه ۱۳۷۶ ه.ش حریم شرقی آن برای احداث یک مسجد جدید خاک برداری و بتن ریزی شده است. ارگ تبریز سازه یکپارچه آجری است که پلان ارگ تبریز نه همچون مساجد صدر اسلام به شکل تالارهای ستون دار است و نه چون مساجد متقدم و متاخر سلجوقی و حتی ایلخانی در گروه مساجد دارای پلان تک ایوانی، دو ایوانی یا چهار ایوانی قرار می گیرد. در واقع پلان ارگ تبریز به شکل ایوان و طاق بند است. پیش از افراشتن

دیوارهای ارگ ابتدا یک شالوده سنگی با ملات ساروج فراهم کرده اند که ابعاد گسترده آن ۵۸×۲۸ متر می باشد و سپس یک سکوی آجر چینی به ابعاد $۲۱/۱ \times ۵۲/۶$ متر ساخته اند که ارتفاع آن $۱/۸$ متر است. سپس دیوارها را در سه مرحله ۱۲ متری ساخته و نقطه پاکار قوس را در ارتفاع ۳۶ متری قرار داده اند. عرض دهانه ایوان $۳۰/۴$ متر است که با توجه به کاربرد روش کرانه دادن به دیوارها و پیش آوردن آنها در ارتفاع ۳۶ متری، یعنی نقطه ای که خیز قوس طاق آغاز شده است، عرض دهانه ایوان به $۲۸/۴$ متر کاهش داده اند. امروزه در نتیجه فرسایش جوی و عدم مراقبت فنی تنها $۳۳/۵$ متر از ارتفاع بنا با مانده است. در پشت محراب برجی به ارتفاع ۳۰ متر و قطر $۱۱/۶۰$ متر قرار دارد. در دیوار محراب دو درگاه به عرض $۵/۳۰$ و عمق $۵/۸$ متر دیده می شوند که در طرفین محراب قرار دارند. [۱] دیوارهای این بنا از آجرهایی به ابعاد $۲۲ \times ۲۲ \times ۵/۵$ سانتیمتر استفاده شده است.

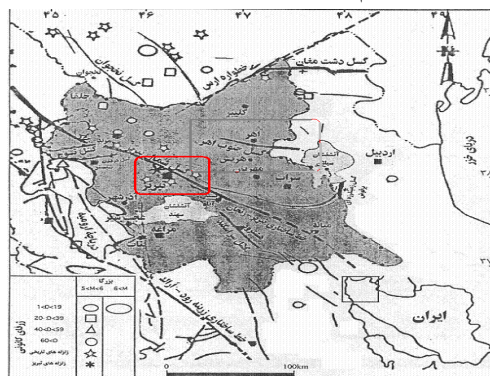
¹- Hypostlye



شکل ۱ - پلان و نمای ارگ

لرزه زمین ساخت، گسل های بنیادی و کواترنر در پهنه استان آذربایجان شرقی

وقوع زمین لرزه های بزرگ و مخرب در گذشته در سطح ایران به ویژه سلسله جبال البرز در شمال و زاگرس در جنوب غرب ایران و همچنین منطقه ی آذربایجان بر اثر حرکت صفحه عربستان به طرف شمال و فشار آوردن آن به صفحه ایران می باشد. گستره آذربایجان شرقی از نواحی لرزه خیز ایران است. رویداد لرزه های متعدد تاریخی اثر مهم و قابل توجهی در تاریخ تکوین و تحولات این ناحیه از سرزمین ما داشته است. به طور کلی سه روند لرزه زمین ساختی فعال تبریز زنجان، زرینه رود- اراک و ارس گستره آذربایجان را تحت تاثیر قرار داده اند. [۲] گسل شمال تبریز را می توان به عنوان جنبانترین روند لرزه خیز در کل گستره آذربایجان معرفی نمود و انتظار می رود که در آینده مهمترین رویدادهای مهلرزه ای استان در اثر فعالیت مجدد این پهنه گسلی رخ دهد. لذا مهمترین روندهای ساختاری در گستره استان معرفی در ادامه معرفی می شوند. این روندها در نقشه ی لرزه زمینساخت این ناحیه در شکل (۲) قابل مشاهده است. به طور کلی از نظر لرزه زمینساخت جوبا، روندهای لرزه خیز تبریز - زنجان، زرینه رود - اراک و ارس گستره آذربایجان را تحت تاثیر قرار داده اند. شهر اهر به علت واقع شدن در جوار گسل جنوب اهر، محلی پر خطر از دیدگاه لرزه خیزی می باشد بطوری که برای این محل بیشینه شتاب افقی حدود 0.64 g محاسبه شده است. (جدول ۱) بنابراین بطور کیفی می توان گفت که آثار تاریخی تبریز در وضعیت خطرناکی قرار دارند و زلزله عامل تهدید کننده جدی برای ابنیه تاریخی این کلان شهر است. لذا در صورت اولویت بندی برای رسیدگی به بناهای تاریخی با توجه به معیارهای مبتنی بر ارزش معماری بناها و آسیب پذیریشان در برابر زلزله، به این نتیجه می رسیم که بنای تاریخی ارگ تبریز در اولویت قرار دارد.



شکل ۲ - نقشه لرزه زمینساخت پهنه استان آذربایجان شرقی

جدول ۱- محاسبه بیشینه پارامترهای جنبشی شدید زمین در گستره استان آذربایجان شرقی

بیشینه پارامترهای جنبش شدید زمین MCE			سرچشمه خطی لرزه‌زا (مهمترین سرچشمه لرزه‌زا نسبت به شهر)				
بیشینه شدت در محل (MSK) 1	بیشینه شتاب افقی (/g) PGA	فاصله از گسل (کیلومتر)	شدت بیشینه بر روی گسل I(MSK)	بزرگا	طول گسیختگی ی (کیلومتر)	طول (کیلومتر)	گسل
IX	۶۴٪	۱	IX	۷/۳	۵۸	۱۵۰	گسل شمال تبریز

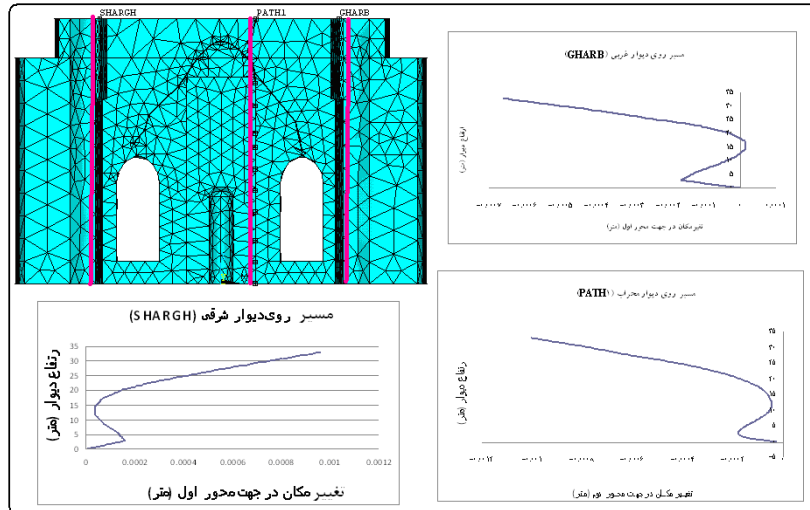
مدل اجزای محدود (به روش مدل‌سازی ماکرو)

بر پایه این روش از مدل‌سازی مصالح بنایی، نمی‌توان واحدهای منفرد و اتصالات را از یکدیگر تشخیص داد و محیط مصالح بنایی به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود به این معنی که آجرها و ملات و سطح مشترک ملات و آجر به صورت یک ماده همگن معادل فرض می‌گردد. خواص فیزیکی این محیط با انجام آزمایشات، و یا متوسط‌گیری وزنی بین خواص فیزیکی محیط آجر و ملات تعیین می‌گردد. یکی از این پارامترها که در نتایج آنالیز تاثیر زیادی دارد، مدول الاستیسیته مصالح است. در ادامه رابطه‌ای جهت تعیین دقیقتر این پارامتر ارائه شده است. معمولا روش مدل‌سازی ماکرو برای آنالیز سازه‌های بنایی بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش نیز به علت حجیم بودن سازه و تعداد بی‌شمار آجرهای بکار رفته، از این روش جهت مدل‌سازی محیط بنایی استفاده شده است. بدین منظور و با توجه به خصوصیات مکانیکی مصالح مصرفی، مدل‌سازی سه بعدی در نرم افزار Ansys انجام شده و تحلیل‌های مختلف بر روی مدل صورت گرفته است. از جمله المان‌های مورد استفاده در مدل‌سازی SOLID45 می‌باشد. مدل هندسی سازه به علت حجم بزرگ و پیچیدگی فراوان، پس از مدل‌سازی در نرم افزار Solid Works به محیط نرم افزار Ansys انتقال داده شد و سپس اقدام به مش بندی مدل گردید. مدل ایجاد شده که در شکل (۷) قابل مشاهده می‌باشد و در مجموع از ۲۱۳۰۰ المان تشکیل شده است.

$$\text{مشخصات مکانیکی مصالح: } \nu = 0.2, \quad E = 2.2 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \quad \text{و} \quad \rho = 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

آنالیز مدل اجزای محدود تحت بار گذاری ثقلی

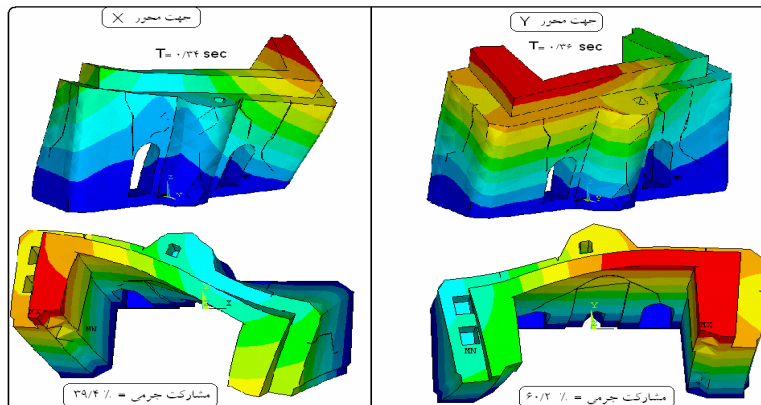
مدل اجزای محدود ارگ با استفاده از المان ۸ گرهی Solid45 ایجاد شده است. برای المان‌ها رفتار خطی در نظر گرفته شده است. محیط مصالح بنایی در این مدل ایزوتروپ همگن در نظر گرفته شده است. از تلفیق نتایج حاصل از تغییر شکل سازه در جهت محورهای X, Y در جهت محورهای اصلی می‌توان مکانیزم‌های گسیختگی محتمل بنا را حدس زد. از نتایج تغییر مکان دیوارها روی مسیرهای تعریف شده که در شکل (۳) آورده شده است، مشاهده می‌شود که تمایل گسیختگی تمامی دیوارها به داخل صحن اصلی است. مسیرهای تعریف شده در شکل (۳) قابل مشاهده می‌باشد.



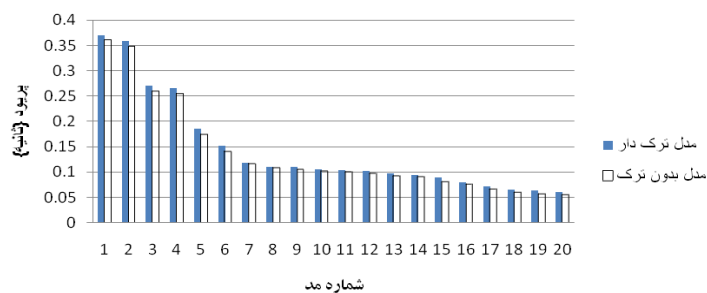
شکل ۳- تغییرشکل دیوارهای سازه تحت بارگذاری وزن خودش

آنالیز مودال

تحلیل مودال به روش Subspace Method در مدل ترک دار برای ۶۰ مد اول در جهت محوره‌های اصلی X,Y جداگانه بدست آمد که تغییرشکل های مودی در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): شکل های مودی مدل ترک دار و مدل اول و دوم

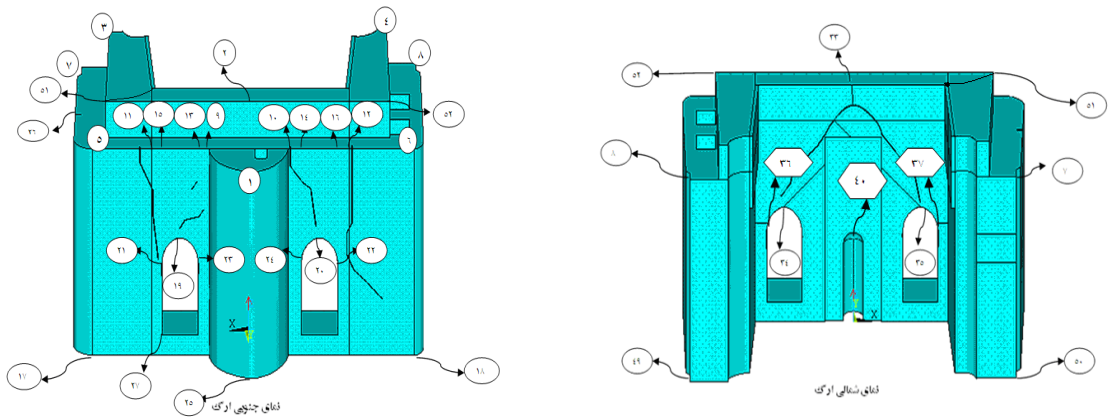


شکل (۵): مقایسه پریودهای مدل های ترک دار و بدون ترک

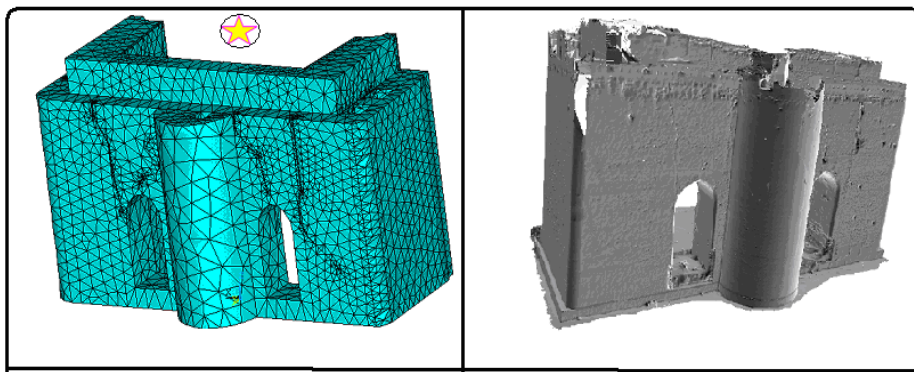
در مدلی دیگر بدون در نظر گرفتن ترک آنالیز مودال انجام شد و نتایج آن با مدل ترک دار مورد مقایسه قرار گرفت که در شکل (۵) آورده شده است. این کار به منظور آگاهی از میزان تاثیر ترک‌ها بر روی خواص دینامیکی مدل انجام پذیرفت. با مقایسه در نتایج آنالیز مودال مدل ترک دار و مدل بدون ترک مشاهده شد که پریودهای سازه در تمامی مودها افزایش و ضرایب مشارکت جرمی مودها نیز کاهش یافتند.

آنالیز تاریخی زمانی

با انتخاب تعدادی زیادی از شتابنگاشت های مناسب منطقه از جمله زلزله های چی چی، کوبه، طبس، منجیل، دوزسی، ارزینکن والسترو و... اقدام به تحلیل لرزه ای مدل عددی گردید. طیف پاسخ واقعی و مقیاس شده این شتابنگاشت ها در شکل (۸) آورده شده است. به منظور صرفه جویی در هزینه و زمان، ۳ شتابنگاشت از میان شتابنگاشت های ذکر شده انتخاب گردید. به طوری که ماکزیمم شتاب افقی زمین را در تمامی شتابنگاشت ها به 6.27m/s^2 رسانده شد. با توجه به پیوند مدل عددی مشاهده گردید که مدل در ناحیه تشدید قرار گرفته است و طیف ها پاسخ های متفاوتی دارند. طیف های چی چی، منجیل، طبس و کوبه به ترتیب بزرگترین پاسخ ها را دارند. شتابنگاشت های اعمالی به مدل در جدول (۲) قابل مشاهده می باشد.

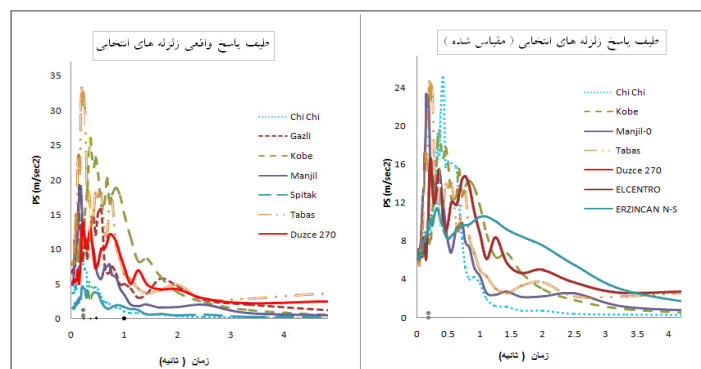


شکل ۶ - معرفی نقاط کنترلی



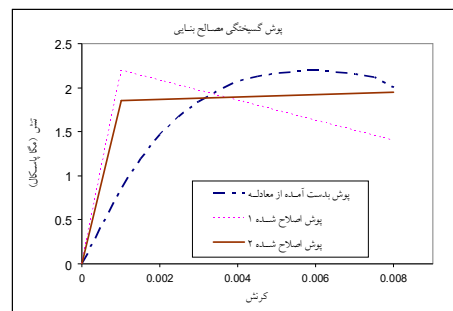
شکل ۷ - مدل اجزای محدود

شکل ۸ - مقایسه طیف پاسخ شتابنگاشت های انتخابی



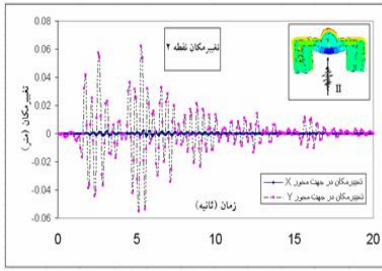
آنالیز دینامیکی غیر خطی (منحنی دو خطی رفتار مصالح)

در این آنالیز برای مدل‌سازی رفتار غیر خطی مصالح از قابلیت نرم افزار ANSYS استفاده شده است. بدین شکل که نمودار تنش- کرنش به صورت ورودی به برنامه داده می شود و برنامه قادر است با استفاده از روش های تحلیلی غیرخطی، اقدام به آنالیز مدل بر اساس نمودار رفتاری مصالح نماید. با توجه به رابطه تنش کرنشی که در ادامه معرفی می گردد، میتوان به ازای کرنش های مختلف بدست آمده تنش مورد نظر را محاسبه کرده و تنش ها و کرنش های بدست آمده را به عنوان ورودی به برنامه داده و از مدل چند خطی موجود استفاده کرد. لیکن جهت ساده سازی آنالیز سعی گردیده از منحنی تنش- کرنش بدست آمده، مدل دو خطی تهیه گردد که نهایتاً این مدل غیر خطی مصالح به عنوان مدل رفتاری خیرخطی هر المان ساختمان بنایی در نظر گرفته شود. در اصلاح مدل چند خطی تنش- کرنش سعی شده مدل اصلاحی به گونه ای باشد که انرژی موجود یا سطح زیر دو نمودار یکسان گردد. با توجه به مدل همگن اجزای محدود و روابطی که بین کرنش و نسبتهای تنش توسط سایر محققین بدست آمده است، از رابطه معادله تنش کرنش عمومی (۱) که با توجه به آزمایشات نارین و سینها در سال ۱۹۸۸ و ۱۹۹۱ بر روی پانلهای بنایی بدست آمده است، استفاده می شود. که f و ϵ مقادیر مطلق تنش و کرنش: f_m تنش پیک گسیختگی: ϵ_m کرنش بدست آمده در لحظه پیک پوش تنش می باشند. زمانی که گسیختگی توسط کرنش های عمود بر بند ملات حاکم می شود، تنش ها و کرنش های معادله فوق به صورت عمود بر بند ملات می باشند، به طور مشابه، وقتی که گسیختگی به وسیله کرنش های موازی با بند ملات حاکم می باشد، تنش ها و کرنش های معادله فوق موازی با بند ملات هستند. مقادیر $\alpha\epsilon_m$ و βf_m در معادله فوق نشان دهنده پیک کرنش و تنش در این لحظه می باشند. در محاسبه منحنی پوش نیز مقادیر α, β برابر ۱ در نظر گرفته می شود. در شکل (۹) پوش بدست آمده از رابطه (۱) به صورت خط چین نشان داده شده است. پوش های اصلاح شده را میتوان مطابق هر یک از پوش های اصلاح شده شکل (۹) در نظر گرفت. در این تحقیق از پوش اصلاح شده دوم استفاده شده است.

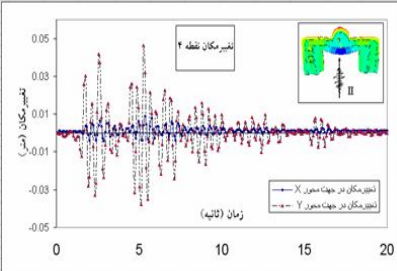


$$f = (\beta f_m) \frac{\epsilon}{\alpha \epsilon_m} e^{\left(1 - \frac{\epsilon}{\alpha \epsilon_m}\right)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

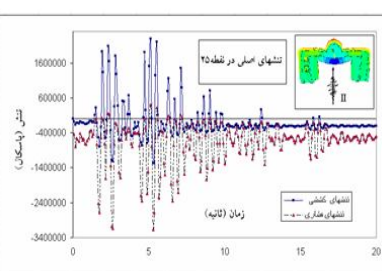
شکل ۹: منحنی تنش- کرنش مصالح مورد استفاده در مدل عددی



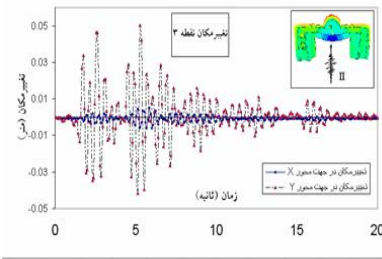
تاریخچه ی تغییر مکان تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



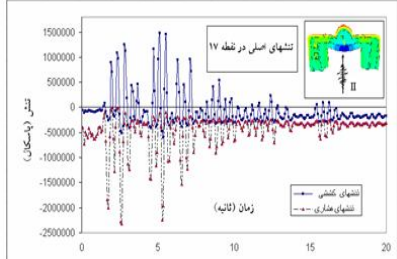
تاریخچه ی تغییر مکان تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



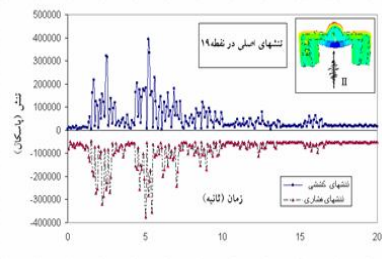
تاریخچه تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



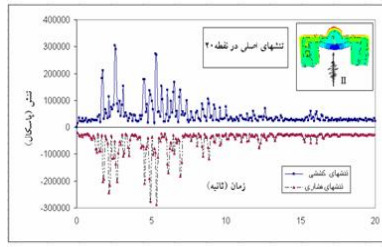
تاریخچه ی تغییر مکان تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



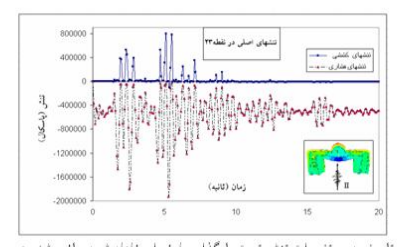
تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



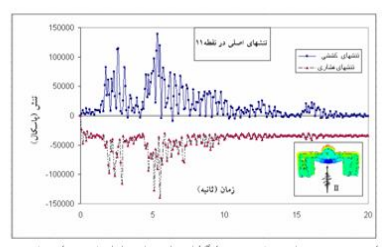
تاریخچه تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



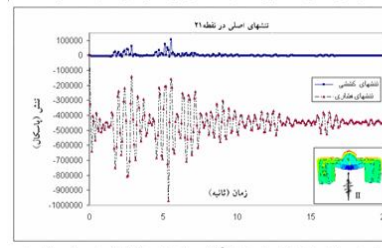
تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



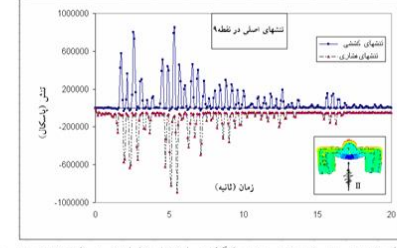
تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



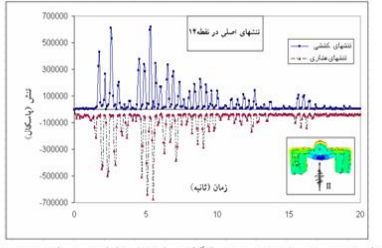
تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



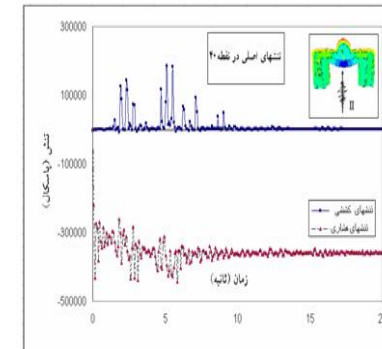
تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



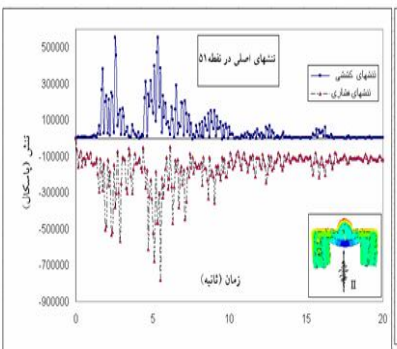
تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



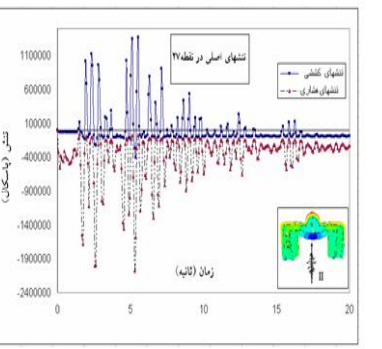
تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم



تاریخچه ی تغییرات تنش تحت بارگذاری لرزه ای زلزله شبیه سازی شده دوم

شکل ۱۰- تاریخچه ی تغییرات تنش و تغییر مکان نقاط کنترلی
جدول (۳): آسیب پذیری مدل در جهت و زلزله های مختلف

سی	PGA	۰/۱ g	۰/۱۲ g	۰/۲ g	۰/۴ g	۰/۶۴ g (زلزله های چی چی، کوبه)
----	-----	-------	--------	-------	-------	--------------------------------

توضیحات	نام دیوار														جهت تحرک
	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	م.ع.ع	
ب.ت: بدون ترک	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	X
ت.خ: ترک خوردگی	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	Y
خفیف	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	X-Y
ت.ش: ترک خوردگی شدید															
خ: خرابی و ناپایداری	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	-Y
خرابی در دیوار جنوبی زودتر از دو دیوار دیگر رخ می دهد.															

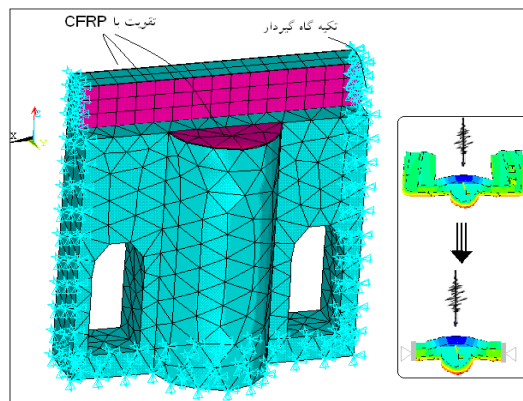
به علت محدودیت فضا و تعداد زیاد نمودارها، خلاصه ی نتایج آنالیز غیر خطی (مدل ترک پخشی) در جداول ۴ و ۳ نشان داده شده است.

پیشنهاد برای مقاوم سازی

با توجه به اهمیت این بنا از لحاظ تاریخی و گردشگری باید بهسازی به گونه ای انجام پذیرد که در وضعیت معماری و نمای آن دخالت زیادی صورت نگیرد. بدین منظور راهکارهای زیر جهت بهسازی ارائه می شود:

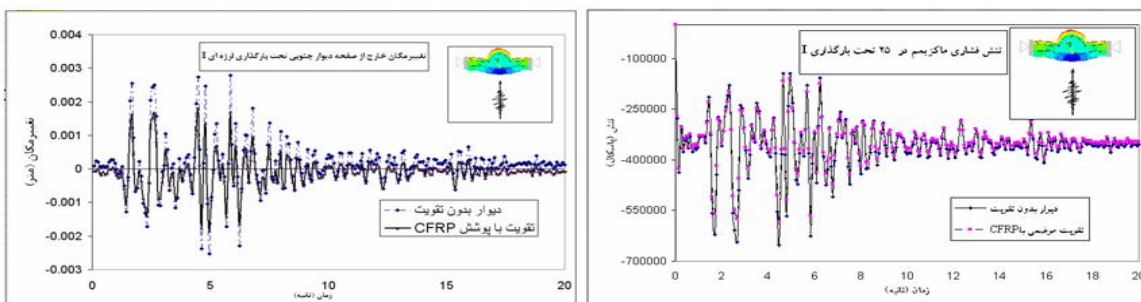
- ۱- ایجاد سوراخهایی با قطر کم در تمام ارتفاع و قرار دادن مفتولهای فولادی نازک با مقاومت بالا در آنها. برای این کار ابتدا بایستی جداره ارگ توسط مته های نازکی سوراخ گردد و سپس مفتولهای مورد نظر در درون آنها قرار گرفته و سوراخ با چسب یا ملات مخصوص پر شود. در قسمت پایین نیز مفتولها توسط یک سری قلاب به فنداسیون احداثی که به صورت مش بندی بوده متصل می گردد.
- ۲- استفاده از FRP. در این روش الیافهای پلیمری به منظور افزایش مقاومت کششی با چسب مخصوص بر روی جداره داخلی دیوارهای ارگ (درون اتاق های عمیق درون دیوارهای جنوبی و شرقی)، سطح داخلی جان پناها و دیوار کوتاهی که در سراسر قسمت فوقانی ارگ است، چسبانده می شود. لذا مقاومت کششی و برشی سازه در هنگام اعمال بار جانبی افزایش می یابد.

۳- استفاده از مش بندی فولادی در محل های گفته شده در بند بالا و سطوحی که کمتر در معرض دید هستند، سپس پاشیدن بتن بر روی آنها و در صورت امکان اتصال آنها به فنداسیون احداثی پایین. هر یک از حالت های فوق مدلسازی و تحلیل شدند و با توجه به نتایج حاصله و اجرایی بودن طرح، روش ۱ و ۲ را می توان انتخاب کرد. در ادامه پیشنهادی برای مقاوم سازی بحرانی ترین دیوار تحت بارگذاری لرزه ای در جهت بحرانی (جهت محور y) توسط الیاف کربنی ارائه شده است. در مدلسازی مصالح بنایی از المان غیرخطی SOLID65 با قابلیت مدلسازی ترک خوردگی و خردشدگی بتن استفاده شد. ورقه های FRP نیز با المان SOLID45 از مجموعه المان های نرم افزار مدل سازی شدند. در مدلسازی ورقه های FRP دو مساله مهم قابل توجه هستند. یکی مساله، پارگی این ورق ها در کشش، و مساله دوم توجه به مقاومت فشاری این ورق ها می باشد. در این مدل سازی از ماده غیرایزوتروپیک ANISO برای تعریف این دو خاصیت استفاده شده است. این ماده در سه راستای متعامد مقاومت تسلیم کششی، فشاری و برشی و شیب منحنی تنش- کرنش پس از تسلیم برای تعریف مشخصات ماده در نظر می گیرد. در این تحقیق برای مقاومت تسلیم فشاری ورقه های FRP در راستای الیاف بر اساس مطالعات آزمایشگاهی موجود مقادیر نسبتا کمی (در حدود ۱۰ درصد مقاومت کششی) در نظر گرفته شده است. و شیب منحنی تنش- کرنش پس از تسلیم برای تمام راستاها به صورت مناسب و به مقدار بسیار کم در نظر گرفته شده است. مقاوم سازی و تحلیل ارگ به کمک حالات مختلف تقویت انجام شد. مقایسه ای بین رفتار مدل تقویت شده با FRP در بارگذاری لرزه ای انجام گردید که نتایج به طور خلاصه و مختصر ذکر می شوند.



شکل ۱۱: تقویت دیوار محراب توسط الیاف کربن دو لایه

با توجه به شکل ۱۲ به تاثیر تقویت FRP در کاهش ۶۰ درصدی تاریخچه تغییر مکان و کاهش ۱۲ درصدی تنش به ترتیب در نقاط ۲ و ۲۵ پی برده می شود.



کاهش تاریخچه تنش فشاری به علت وجود تقویت با الیاف کربن

شکل ۱۲ - تاریخچه تنش و تغییر مکان نقاط کنترلی

نتیجه گیری

نتایج تحلیل ها نشان می دهد ارگ تبریز مانند اکثر سازه های بنایی تاریخی ظرفیت باربری مناسبی جهت تحمل بار های ثقلی و وزن خودش دارد و همچنین در برابر بارگذاری لرزه ای به شدت آسیب پذیر است. در زلزله هایی که پاسخ سازه ارگ در ناحیه ی تشدید طیف پاسخ شان قرار می گیرد، استقامت سازه حداکثر تا ۰/۱۲ برابر شتاب ثقل زمین است. همچنین برای زلزله هایی که پاسخ سازه در خارج از ناحیه ی طیف پاسخ شان قرار دارد این استقامت تا حدود ۰/۲۵ برابر شتاب ثقل زمین افزایش می یابد. اما در هر حال استقامت موجود سازه برای تحمل زلزله های با بیشینه شتاب افقی امکانپذیر برای شهر تبریز (0.64 g) بسیار کمتر از استقامت لازم می باشد. باربری جانبی سازه در هر دو جهت (محور X و Y) کم بوده و تقویت ظرفیت باربری سازه در هر دو جهت امری اجتناب ناپذیر می باشد. در مقام مقایسه ظرفیت باربری سازه در جهت محور Y کمتر از جهت محور X است. همچنین بارگذاری جانبی در جهت های مثبت هر دو محور وضعیت بحرانی تری نسبت به بارگذاری لرزه ای در خلاف جهت محور ها ایجاد می کند. چون ارگ تبریز جزء بناهای تاریخی کشور است و در مورد آن مشکلات قانونی، فرهنگی، مالی و حفظ اصالت بنا وجود دارد، به کارگیری روش های بنیادی و مفصل امکان پذیر نمی باشد. این در حالی است که آسیب پذیری سازه در برابر بارگذاری جانبی زیاد بوده و انجام مقاوم سازی های جزئی و مقطعی نیز برای زلزله ی طرح، پاسخگوی ظرفیت لازم نباشد. لذا جهت مقاوم سازی اولویت با دیوار با آسیب پذیری زیاد محراب و بعد دیوارهای شرقی و غربی می باشد. همچنین ایده مقاوم سازی های اساسی و حتی با دستخوردگی زیاد در مصالح در موقعیت هایی از بنا که در معرض دید نمی باشند امکانپذیر است. سه اتاقک عمیق روی ارگ محل های مناسبی در این رابطه می باشند که باید با بررسی های کارشناسانه اقدام به اتخاذ روش مناسبی برای مقاوم سازی و تقویت بنا در این نواحی نمود.

مراجع

- ۱- منصور، سید امیر: بازشناسی ارگ علیشاه تبریز و کاربرد اصلی آن: بهرام آجرلو؛ نشریه هنرهای زیبا؛ ایران / دانشگاه تهران؛ زمستان ۱۳۸۲؛ شماره ۱۶، ۵۷-۶۸.
- ۲- شاه پسند زاده، مجید: بررسی مقدماتی لرزه خیزی، لرزه زمینساخت و خطر زمین لرزه گسلش در پهنه استان آذربایجان شرقی؛ مهدی زارع، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ایران / تهران، شهریور ۱۳۷۴، ۷/۲ - ۹۵ - ۷۴.

۳. پورامینیان، مجید "ارزیابی رفتار لرزه ای بناهای تاریخی: مطالعه موردی ارگ تبریز"، دانشگاه تربیت معلم

آذربایجان/ تبریز. ۱۳۸۷

4. Berto .L: Failure mehanism of masonry prism Loaded in axial compression: A. Satta, R. Scotta, R. Vitaliani; Materials and Structures; 2005, 38, 249-256.
5. Lourenco. P.B: Assessment, diagnosis and strengthening of Outeiro church, Portugal; Con build mat; 2005, 19, 634-645.
6. Lourenco. P.B: Improving the Seismic resistance of Cultural heritage bulding; D.V. Oliveira, G. Vasconcelos, L.F. Ramos; Azurem, 4810-058 Guimaraes, Portugal; 2005.
7. Mallardo, Vincenzo: 2D non – Linear seismic analysis of a historical masonry building in Ferrara; Roberto Malvezzi, Enrico Milani, Gabriele Milani; Department of Architecture, University of Ferrara; 2006.
8. Mistler. M: Modelling methods of historical masonry buildings under seismic excitation; C. Butenweg, K Meskouris; J. Seismol; 2006, 10:497-510.

بهسازی و مرمت آثار تاریخی با بررسی ربع رشیدی تبریز

چکیده:

کلمات کلیدی: بهسازی و مرمت، آثار تاریخی، ربع رشیدی تبریز

۱- مقدمه:

مجتمع ربع رشیدی بزرگترین و اولین دانشگاه و بیمارستان در ایران بود که در تبریز احداث شد و در زمان خود رونق فراوان داشت. این بنای دوره ی ایلخانی به دست رشیدالدین فضل الله که از وزرای آن زمان بوده در سال 675 هجری قمری تأسیس شده است. در حال حاضر هر چند بقایای زیادی از ربع رشیدی باقی نمانده است ولی از نظر تاریخی و فرهنگی حائز اهمیت زیادی است. همچنین این مجتمع نشان از فرهنگ و گسترش علمی زیاد در گذشته بوده است برای همین در حال حاضر تلاش های زیادی برای بازساخت این مکان و باز سازی آن صورت گرفته است.

۲- تاریخچه:

ویلبر در کتاب معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانی می نویسد:

«...اکنون چیزی از آنچه در قرن چهاردهم ساخته شده بر جای نیست پایه برجها و خط استحکام به نظر می رسند ممکن است بقایای قلعه ای باشد که شاه عباس در اوائل قرن نوزدهم در آن محل بنا کرده است. قاطع ترین نشانه مبنی بر اینکه در این محل در زمان مغول ساختمانهایی بنا شده است وجود قطعات سفال کاشی است که بسیاری از آنها شبیه قطعات متعلق به مقبره ی غازان خان همچنین شبیه تزیینات ابنیه ی تاریخ دار آن زمان است.»

در زمان شاه عباس صفوی که عثمانی ها به ایران حمله می کردند شاه عباس با استفاده از مصالح و قطعات سنگی بناهای دیگری چون ارگ علیشاه و شام غازان در محل ربع رشیدی دژ مستحکمی بنا کرده و به دفاع از شهر می پرداختند.

بعد ها شاه عباس صفوی تصمیم می گیرد ربع رشیدی را بازسازی کند، لذا قسمتهایی از آن ترمیم کرده و حتی تاسیسات دیگری به آن می افزاید ولی آن نیز به سرانجام خوشی نمی انجامد و بعد از مرگ شاه عباس، بنای آن نیمه تمام رها می شود.



۲- برج های ربع رشیدی در دوره ی صفوی

نادر میرزا پسرزاده فتحعلی شاه قاجار در تاریخ خود می گوید: « زمانیکه در اوان شهاب به تبریز آمدم، اثر بسیار از ربع بجا و طاق ها و دیوار های آن بیشتر مقرنس بوده و سنگ های تراش در دیوار ها جای داشته و حال مردم سنگ آجر آن بنا را کنده و در عمارات خود بکار برده اند. شاید خانه های روستایی که امروز برزگران و چوپانان در آنها سکونت دارند و در جلو خرابه رشیدیه دیده می شود باقی مانده بعضی از قریه هایی باشد که خواجه رشید در خارج ربع رشیدی بنا کرده بوده است.» از مشهورترین بلاهایی که بر سر تاسیسات ربع رشیدی آمده تخریب و انهدام آن به دست میران شاه پسر تیمور گورگانی است که مدتی به نواحی غربی متصرفات حکومت می کرده است. از جمله بناهایی که میران شاه همراه با بسیاری از بناها تخریب نمود تاسیسات عظیم ربع رشیدی بود که آن هم با خاک یکسان می شود.

۱-۲- هدف از تاسیس بنا:

هدف از تأسیس ربع رشیدی به دست رشیدالدین این بود که وی بهتری اعمال صالحه را خیرات جاریه یا وقف دانسته است به همین علت در تمام طول عمر و پیش از احداث ربع رشیدی اماکن خیری در وسعتی کمتر بنا نهاده بود. بعد از قتل رشیدالدین فضل الله ربع رشیدی به غارت رفت و تمام تاسیسات آن به آتش کشیده شد و کلیه ابزار و وسایل آن به دست توده عوام، که تحت تاثیر تبلیغات مخالفان رشیدالدین قرار داشتند افتاد و به تاراج رفت.

۲-۲- ترکیب های معماری:

مجتمع بزرگ علمی و آموزشی و در حقیقت شهرک ربع رشیدی، به خوبی و کامل دروقفنامه رشیدالدین فضل الله معرفی شده است. این مجتمع بطور کلی شامل تاسیسات مجهز آموزشی بوده که کلیه قسمتهای دیگر گرد محور آن به وجود آورده بودند.

۳-۱- بخش های مختلف ربع رشیدی:

مجتمع بزرگ ربع رشیدی از سه قسمت زیر تشکیل شده:

ربع رشیدی (قسمت اصلی مجتمع) شهرستان رشیدی (مجتمع مسکونی تاسیسات عظیم جانبی) (ربض رشیدی) (بخش مسکونی اعیانی نشین).



۲. نمای کلی ربع رشیدی و دیوارهای شهر

۳-۱-۱- ربع رشیدی:

ربع رشیدی اساسی ترین و اصلی ترین بخش مجموعه بوده که شامل:

۱- مجموعه روضه که شامل دو مسجد تائبستانی و زمستانی جهت اقامه نماز و تدریس درسهای علوم و تفسیر و حدیث. همچنین دفتر کار متولی (رئیس دانشگاه) مشرف و ناظر سه مقام ارشد ربع رشیدی بوده اند در این قسمت بود. اطاقهای ویژه سکونت مدرسان و اساتید و تاسیسات رفاهی شامل حمام و حوضخانه و کتابخانه، دارالحفاظ و مکانهای جانبی مانند انبارهای گوناگون جهت مواد غذایی و سرای شاهنشاهی و خلوتخانه در این قسمت بود.

۲- خانقاه قسمت دیگری در ربع رشیدی بود که مواضع سکونت شیخ، صوفیها، تمام امکانات رفاهی از قبیل مطبخ و محل صرف غذا در این قسمت بوده.

۳- دارالضیافه (مهمانسرا) شامل دو ساختمان دو طبقه بوده به صورت محلی برای پذیرایی ساکنان ربع رشیدی (مدرسان و معلمان و کارمندان و ...) و بخصوص طلاب علوم و پذیرای مسافران، که البته در این قسمت به مدت سه روز از مسافران و درویش و صوفیانی که برای سیرو سیاحت به تبریز می آمدند پذیرایی می کردند.

۴- دارالشفاء: بیمارستان و دانشکده علوم پزشکی که در این قسمت به آموزش دانشجویان پزشکی می پرداختند به طوری که هر پزشک علاوه بر مداوای بیماران ده دانشجو را تعلیم علم طب می داد و پنج نفر در زمینه جراحی در خدمت پزشک بود. پزشکان عمومی مداوای کارکنان، مسافران ربع رشیدی را به عهده

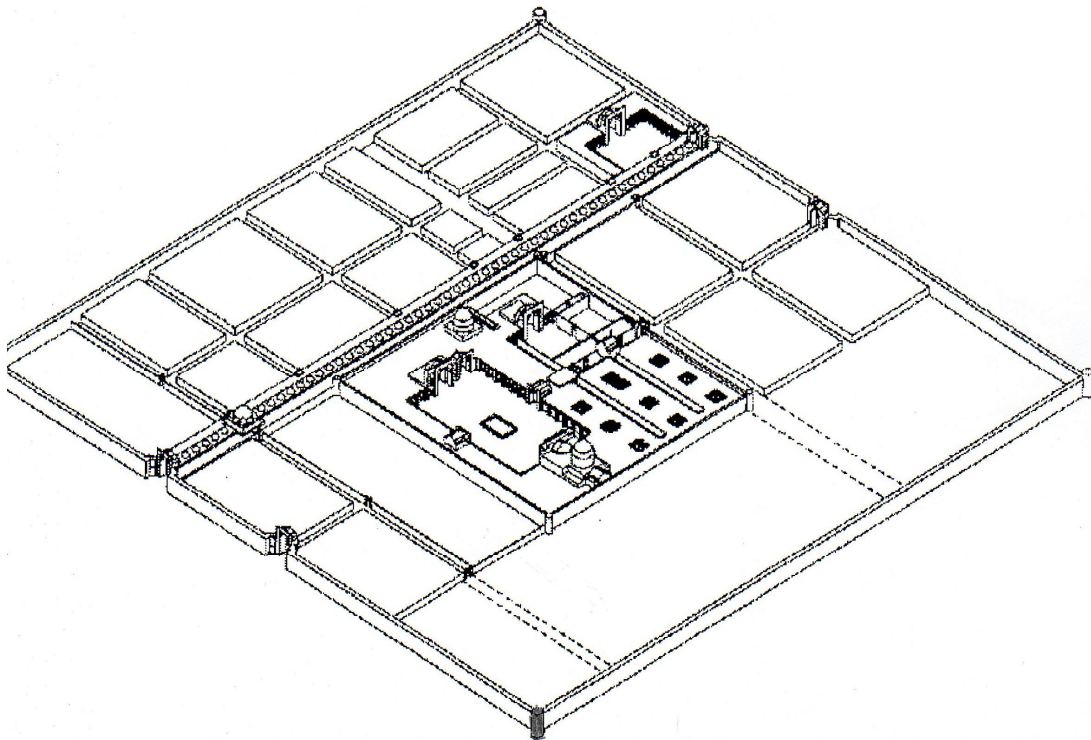
داشتند و به علاوه در روزهای دوشنبه و پنجشنبه هر هفته، علاوه بر کارکنان و مسافران ربع رشیدی، عموم مراجعان خارج در ربع رشیدی و بیماران شهر تبریز را هم ویزیت و مداوا می کردند.

۵- دارالمساکین جهت پذیرایی روزانه از صدنفرفقییر و مسکین با یک وعده غذای رایگان .

۳-۱-۲- شهرستان رشیدی :

مجتمع بزرگ مسکونی بود که از محله های مختلف ، خیابانها و کوچه ها و مکانهای رفاهی و اقتصادی از جمله بیست و چهار کاروانسرا و هزار و پانصد کارگاه صنعتگری سی هزار خانه، تعداد زیادی باغ، آسیاب، حمام، کارخانه شعربافی، رنگرزی، کاغذسازی و دارالضرب، در ارتباط با مراکز، آموزش ربع رشیدی و جهت رفاه ساکنین شهرستان رشیدی تشکیل یافته بود.

شهرستان رشیدی باغشهری بود که باغهای زیادی در درون و پیرامون آن وجود داشت. باغ ها به این دلیل که تامین کننده قسمتی از مواد غذایی و سوخت و آب شهر بودند، در حیات شهر از اهمیت زیادی برخوردار بودند. به طور کلی در شهر های کهن ایران، وجود باغ ها ضرورت حیاتی داشته است، به همین جهت رشید الدین فضل الله در وقفنامه و در مکاتیب خود به آبادانی و حفظ باغها تاکید فراوان ورزیده است.



۳. طرح سه بعدی فرضی شهرستان رشیدی، فرضیه احمد سعید نیا



۳-۱-۳- ربض رشیدی :

بخش اعیان نشین و محل احداث کاخها بوده است و در آن خانواده رشیدالدین با غلامان خاص و نیز مسئولان امنیتی ساکن بوده اند و نیز مهندسان و معماران مخصوص، تاسیسات ربیع رشیدی را تحت نظارت داشتند.



۵. کلون در کنونی ربیع رشیدی

شمای کنونی:

اکنون از طاق ها و دیوار های مقرنسی که تا صد سال پیش هم وجود داشته جز تل خاک و دیوار های شکسته چیزی باقی نمانده است. تنها در آخر این ویرانه ریشه و پایه بنایی برج مانند از گچ و سنگ باقیست و آن همه غلغله و صدا و شکوه و جلال را خاموشی و وحشت جایگزین است.



rabe rashidi 24.11.2006

۶. عدم حفاظت محیطی بنا



rabe rashidi 24.11.2006



rabe rashidi 24.11.2006

۷. پایه های برج ورودی ریح رشیدی

نقوش و اقلیم های مغولی بنا:



rabe rashidi 24.11.2006
detail



rabe rashidi, detail 24.11.2006



۶- نتایج:

با توجه به تخریب های متعدد ساختار های تاریخی و عدم مراقبت های لازمه برای آثار تاریخی امروزه شاهدیم که ارگ ها و بنا های ارزشمند گذشته دائما در معرض تخریب و تعدیل قرار گرفته و اکنون از آنها جز طرح های خرابی چیزی باقی نمانده . لذا نتایج حاصل از بررسی خرابی های وارده به ربع رشیدی و راهکار بهسازی این بنای ارزشمند نشانگر آن است که باید ساختار سازی مناسب باشد و ایجاد حفاظ های محیطی هر چه سریع تر اقدام به بازسازی آن و همچنین جلوگیری از تعدیل به حریم آن نمود.

۷- پیشنهادات:

با توجه به بررسی های صورت گرفته و توضیحات داده شده پر واضح است که تشکیل ساختار های جدید جهت بهسازی و نگهداری بنا های ارزشمند تاریخی امری است اجتناب ناپذیر که بیش از پیش باید به آن توجه نمود.

۸- منابع:

- ۱- ربع رشیدی تبریز، محجوبه خامنه، کارشناس ارشد معماری دانشگاه تبریز، ۱۳۸۷
- ۲- حاجیلو، غلامعلی، ربع رشیدی تبریز، انتشارات ترمه، 1379 تبریز
- ۳- سیاحت نامه ی شاردن، چاپ ۱۳۸۷
- ۴- وقف نامه ی رشید الدین فضل الله، نسخه خطی، برداشت ۱۳۸۶
- ۵- ویلبر، معماری اسلامی ایران در دوره ی ایلخانی، ۱۳۸۷

بکار بردن سیستم گهواره ای در بهسازی سقف و فونداسیون

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه i.elvasian@gmail.com

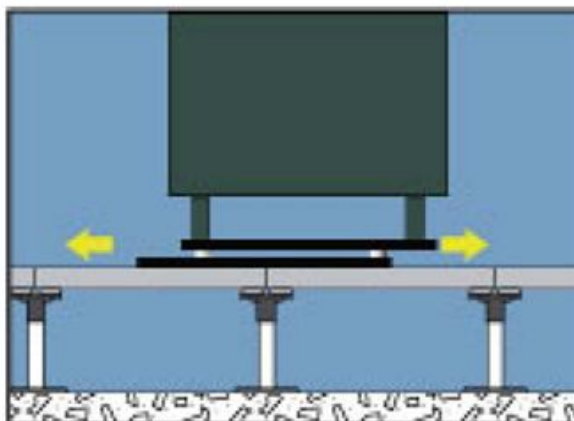
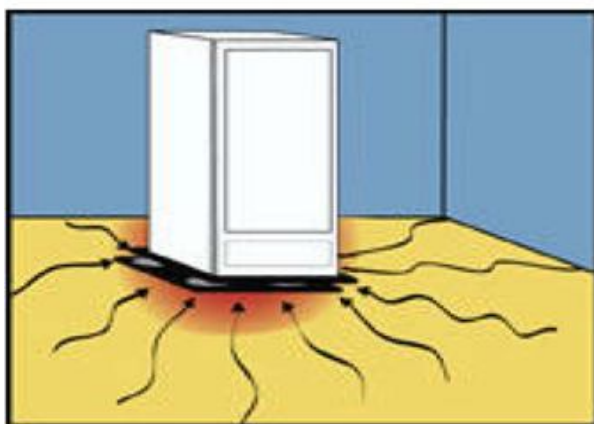
خلاصه

اجرای فونداسیون گهواره ای بر روی فونداسیون بتنی این قابلیت را دارد که نیروی زلزله و باد را مستهلک کند و از واژگونی و خرابی ساختمان جلوگیری نماید. هنگامی که زمین لرزه رخ می دهد. ساختمان همانند یک گهواره عمل می کند و پایداری خود را حفظ کرده و واژگون نمی شود کلیسای وانک یکی از ابنیه افتخارآمیز جلفا است و محل خلافت آرامنه ایران و هندوستان می باشد و در سال ۱۶۰۶ همزمان با استقرار آرامنه در ایران می باشد. در این تحقیق به کمک سقف گهواره ای این کلیسا بهسازی گردید و با روش فونداسیون گهواره ای قارچی و سقف گهواره ای و سیستم آونگی می توان سازه ها را مقاوم سازی نمود که به آن می پردازیم.

کلمات کلیدی: سیستم گهواره ای، بهسازی، سقف، فونداسیون، پدافند پایا

سیستم های مجزا سازی یا جداگر لرزه ای (پی لغزشی)

جداگرهای لرزه ای جز روشهای مدرن طراحی لرزه ای یک کنترل غیرفعال می باشد جداگرهای لرزه ای قطعاتی هستند که در پایه ی ساختمانها یا در زیر پی ها برای کاهش انرژی جنبشی زلزله یا پراکندن نیروهای وارد بر سازه می باشند. تاثیر جداگرهای لرزه ای می تواند با شیوه ی جایگزینی قطعاتی مابین ساختمان و تکیه گاههای پی صورت گیرد. اجراء قطعات یا روش های جداگر لرزه ای نیازی به نصب در تمامی سازه ها ندارد و بیشتر در مورد سازه های حساس و مهم می باشد. یکی از این نوع روشها قرار دادن قطعاتی با رفتار و سختی افقی کم اما دارای سختی قائم زیاد میباشد که در زیر فونداسیون قرار میگیرد. با استفاده از این روش می توانیم مدت زمان پریود اصلی سازه را افزایش دهیم و غلبه بر فرکانس طبیعی زلزله آن را به محدوده ای با شتاب پایه ای کمتر که هدف اصلی طرح لرزه ای ما بوده است می رسانیم. انعطاف پذیر ساختن سازه باعث خواهد شد که زمان تناوب ارتعاشی سازه افزایش یافته و از محدوده انرژی حداکثر زلزله دور شود. انعطاف پذیری به این معنی می باشد که اعضای سازه قبل از فروریختن تفکیک شکلهای خمیری قبل ملاحظه ای را تحمل کنند. یکی از روشهایی که برای طرح مقاوم سازی سازه های میان مرتبه طی فزون گذشته پیرامون آن بحث های بسیاری شده ، ایجاد انعطاف پذیری (چفت دور کردن سازه از محدوده انرژی حداکثر زلزله) در پایه سازه می باشد که به جدا ساز پایه معروف می باشد.



دفع نیروهای ناشی از زلزله توسط سیستم های مجزا سازی (پی لغزشی)

نیازهای اساسی سیستم های جداگر لرزه ای

نیازهای اصلی سیستم های جداگر لرزه ای را می توان به سه جزء تقسیم نمود.

- ۱- انعطاف پذیری افقی کافی برای افزایش پیروید سازه (به جزء در محل هایی با خاکهای خیلی سست)
 - ۲- ظرفیت کافی برای مستهلک کردن انرژی و محدود نمودن تغییر مکانها در میان سطوح جداگرهای لرزه ای
 - ۳- سختی کافی برای ساختن سازه جداسازی که تفاوتی با سازه ی ثابت تحت بارهای سرویس نداشته باشد
 - ۴- کاهش تغییر مکان کفها در جهت افت خرابیهای سازه ای و غیر سازه ای
 - ۵- کاهش فرکانس ارتعاش سازه و یا افزایش پیروید ارتعاش
 - ۶- کاهش نیروهای طراحی سازه
- سیستم جداگر یایزولاتور برای برآورده کردن اهداف فوق بایستی عناصر اصلی زیر را داشته باشد
- الف- یک پایه و تکیه گاه انعطاف پذیر که به اندازه کافی پیروید سازه را افزایش دهد
 - ب- یک عنصر مستهلک کننده و یا جاذب انرژی به منظور کاهش تغییر مکان نسبی بین سازه و زمین به منظور رساندن آن به حد معقول

ج- یک سیستم ایجاد کننده صلبیت به جهت فراهم کردن صلبیت کافی در برابر زلزله های کوچک و باد

خاصیت مکانیکی لرزه گیرها (جداگرهای لرزه ای)

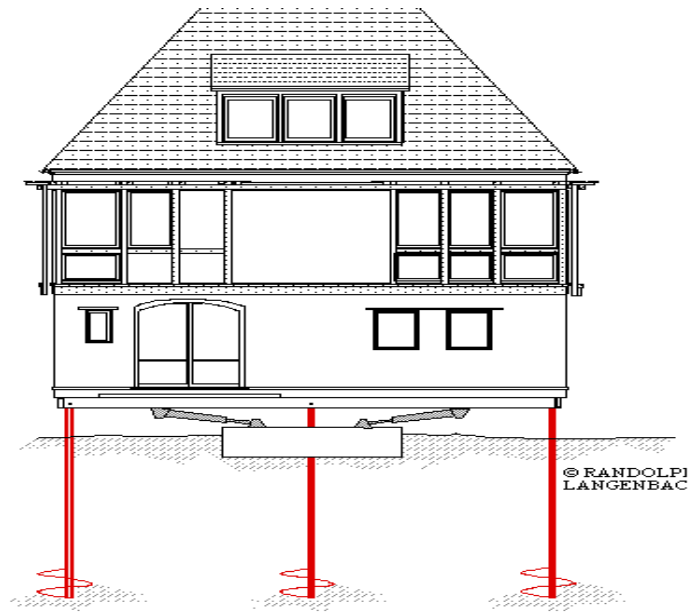
- ۱- پایداری در مقابل جابجایی (انتقال)
- ۲- بالا رفتن مقلومت با اضافه شدن فاصله جابجایی
- ۳- کافی بودن نیروی ارتجاعی به سوری که روبنا یا روسازه به جای اولیه خود برگردد
- ۴- قابلیت اینکه بارهای تکراری را جذب کند
- ۵- خط مشخصه پایداری و خاصیت آرام کننده که قبل اندازه گیری باشد.

معیارهای طراحی برای روش های جداسازی

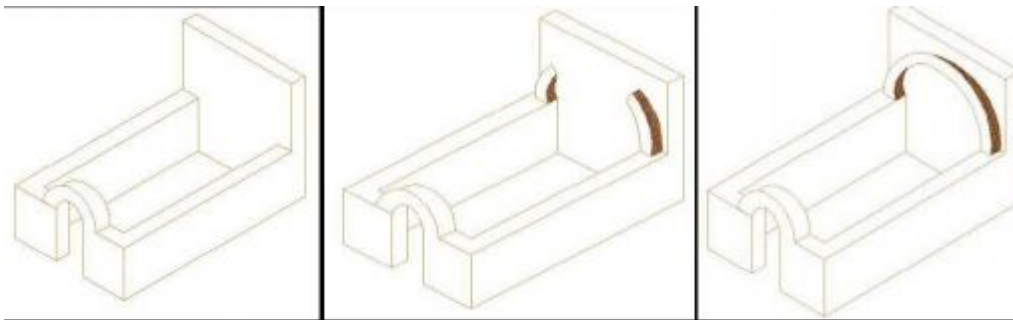
طرح کامل برای جداگرهای لرزه ای زمانی مورد اطمینان است که این قطعات بتوانند حداکثر نیروهای ثقلی وارد بر سازه در طول عمر خود را تحمل کنند و جداگرها باید دو خواسته را تأمین کنند اول جابجایی پیروید سازه و دوم مستهلک کردن انرژی زلزله در هنگام وقوع آن برای نائل شدن به این هدف باید مراحل زیر را مورد توجه قرار داد

کمترین اندازه پلان مورد نیاز را تعیین کنید و موقعیت جداگرها را در زیر بیشترین بار ثقلی قرار دهید
 ابعاد جداگرها را طوری محاسبه کنید که نتایج آن مورد انتظار برای کاهش نیروی زلزله باشد
 ضریب میرایی را طوری تعیین کنید که جابه جایی های ایجاد شده در محدوده طراحی زیر اثر باد قابل کنترل باشد
 شکل جداگرها را تحت بارهای ثقلی، باد، حرارت، زلزله و دیگر حالات بار موجود بررسی کنید.





استفاده از میراگر در فونداسیون



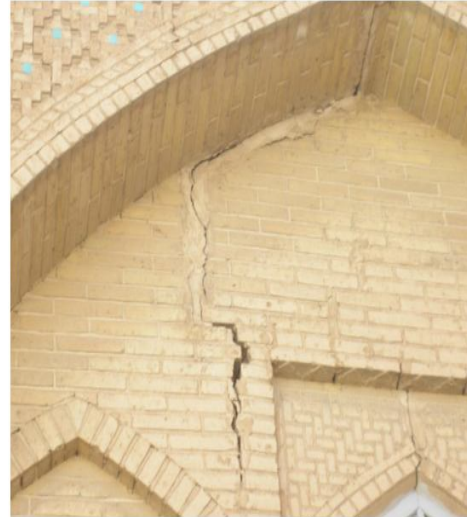
مراحل اجرای سقف گهوارهای بر روی دیوارهای سازه



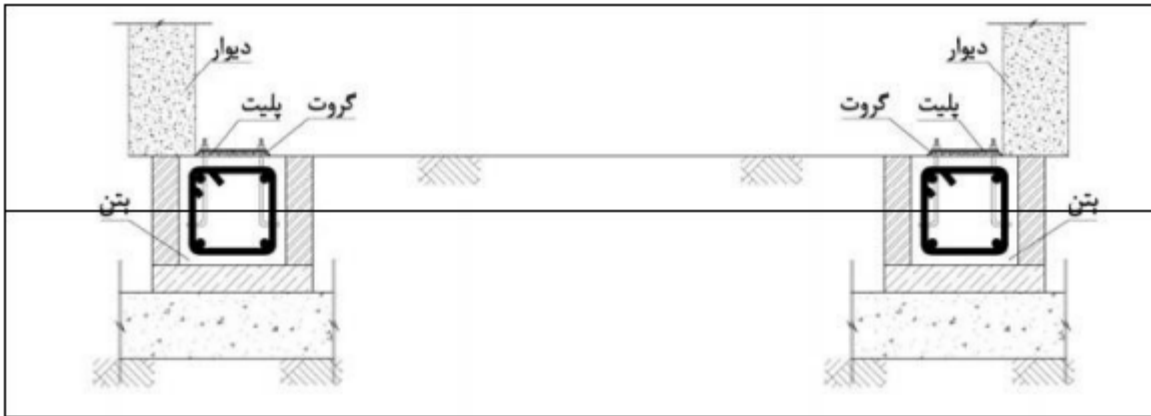
برش‌های طولی و عرضی کیفیت اجرای پوشش طاق



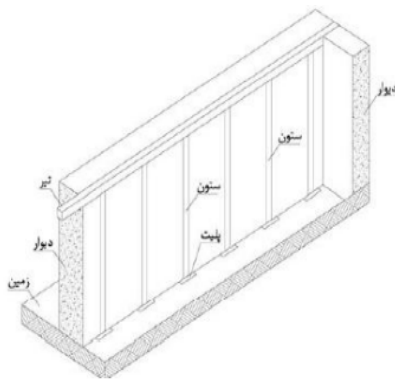
محل اتصال دیوار به سقف گهواره ای و بروز خرابی در اثر تغییر مکان سقف



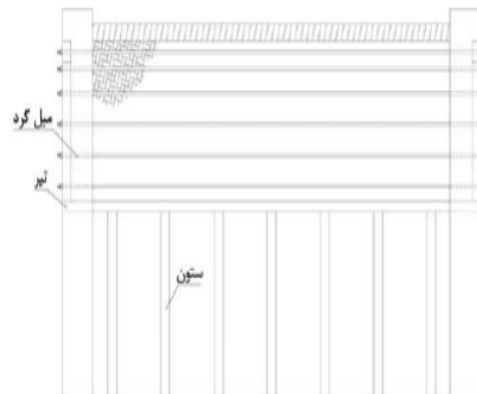
باز شدگی سقف گهواره ای و ایجاد و ادامه ترک در دیواره خارجی



مقطع فونداسیون سازه‌ها برای پی معلوم



نحوه کارگذاری تیر بر سر ستونها (تیر به ستونها جوش داده می شود)



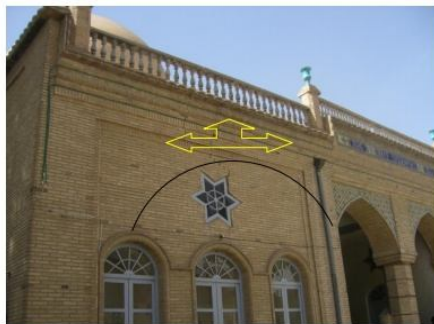
قرار گرفتن میلگردهای افقی پیچ شده به ناودانی در مقطع جانبی ساختمان



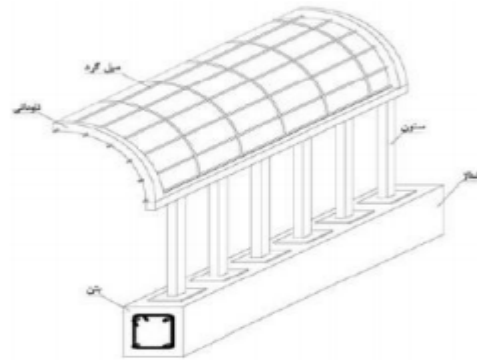
آسیب محل اتصال دیواره محراب به دیوار و سقف گهواره ای



محل اتصال ایوان بیرونی به سقف گهواره ای داخلی دچار آسیب گردیده است

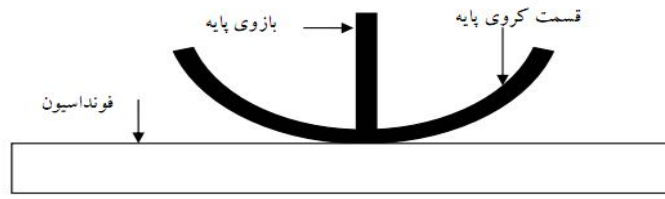


تاثیر تغییر مکان عمودی و باز شدگی سقف گهواره ای بر روی نمای بیرونی نمازخانه اصلی

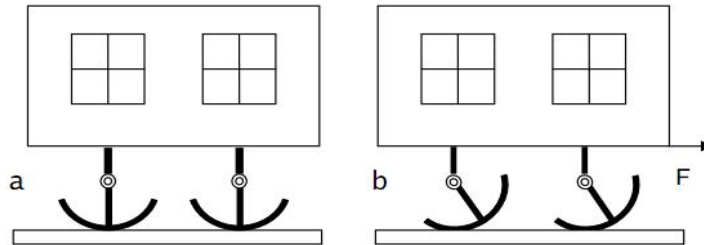


نمای کلی نیمی از سازه طراحی شده برای مقاوم سازی سقفهای گهواره ای

افزایش شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی سازه بطور نامحدود می تواند سازه را در مقابل زلزله های بی اعتمادی ناشی از پراکندگی مشخصات زلزله ایمن سازد. تکنولوژی ادوات جاذب انرژی و استفاده از آنها برای جذب انرژی اعمال شده توسط حرکت زمین به سازه می تواند تا حد زیادی از حساسیت سازه در مقابل حرکات زمین بکاهد. تکنولوژی بکارگیری میراگرها یکی از قدرتمندترین روشهایی است که با تامین ظرفیت جذب انرژی نامحدود می تواند در مقاوم سازی سازه در مقابل زلزله کاربرد داشته باشد. طرح میراگر ارائه شده در این مقاله این نوع از سیستم در برابر ارتعاشات زلزله از خودش مقاومت نشان داده است و با طرح سیستم آونگی از واژگون شدن ساختمان جلوگیری می شود. ساختمان آونگی بر روی زمین قرار ندارد و با فاصله ای از زمین واقع شده است هنگام وقوع زلزله این ساختمان همانند آونگ عمل می کند.

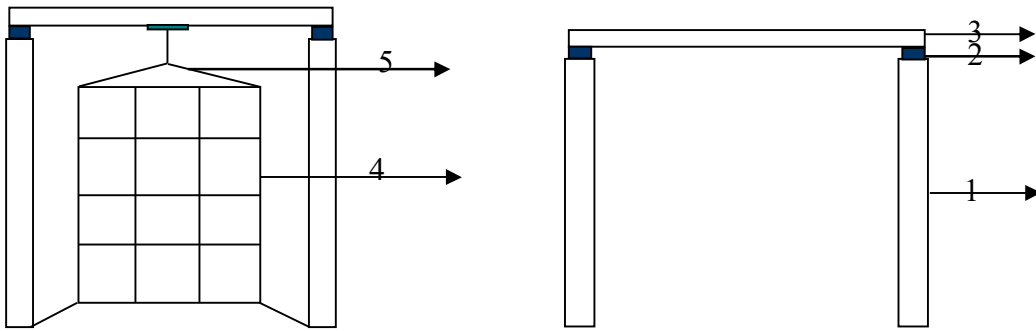


یک مقطع از پایه های قارچی شکل

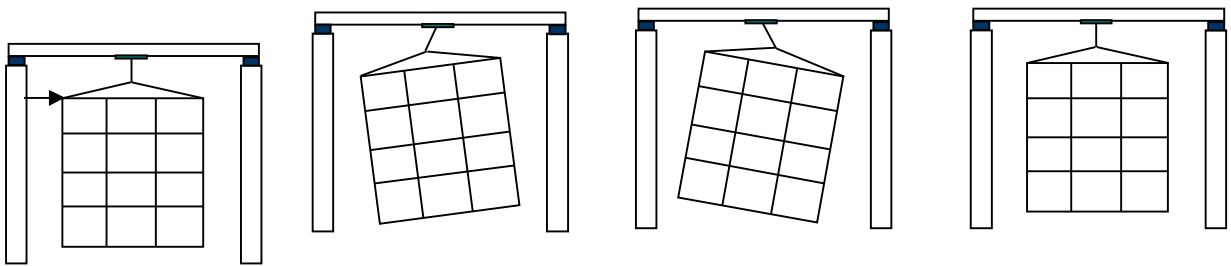


نحوه قرار گرفتن پایه ها در زیر ساختمان، *a*: ساختمان در حال تعادل، *b*: ساختمان پس از حرکت زمین

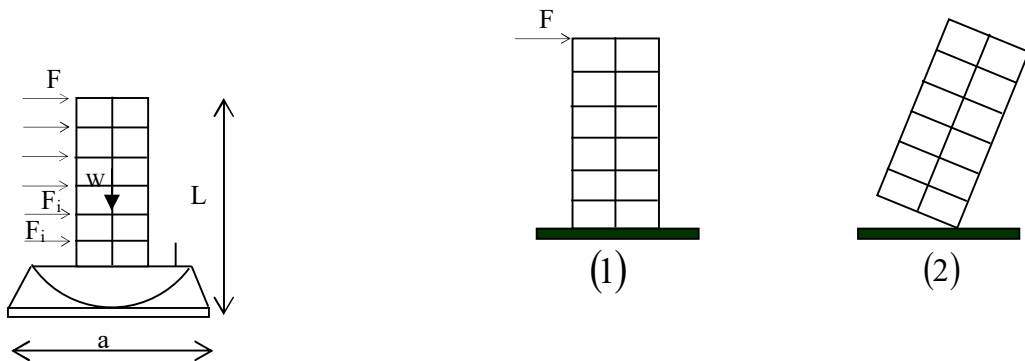
استفاده از فونداسیون قارچی (شبيه به گهواره ای)

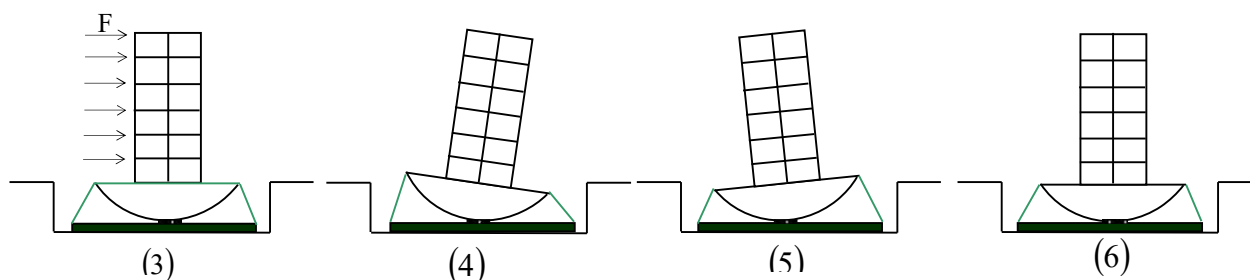


سیستم آونگی (شبيه به گهواره ای)



استفاده از فونداسیون گهواره ای





مراجع

1-QIANG ZHOU&XILIN LU&QINGMIN WANG&DINGGUO FENG AND QIANFENG YAO, "DYNAMIC ANALYSIS ON STRUCTURES BASE-ISOLATED BY A BALL SYSTEM , "WITH RESTORING PROPERTY EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, VOL. 27, .1998, 773-791

2-TSUNG-WU LIN&CHAO-CHI HONE, "BASE ISOLATION BY FREE ROLLING RODS UNDER BASEMENT", EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, VOL. 22, 1993, 261-273 .

3-TSUNG-WU LIN&CHING-CHARN CHERN&CHAO-CHI HONE, " EXPERIMENTAL STUDY OF BASE ISOLATION BY FREE ROLLING RODS", EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL, VOL. 24 , .۱۶۵۰-۱۶۴۵ , ۱۹۹۵

4-FARZAD NAEIM&JAMES M. KELLY, " DESIGN OF SEISMIC ISOLATED STRUCTURES', JOHN WILEY, NEW YORK, 1999

5-I.Elyasian, Base Isolation in Seismic Rehabilitation, 3th International Conference on Geo Information Technology for Natural Disaster Management and Reahbilitation 19-20 Octobor 2011, Chiang Mai Thailand

6-I.Elyasian, Sand Base Isolation in Seismic Rehabilitation, Proceedings of the 3rd International Conference on Seismic Retrofitting, Tabriz, Iran, 20-22 October 2010

7-Whittaker, Andrew and Constantinou, M.C. (2000) Fluid viscous dampers for building construction. Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 133-142.

8-Kelly, L.M., Skinner, R.I., Heine, A.J., "Mechanisms of Energy Absorption in Special Devices for Use in Raethquake – Resistant Structures" , Bull. N.Z. Nat. Soc. For Erthquake Eng., 5(3), 1972.

9-Chandra, R., Masand, M., Naudi, S.K., Tripathi, C.P., Pall, R., Pall, A., "Friction – Damper for Seismic Control of La Gardenia towers South City, Gurgaon, India", 12 WCEE, 2000.

10-Aiken, I.D., Kelly, J.M., Pall, A.S., "Seismic Response of an Nine – Story Steel Frame with Friction Damped Cross – bracing", Report No. UCB/EERC – 88/17, EERC, Univ. of California Berkeley, 1988.

11-Farzad Naeim., "Design Ground Motion Criteria for Seismic – Isolated California Hospitals", A Report to the County of Los Angeles, 1993.

۱۳- ایمان الیاسیان، راهکارهای مقاوم سازی و بهسازی سازه ها، سایت WWW.Iransaze.com

۱۴- مریم شاکر سرای، مسلم صباغی مدیسه، حسین میسمی، ساختمانی با سیستم آونگی جهت میراگر کردن ارتعاشات زلزله و فونداسیون گهواره ای جهت میراگر کردن ارتعاشات زلزله و پنجمین کنفرانس ملی تخصصی مصالح، تجهیزات) مهر ۱۳۸۸

۱۵- حسین میسمی، سعیده سعیدی، آثار تخریبی ایوان دعا بر نمازخانه کلیسای تاریخی وانک جلفا

۱۶- ایمان الیاسیان، استهلاک انرژی از طریق جداگر لرزه ای در مقاوم سازی سازه، سایت

WWW.Iransaze.com

۱۷- علی بیرامی شهابی، مجید برقیان، استفاده از پایه های قارچی شکل در زیر ساختمان به عنوان جداساز ارتعاشی جهت کاهش اثر زلزله بر روی ساختمان، اولین کنگره مهندسی عمران، ۲۲-۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۳، دانشگاه صنعتی شریف

مقاوم سازی بافتهای فرسوده و تاریخی

چکیده:

بافتهای تاریخی و فرسوده در شهرهای نظیر تهران و اصفهان و حتی تاحدودی شهرهای مشهد و تبریز در بافتهای جدید شهری گم شده اند و بیشترین اهمیت شهری نیز به مناطق تازه ساز داده می شود. میراث فرهنگی نیز به خاطر گستردگی این بافتها و پراکندگی آن نمی تواند به طور بایسته به آنها رسیدگی نماید. در این مقاله سعی شده به تداخل بافتهای تاریخی و فرسوده و سیاستها و راهکارهای مورد نیاز جهت بهسازی آنها ارائه گردد. با توجه به اهمیت بافتهای تاریخی و خطر زائی بافتهای فرسوده در مواقع بروز بحران بجاست که اتخاذ سیاستهای مدون امر بهسازی این بافتها به سرعت صورت پذیرد.

کلمات کلیدی: بافتهای تاریخی، بهسازی، مقاوم سازی، بافتهای فرسوده

مقدمه:

بافتهای تاریخی و فرسوده در شهرهای نظیر تهران و اصفهان و حتی تاحدودی شهرهای مشهد و تبریز در بافتهای جدید شهری گم شده اند و بیشترین اهمیت شهری نیز به مناطق تازه ساز داده می شود. میراث فرهنگی نیز به خاطر گستردگی این بافتها و پراکندگی آن نمی تواند به طور بایسته به آنها رسیدگی نماید. در این مقاله سعی شده به تداخل بافتهای تاریخی و فرسوده و سیاستها و راهکارهای مورد نیاز جهت بهسازی آنها ارائه گردد. با توجه به اهمیت بافتهای تاریخی و خطر زائی بافتهای فرسوده در مواقع بروز بحران بجاست که اتخاذ سیاستهای مدون امر بهسازی این بافتها به سرعت صورت پذیرد.

مقاوم سازی بافتهای فرسوده و تاریخی:

تداخل بافتهای تاریخی و فرسوده و نحوه دخالت در آنها مدتهاست که مورد بحث مدیران سازمان میراث فرهنگی و شرکتهای مختلف عمران و بهسازی است. در این میان بی توجهی به ارزشهای کالبدی، تاریخی و هویتی برخی بافتها از سوی برخی شرکتهای مداخله کننده در امر نوسازی و بهسازی همچنین تعلل سازمان میراث فرهنگی و گردشگری در تعیین محدوده های تاریخی و تدوین ضوابط و سیاستهای جدید در نحوه مداخله در آنها، بیش از پیش این عناصر ارزشمند را در انزوای فرو برده است. تعلل سازمان میراث فرهنگی در این امر موجب بروز اتفاقاتی نظیر آنچه در اصفهان و برای خانه صفوی بروز کرد می شود. همچنین برخورد اجباری از سوی این سازمان با مردم برای حفظ خانه ها و بناهای تاریخی خود به شکل موزه ای موجب برخورد قهری آنان

می‌شود. در حال حاضر برای بافت فرسوده ۳۶ شهر طرح نوسازی و بهسازی تهیه شده که پس از ابلاغ به شهرداری‌ها این مناطق، اجرایی و در ادامه این پروژه‌ها پس از انجام به عنوان الگوی دیگر پروژه‌های تجمیع و نوسازی در نظر گرفته می‌شوند. پیش از این موضع وزارت مسکن درباره بافت‌های قدیمی و فرسوده منحصر به مرکز شهرها بود که با تغییر این دیدگاه، بحث بافت‌های فرسوده در ابعاد گسترده‌تری مورد بحث قرار می‌گیرد.

تمایز بافت‌های تاریخی و فرسوده:

از بافت‌های قدیمی الزاما مفهوم ارزشمند و تاریخی استنباط نمی‌شود. بخش‌هایی از بافت‌های قدیمی ارزشمند هستند و گاهی در حد تک‌بنا معرفی می‌شوند. روش مداخله در ساختار تاریخی حفاظتی که در آن موفولوژی و ساختار بافت مورد توجه است و نوسازی در آن باید با رعایت الگوهای ویژه‌ای انجام شود در غیر این صورت هویت‌های تاریخی و ارزشمند شهرها از بین می‌رود. به دنبال تصمیماتی که در برنامه‌های پنج ساله سوم و چهارم گرفته شد، دولت موظف به نوسازی و احیا بافت‌های فرسوده شهری طی اجرای این دو برنامه شد. پیش از این تصمیم‌گیری از حدود، مساحت و ابعاد این موضوع وجود نداشت. با تخمین‌های چندان دقیق مساحت بافت فرسوده ۱۴ هزار هکتار برآورد شد، البته در این زمان بیشتر توجهات به بافت مرکزی معطوف بود. اما به دنبال مطالعات انجام شده از سوی سازمان عمران و بهسازی شهری براساس قانون بودجه سال ۸۴ (بند ب تبصره ۶)، تاکنون ۳۶ هزار هکتار بافت فرسوده فقط در ۵۰ شهر آن هم بدون احتساب معابر و فضاهای باز ثبت شده است. این موضوع با تصوراتی که از قبل داشتیم، متفاوت است.

شاخصه‌های اولویت بهسازی:

دو پارامتر در تعیین این اولویت‌ها در نظر گرفته می‌شود. وسعت و ابعاد بافت فرسوده به نسبت کل بافت شهری و جمعیت بافت فرسوده به نسبت جمعیت کل بافت همچنین وضعیت لرزه‌خیزی منطقه فاکتورهای اصلی در انتخاب این شهرها هستند. لرزه‌خیزی مناطق مختلف برپایه مطالعات پهنه‌بندی زلزله که توسط سازمان زمین‌شناسی انجام شده به مناطق بسیار پرخطر، پرخطر، متوسط و کم‌خطر تقسیم‌بندی می‌شود. بر همین پایه برای تعدادی از شهرهای واجد شرایط طرح تفصیلی ویژه تهیه و تصویب شد. طرح‌های ویژه تهیه شده در ابعاد مختلفی و با توجه به ضوابط مقررات لازم برای تضمین نوسازی و بهسازی بافت‌های یاد شده اجرایی می‌شوند.

ساکنین بافت‌های تاریخی:

بسیاری از افراد ساکن در این بافت‌ها تمایلی به مشارکت در نوسازی و بهسازی محل زندگی خود ندارند. ایجاد انگیزه در ساکنان این مناطق برای شرکت در این امر، هدف اصلی ماست به همین منظور تسهیلات ویژه‌ای در این خصوص در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال استفاده از اعتبارات فاینانس از طریق اوراق مشارکت یا استفاده از بخشودگی‌ها و تسهیلات مصوب در چارچوب قانون. به همین منظور سرمایه‌گذاران بخش خصوصی می‌توانند با ساخت‌وساز در این مناطق از بخشودگی ۵۰ درصدی عوارض توسط شهرداری‌ها و شوراهای مناطق یاد شده بهره‌مند شوند و در حقیقت عاملی برای ایجاد انگیزه برای حضور مردم و سرمایه‌گذاری بیشتر در بافت‌های فرسوده باشند. بخش دیگر این تسهیلات حفظ امتیاز بر خورداری از زیرساخت‌های در اختیار مردم است. یعنی تخریب و نوسازی بنا امتیاز داشتن زیرساخت‌ها را از ساکنان آن نمی‌گیرد. بلکه هر منطقه‌ای که محدوده آن تعیین شده و به تصویب کمیسیون ماده پنج رسیده باشد، مشمول این تسهیلات می‌شود. برای بسیاری از این محدوده‌های تعیین شده توسط کمیسیون ماده پنج به منظور تجمیع و نوسازی وام‌هایی با بخشودگی بهره بانکی به شکل یارانه و در قالب ردیف مشخصی در نظر گرفته می‌شود. البته نباید از نظر دور داشت که ابعاد این قضیه بسیار گسترده و پیچیده است و باید با توجه به آمار جدید در مصوبات جدید همچنین اعتبارات و یارانه‌های در نظر گرفته شده، تجدیدنظر

شود. تاکنون علاوه بر ۳۶ هزار هکتار بافت فرسوده موجود در مناطق رسمی چیزی در حدود ۶۰ هزار هکتار بافت فرسوده نیز در مناطق حاشیه‌نشین وجود دارد.

گسترده‌گی بافتهای فرسوده:

طبق آمار به دست آمده می‌توان گفت حدود ۱۰۰ هزار هکتار بافت فرسوده طی مطالعات اخیر شناسایی و ثبت شده‌اند و اگر شهرهای کوچک باقی‌مانده را نیز در نظر بگیریم چیزی نزدیک ۱۵۰ هزار هکتار بافت فرسوده در کشور وجود دارد. اگر تراکم ناخالص جمعیت در این نوع بافت‌ها را براساس مطالعات اخیر، ۸۰ نفر در هر هکتار در نظر بگیریم، ۱۲ میلیون نفر در چنین بافت‌هایی ساکن هستند. حال با توجه به اینکه آمار تهدید زلزله و آسیب‌های قهری در کشور ما بالاست، می‌توان تصور کرد در صورت بروز چنین پدیده‌هایی چه فجایع جبران‌ناپذیری بروز می‌کند.

تشابه بافتهای تاریخی و فرسوده:

تداخل بافت‌های تاریخی و فرسوده موضوع بسیار مهمی است. در شناسایی‌های اولیه که انجام شده، سعی کرده‌ایم تا جایی که امکان دارد محدوده این بافت‌ها را از یکدیگر تفکیک کنیم چرا که شیوه‌های مداخل در هر کدام از این بافت‌ها متفاوت است. بافت فرسوده‌ای که فاقد ارزش حفاظتی است و هیچ گونه هویتی از نظر شهرسازی و معماری ندارند با تجمیع پلاک‌ها، نوسازی و بهسازی می‌شوند. بالطبع پیشنهاد ما مبنی بر بلندمرتبه‌سازی است تا فضاهای باز شهری، خدمات و تاسیسات در آنها ایجاد شود. اما دخالت در بافت‌های تاریخی به گونه‌ای دیگر است و در واقع ضوابط و دانش حفاظتی و مرمتی در آنها به اجرا در می‌آید.

نقش میراث فرهنگی:

تعلل سازمان میراث فرهنگی در مشخص کردن محدوده‌های تاریخی تهدیدی برای این بافت‌های واجد ارزش محسوب می‌شود. نگاه موزه‌ای به این بناها و بافت‌ها نتیجه‌ای جز فرسودگی بیشتر در پی ندارد. سازمان میراث فرهنگی در امر نوسازی و بهسازی بافت‌های تاریخی باید منافع مردم را مورد توجه قرار داده و راه‌حل‌های اجرایی و تحقق‌پذیر پیشنهاد کند که هم این سازمان به اهداف حفاظتی خود برسد و هم مردم بتوانند در خانه‌های نوسازی شده و خانه‌هایی که پاسخگوی زندگی امروز است زندگی کنند. این شرکت تصدی‌گری نیست و در واقع وزارت مسکن نقش هدایتی، نظارتی، تدوین ضوابط و مقررات و ایجاد بسترهای قانونی لازم را برعهده دارد. اگر به شرکت عمران در مواردی خاص مداخلاتی دراد صرفاً قصد الگوسازی دارد. وسعت بافت‌ها فرسوده و تاریخی ایران قابل توجه است، اما سابقه پرداختن به این موضوع چندان طولانی نیست و حتی از کشورها در حال توسعه نیز عقب مانده‌ایم.

تهران و پیچیدگی موضوع:

در تهران نزدیک به پنج هزار هکتار بافت فرسوده وجود دارد و به دلیل اهمیت این شهر تهیه طرح ویژه تفصیلی برای بافت فرسوده آن ضروری است. هر کدام از مناطق شهرداری‌های به اندازه یک شهر وسعت دارند. شرکت عمران و بهسازی با کمک این شهرداری‌ها و استفاده از نظر آنان می‌تواند طرح ویژه تفصیلی تعریف کند. این طرح پس از تهیه توسط شهرداری‌ها در اختیار دستگاه اجرایی قرار می‌گیرد و با توجه به وسعتی که این بافت‌ها دارند نوسازی آن به تنهایی با دخالت دولت امکان‌پذیر نیست و اقدام دولت بدون فرهنگ‌سازی و دعوت مردم برای مشارکت منجر به جا به جایی جمعیت و افزایش حاشیه‌نشینی و در بسیاری از موارد موجب از هم گسیختگی تعاملات اجتماعی شود.

نتایج:

از آن چه بیان گردید پر واضح است که رسیدگی به بافتهای فرسوده و تاریخی متولیان خاصی نیاز دارد و نباید در کنار سایر خدمات شهری بر دوش شهرداری و یا بر دوش سازمان میراث فرهنگی و گردشگری و صنایع دستی به تنهائی قرار گیرد.

پیشهادات:

- با توجه به اهمیت موضوع پیشنهادهای زیر مطرح می گردد:
- ایجاد ستاد بازسازی و بهسازی بافتهای تاریخی و فرسوده.
- تدوین نگرشها و تعاریف تمایز بافتهای فرسوده ، تاریخی، و جدید از یکدیگر.
- اختصاص اعتبارات مورد نیاز جهت بازسازی و بهسازی این بافتها.

منابع:

- ICCROM, حفاظت بناهای تاریخی ، ام ف یلدن، برنارد
- دوازده درس مرمت وزارت مسکن و شهرسازی سازمان ملی زمین و مسکن، ۱۳۸۲
- غلامحسین معماریان -معماری مسکونی ایرانی گون هشناسی بروننگرا، ۱۳۸۴
- بیانیه و توصیه های کارگاه بین المللی بم اول اردیبهشت 1383 ایران بم
- “اصول مهندسی پی پی سازی پیشرفته”؛ دکتر علیرضا رهایی.
- “دینامیک خاک”؛ دکتر سید مجدالدین میرحسینی
- “بررسی اثرات توپوگرافی بر پاسخ لرزه ای آبرفت”؛ پروژه کارشناسی ارشد خاک و پی، محمدرضا دهقانی، دانشگاه صنعتی شریف، دیماه ۱۳۷۵.

References

- Giorgio Croci-The conservation and structural restoration of Architectural Heritage
- Earthquake Engineering Research, 'Loma PRIETA Collection, University of California', Berkeley- Earthquake Engineering Research institute (2004), 'Northridge Earthquake of January 17,2003 reconnaissance report', Earthquake Spectra, Supplement C to Volume 11
- EQE International (1995). The January, 2003 Kobe earthquake; An EQE Summary Report, April
- Buchet, G., Soga, K., Gui, M. W., Bolton, M. D., and Hamelin, J. P. ♦1999♦. "COSMUS; New methods for compensation grouting." Proc., Association Francaise des Travaux en Souterrain (AFTES) International Conference UNDERGROUND WORKS—Ambitions and Realities, October 25–28, 131–137.
- Drammer, G. J. E., Travaes, P. D., and Drooff, E. R. ♦1994♦. "Settlement protection works for new St. Clair river rail tunnel." Can. Tunnelling, 291–302.
- Drooff, E. R., Travaes, P. D., and Forbes, J. ♦1995♦. "Soil fracture grouting to remediate settlement due to soft ground tunnelling." Proc., Rapid Excavation and Tunnelling Conf., Society for Mining Metallurgy and Exploration, San Francisco, 21
- Essler, R. D., Drooff, E. R., and Falk, E. ♦2000♦. "Compensation grouting, concept, theory, and practice." Geotechnical Special Publication No. 104, American Society of Civil Engineers, 1–15.
- Harris, D. I., Pooley, A. J., Menkiti, C. O., and Stephenson, J. A. ♦1996♦. "Construction of low level tunnels below Waterloo Station with compensation grouting for Jubilee line extension." Geotechnical aspects of underground construction in soft ground, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema,

- Rotterdam, The Netherlands, 361–366.
- Harris, D. I., Mair, R. J., Burland, J. B., and Standing, J. R. 1999. "Compensation grouting to control tilt of Big Ben Clock Tower." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 225–232.
- Ikeda, S., Saito, T., Huang, Y., and Mori, A. 1996. "Settlement of storehouses during the passage of two parallel shields through." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 367–372.
- Komiya, K., Soga, K., Akagi, H., Jafari, M. R., and Bolton, M. D. 2001. "Soil consolidation associated with grouting during shield tunnelling in soft clayey ground." *Geotechnique*, 5110, 835–847.
- La Fonta, J. 1998. "Puerto Rico real-time control of compensation grouting with the cyclops system." *Geotech. News*, 172, 27–32.
- Mair, R. J., and Hight, D. W. 1994. "Compensation grouting." *World Tunnelling*, November, 361–367.
- McKinley, J. D. 1994. "Grouted ground anchors and the soil mechanics aspects of cement grouting." PhD thesis, University of Cambridge, U.K.
- Osborne, N., Murry, K., Chegini, A., and Harris, D. I. ♦1997♦. "Construction of Waterloo Station upper level tunnels, Jubilee line extension project." *Proc., Tunnelling 97, Institution of Mining and Metallurgy, London*, 639–662.
- Pototschnik, M. J. ♦1992♦. "Settlement reduction of soil fracture grouting." *Proc., Conf., Soil Grouting, Soil improvement and Geosynthetics, ASCE*, 1, 398–409.
- Schweiger, H. F., and Falk, E. 1998♦. "Reduction of settlement by compensation grouting numerical studies and experience from Lisbon underground." *Proc., The World Tunnel Congress '98 on Tunnel and Metropolises, Sao Paulo, April, A. Negro and A. A. Ferreira, eds., Vol. 2*, 1047–1052.
- Shirlaw, J. N., Dazhi, W., Ganeshan, V., and Hoe, C. S. 1999. "A compensation grouting trial in Singapore marine clay." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 149–154.
- Soga, K., et al. 1999. "Development of compensation grouting modelling and control system." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 425–430.
- Sugiyama, T., et al. 1999. "Compensation grouting at the Docklands Light Lewisham Extension project." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 319–324.
- Earthquake Damaged Buildings: An Overview of heavy debris and Victim Extrication, FEMA 158/September 1988*

مقاوم سازی و بهسازی لوزه ای سازه های قدیمی

چکیده:

در ایران که از نظر آثار باستانی جزو رتبه های نخستین میان کشورهای جهان قرار دارد حفظ و نگهداری از میراث فرهنگی از اهمیت بالایی برخوردار است. زمین لرزه ویرانگر بم موجب بروز تلفات انسانی، ویرانی و خسارات عظیم به میراث فرهنگی گردید، شاید این حادثه مانند یک شوک عظیم بیش از پیش کارشناسان و دست اندرکاران را به فکر راهکارهایی جهت کاهش خسارات احتمالی در هنگام زلزله علی الخصوص در بناهای تاریخی فرورد و از آن تاریخ تاکنون در نقاط و سازمان های مختلف کارهایی صورت گرفته است. در این مقوله هدف اصلی پیشنهاد مسیری است در جهت تقلیل آسیبها است. در یک جمله می توان اینطور بیان نمود که با بازرسی قبلی و مقاوم سازی ساده نقاط ضعف می توان تا حد قابل ملاحظه های از آسیبها کاست. شناخت نقاط عملکرد بناهای تاریخی در هنگام وقوع زلزله بدون شناخت کامل بنا ممکن نیست.

واژگان کلیدی: بناهای تاریخی، بهسازی لرزه ای، مقاوم سازی، میراث فرهنگی

مقدمه:

بازشناسی بنا های تاریخی به منظور بازشناسی مقاومتی یعنی شناخت بناها و یا المان هایی که به تقویت نیاز دارند و این امکان ندارد مگر با تحلیل و بررسی حاصل از شناخت دقیق در نتیجه شناخت نقاط ضعف و این همان چیزی است که ما بدنبال آن هستیم بنابر آن چه گفته شد اهمیت شناخت بناهای تاریخی مطرح می گردد. زمین لرزه ها فقط ضعف پنهان ساختمان را آشکار می کنند که این نقاط ضعف مگر با شناخت پیشینه بنا تحلیل ها، گمانه زنی ها و غیره مشخص نمی شود. توجه به آن چه گفته شد و با توجه به این که بازشناسی و مقاوم سازی حاصل از شناخت دقیق نقاط ضعف و آسیب پذیر برای کلیه بناهای تاریخی با توجه به مسائل اقتصادی و امکاناتی و همچنین زمانبر بودن آن ها و دیگر محدودی آنها امکان پذیر نیست بحث ما به سه قسمت زیر تقسیم می گردد:

- اقدامات بازدارنده پیش از زلزله
- تقویت بناهای تاریخی
- اقدامات مرمتی بعد از زلزله
- اقدامات بازدارنده قبل از زلزله

ایمینی عمومی مهمترین موضوعی است که در یک مقوله زمین لرزه باید مورد توجه قرار گیرد و تا به وسیله آن بهائی را که در یک حادثه باید هزینه کرد کمینه کرد. تجربه نشان داده ریختن دیوارها و سقف ها و شکستن شیشه ها بدترین خطرات اند. بنابراین تقویت این عناصر در الوی ت باید قرار گیرند به عنوان مثال استفاده از شیشه های نشکن و دوجداره همچنین موضوعی که اقدامات ایمنی برای آن دارای اهمیت ویژه ای است مسئله آتش سوزی است که باید با استناد بر قوانین و استانداردهای ایمنی راهکارهایی را برای جلوگیری از آتش سوزی در هر بنا ایجاد کرد. در ساختمان های عمومی و موزه ها فهرست برداری و شماره گذاری تمام آثار فرهنگی همچنین مستند نگاری ها بسیار سودمند می باشد. همچنین ایجاد فضاها امن در منطقه و مجموعه های تاریخی می تواند بسیار سودمند باشد. اگر ساختمان بر سر ساکنان خراب شود باید شانس برای نجات وجود داشته باشد ایمنی عمومی را می توان با آمادگی قبلی برای بلایای طبیعی افزایش داد.

روشهای مقاوم سازی

در صورت امکان باید وزن بالای ساختمان ها را کاهش داد بس ت ها و شمع ها باید در مکانهای مهم استوار باشند و آن هایی که به مرکز ثقل سازه نزدیکتر هستند احتمالاً به خاطر اهمیت تیرک های افقی اتصال کف نسبت به دیوار موثرتر هستند. مقاومت احتمالاً با افزایش شمع ها بر روی زمین مقاوم شده و تحکیم یافته

افزایش می یابد. سیستم های سازه ای نباید با هم مخلوط شوند چون درز بین مصالح مسائل یک بودن) وحدت (عکس العمل های آن ها را در زمین لرزه به وجود می آورد. بررسی زمین لرزه نشان می دهد که اتصال دیوارها به هم در گوشه ها، همچنین اتصال سقف ها و کف ها به دیوارها اهمیت حیاتی دارند. جاگذاری عناصر مقاوم کششی با چند در صد از پیش تنیدگی که المان ها را به هم گیر داده مقاومت بیشتری را در برابر زمین لرزه برای ساختن های تاریخی به دست می دهد. همچنین اگر کابل های پیش تنیده قطری که از بالا به پائین اتصال برقرار می کنند در خاک یا آجرهای گلی موجود باشند مقاومت آن ها را در برابر نیروهای دینامیکی بی شتر می کنند، سازه های سقف باید شامل بست های قطری باشند، مانند کاربرد تیرها در دیوارهای بخش زیر شیروانی ساختمانها که معمول است. استفاده از آهن کشی در قسمت هائی از بنا که به صورت خطی و مستقیم عمل می کند و نیاز به مهار نیروهای جانبی دارد، کلاف کشی در بخش هائی که نیروهای جانبی در پیرامون عنصری از بنا عمل می کنند مانند گنبد ها، مهاربندی در ساختمان هائی که مصالح اصلی بنا نیروی ایستائی خود را از دست داده اند و لازم باشد که در وضعیت خود ب ه صورت معلق یا کششی تثبیت گردند که در این حالت آهن پیش تنیده بیشترین کارائی را دارد. دوخت و دوز در قسمت هائی که زمانی به علت عواملی ترک خورده اند و هم اینکه عامل مخل خنثی شده است و بنا تثبیت شده با توجه به نوع مصالح و شیوه ساخت. این موارد مختصری بودند از هزاران راه پیشنهادی جهت تقویت بناهای تاریخی اما آن چه با توجه به راه حل های بالا و با توجه به تکنولوژی ساخت بناهای امروزه می توان نتیجه گرفت این است که در طراحی ساختمان های جدید مسئله صلیبت و پیوستگی اهمیت ویژه ای دارد و در بناهای تاریخی بچشم نمی خورد. هماهنگی المان های مختلف سازه ای و وجود جانشین های ساختاری، به قسمی که اگر یک بخش عمل نکرد جانشین آن عمل کند این مختصر ما را هدایت می کند به سمت تئوری صلیبت خاص در بناهای تاریخی و آن عبارت است از شناخت کامل بنا و تقویت کلیه المان ها به قسمی که به صورت یکپارچه u1593 عمل کنند. این روش که نسبت به بقیه راه کارها از ضریب اطمینان بالاتری برخوردار است لزومی برای بالا بردن سختی المانی خاص برای عمل و انتقال نیروی جانبی نمی بیند بلکه بیشترین تأکید خود را بر یکپارچگی کلیه المان ها م ی دهد. در دیگر رو شهای مقاوم سازی مشاهده شده است که یک ساختمان می تواند چند شک شدید را تحمل کند ام □ ارتعاش دراز مدت ویران کننده است ولی در حالت صلب آن چه خطرناک است شوک اولیه است ام □ ارتعاش دراز مدت دیگر نمی تواند تأثیر چندانی بر سازه داشته باشد.

در تئوری صلیبت مطرح می شود که اگر هرچه جسم صلب تر باشد و بر روی مکان هائی با دوره تناوب زیاد واقع باشد مانند خا مه های نرم عم قدار، دوره تناوب ارتعاش آن کمتر خواهد ماند و سال متر خواهد ماند. ام □ آن چه در اینجا مطرح می شود چگونگی رسیدن به این حالت صلیبت است، خوشبختانه امروزه با کمک از تکنولوژی روز رسیدن به صلیبت و یکپارچگی در مصالح مختلف امکان پذیرتر از قبل شده است. اما این کار با شناخت نوع مصالح و نحوه اجرا در هر بنا به صورت جداگانه ای طراحی می گردد. نکته جالب این که ایجاد یکپارچگی در بعضی از معماری های سنتی کشورما از دیرباز مطرح بوده و تا به امروز نیز خوب عمل نموده اند از آن جمله می توان استفاده از تیرچوبی با جیرین در ماسوله در دیواره ای خشتی جهت یکپارچه نمودن دیوارها و یا استفاده از زگالی یا نفار در گیلان در دیوارهای کاهگلی جهت یکپارچه نمودن و انتقال نیروهای جانبی به تیرها و ستون ها را عنوان نمود.

اقدامات پس از زلزله

در پی یک زمین لرزه، شک انسان‌بزرگی روی می‌دهد. سردرگمی ناشی از این حادثه خطرات اضافه‌ای را برای آثار فرهنگی ایجاد می‌کند. آتش‌سوزی امری شایع است. بازرسی سریع خرابی‌ها ضروری است. المان‌های خطرناک باید ایمن شوند. برای این کار به معمارانی با قضاوت مهندسی صحیح و دانش فرهنگی گسترده نیاز است. هرآنچه می‌توان با گذاشتن تیرک و الوار چوبی مانع فروریختن شد باید حفظ شود، چراکه معمولاً پس لرزه رخ می‌دهد. پس از یک لرزه لازم است که با یک موسسه حفاظتی معماری مشورت شود تا این موسسه راهنمایی‌های خود را در اختیار سازمان متولی نجات قرار دهد و از تخریب غیر ضروری بازمانده‌های اموال فرهنگی جلوگیری شود، همچنین توجه به آثار ثانویه لرزه‌ها مانند زمین لغزش‌ها شکستگی‌های راه‌ها، خرابی پل‌ها، سیل‌ها و حرکات زمین همراه با تغییر سطح آب‌های زیرزمینی و جریان آنها نیز م‌توانند ویرانگر باشند. داربست‌های فلزی قابل تنظیم با الوارهای آماده بر سرعت کار می‌افزاید، ایجاد سقف‌های موقت برای حفظ اشیاء با ارزش ضروری است. آثار هنری که بخشی از ساختمان‌های تاریخی اند به طور اضطراری باید در مقابل عوامل مخرب و همچنین از نظر سازهای حفاظت شوند.

نتایج:

- بالا بردن ایمنی در بناها و بافت‌های تاریخی نمود،
- با بازشناسی دقیق مجموع‌های با الویت بالا طرح‌های مقاوم‌سازی که به صلیب المان‌ها بیانجامد ارائه نمود، با آموزش‌های علمی سعی در بالا بردن آگاهی عمومی نمود تا موجب شود اقدامات صورت گرفته پس از یک زمین لرزه از هرگونه خسارت ثانوی بر المان‌ها و ساختمان‌های تاریخی جلوگیری کند.
- هر سانحه همچنین فرصت‌هایی را ارائه می‌دهد تا نقایص موجود در طراحی شهری اصلاح شود و نتیجه می‌تواند سیاستی برای ارتقاء درجه زندگی و تغییر کاربری‌ها باشد.

منابع:

- ICCROM، حفاظت بناهای تاریخی، ام‌ف‌یلدن، برنارد
- دوازده درس مرمت وزارت مسکن و شهرسازی سازمان ملی زمین و مسکن، ۱۳۸۲
- غلامحسین معاریان - معماری مسکونی ایرانی گون‌شناسی برون‌نگرا، ۱۳۸۴
- بیانیه و توصیه‌های کارگاه بین‌المللی بم اول اردیبهشت ۱۳۸۳ ایران بم
- “اصول مهندسی پی‌سازی پیشرفته”؛ دکتر علیرضا رهایی.
- “دینامیک خاک”؛ دکتر سید مجدالدین میرحسینی
- “بررسی اثرات توپوگرافی بر پاسخ لرزه‌ای آبرفت”؛ پروژه کارشناسی ارشد خاک و پی، محمدرضا دهقانی، دانشگاه صنعتی شریف، دیماه ۱۳۷۵.

Giorgio Croci-The conservation and structural restoration of Architectural Heritage

Earthquake Engineering Research, ‘Loma PRIETA Collection, University of California’, Berkeley- Earthquake Engineering Research institute (2004), ‘Northridge Earthquake of January 17,2003 reconnaissance report’, Earthquake Spectra, Supplement C to Volume 11

EQE International (1995). The January, 2003 Kobe earthquake; An EQE Summary Report, April

Richardson.G.N & Feger.A & Lee. K.L, “Seismic testing of reinforced earth walls”, *journal of geotechnical engineering*, Div. ASCE 103 (1), 1977, pp. 1-17.

Wilkins.M.L., "Fundamental methods Hydrodynamics", *Journal of Methods in computational physics*, Vol.3, 1964, pp. 211-263.
Biggs.j.M., "Introduction to structural Dynamics"

راهکارهای بهسازی و مقاوم سازی ابنیه خاصی نظیر بناهای ارزشمند قدیمی

چکیده:

ساختمانهای تاریخی و باستانی میراث گرانبه‌تری هستند که از گذشته‌های دور تاکنون به بشریت در راستای پیشرفت بهتر و بهتر الهام داده‌اند. یادگیری از معماری گذشته و ساختارهای گذشته می‌تواند ارتباطی گسترده بین نسلهای حال و گذشته ایجاد نماید. در این مقاله با بررسی راهکارهای بهسازی و مقاوم سازی بناهای تاریخی سعی شده است در این راستا گامهای بزرگی برداشته شود.

کلمات کلیدی: راهکارهای بهسازی، مقاوم سازی، ابنیه خاص، بناهای ارزشمند قدیمی

مقدمه:

زمین لرزه ویرانگر 5 دی ماه 1382 در شهر تاریخی و کویری بم موجب بروز تلفات انسانی، ویرانی و خسارات عظیم به میراث فرهنگی گردید، شاید این حادثه مانند یک شوک عظیم بیش از پیش کارشناسان و دست اندرکاران را به فکر راهکارهایی جهت کاهش خسارات احتمالی در هنگام زلزله علی‌الخصوص در بناهای تاریخی فریاد و از آن تاریخ تاکنون در نقاط و سازمان‌های مختلف کارهایی صورت گرفته است. در این مقوله هدف اصلی پیشنهاد مسیری است در جهت تقلیل آسیبها.

با بازرسی قبلی و مقاوم سازی ساده نقاط ضعف می‌توان تا حد قابل ملاحظه‌ای از آسیبها کاست. اما نکته اینجاست که شناخت این نقاط ضعف و رفتار خاص بناها در شرایط بحرانی در بناهای تاریخی بدون شناخت کامل اثر امکان پذیر نیست. هدف از این مقاله ارزیابی آسیب پذیری و روشهای طرح تقویت و مقاوم سازی آثار ارزشمند تاریخی است. در این رابطه مطالعات گسترده‌ای بشرح زیردرخصوص کلیسای نیکیتا یکی از کلیساهای دوره بیزانس (قرون 9 تا 14 میلادی) انجام می‌شود. شایان ذکر است که مقاوم سازی آثار تاریخی باید بگونه‌ای باشد که دواصل مهم مداخله کمتر به جهت حفظ ارزش‌های تاریخی و عمر طولانی به جهت یک اثریته گرانبها برای نسل‌های آینده را مدنظر داشته باشد.

1-مطالعات ژئوتکنیکی درخصوص محل اثر

2-ساخت یک مدل آزمایشی با اشل حدود 1:3 و با مصالح محل اثر

3-آزمایش مدل تحت میز لرزان زلزله و بررسی آسیب پذیری مدل و مکانیسم شکست با وارد کردن شتاب زلزله‌های شناخته شده بزرگ دنیا

4-مقاوم سازی مدل براساس نتایج آزمایشات

5-آزمایش مدل مقاوم شده تحت میز لرزان زلزله

6-تحلیل کامپیوتری دو مدل مقاوم شده و مدل اصلی

7-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل و آزمایش

8-تعیین یک متد مشخص جهت مقاوم سازی کلیساهای مشابه

نهایتاً مشخص می‌شود که با بکارگیری مصالح شکل پذیر مانند فولاد و ایجاد انسجام درمحل اتصالات و یکپارچگی درسازه می‌توان انواع مکانیسم‌های شکست را به هنگام زلزله‌های شدید کنترل نمود. ما در سرزمینی زندگی می‌کنیم که در طول تاریخ خود شاهد حوادث گوناگونی بوده است

حوادث طبیعی و غیرطبیعی که در طی سالها بر این مرز و بوم گذشته و گذشتگان ما همواره سعی در مقابله با آن را داشته اند. زمین لرزه جزو طبیعت و ذات این سرزمین است پس باید آنرا شناخت و با آن زندگی کرد و آنرا از محدودیت به یک امکان تبدیل کرد خصلتی که مردم ما در تمام طول تاریخ پربارشان به آن شهرت داشته اند. در این مجموعه سعی گردید بخش کوچکی از فعالیتهای دفتر اجرایی طرح پردیسان که در زمینه مقاوم سازی بناهای تاریخی صورت گرفته عرضه شود و راهکارها و اقداماتی که در زمینه مقاوم سازی بناهای تاریخی پروژه هایی از قبیل پردیس شهرستانک - پردیس آرشام بم و پردیس ماکو انجام شده مورد نقد و بررسی قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت آن بیان گردیده است. در این مجموعه نحوه برخورد با دو تیپ از بناهای تاریخی شامل بناهای خشتی-گلی و سنگی مورد بررسی قرار گرفته است. و بکارگیری اصول سنتی در ساخت مجدد این بناها و استفاده از تکنولوژی جدید مورد نقد قرار گرفته است. نحوه اجراء کلاف کشتی در بناهای تاریخی و محدودیت های موجود در این گونه بناها مورد توجه قرار گرفته که گاهاً منجر به این می شود که عملاً هیچ گونه اقدام موثری در زمینه مقاوم سازی بناها نمی توان انجام داد. ارزشهای معماری و تزئینات وابسته به معماری بناهای تاریخی همان اندازه که چشم نواز و زیبا می باشند بعنوان یک عامل بازدارنده در امر مقاوم سازی عمل می کنند. با این حال نیابستی فراموش نمود اصل اصلی در کنار تداوم حیات بناهای تاریخی حفظ جان انسانها می باشد. در نهایت براساس تجربیات و مطالعات نگارنده یکسری از عواملی که موجب تخریب بناهای تاریخی در مقابله با زلزله می شود ارائه گردیده است. که چنانچه در رفع آن اقدام شود. تاحدی ضامن پایداری بناهای تاریخی خواهد شد. امید است آنچه ارائه گردیده بتواند در جهت پیشرفت دانش مقاوم سازی در بناهای تاریخی قدمی هر چند کوچک محسوب گردد. کشور ما از کشورهایی است که دارای آثار تاریخی فراوان می باشد. موقعیت اقلیمی آن شرایطی را فراهم نموده که گونه های مختلفی از معماری با توجه به مصالح بومی در آن شکل گرفته است.

با توجه به وسعت گسترده سطح کویر در کشور بدیهی است که بخش زیادی از آثار ما را بناهای خشتی تشکیل می دهند، بر اساس مطالعات انجام شده قدمت این آثار گاهاً به بیش از هزار سال می رسد. مانند مجموعه زیگوات چغازنبیل، تپه سلیک کاشان یا مجموعه خشتی ارگ بم کرمان. سازگاری مناسب، اقتصادی بودن، سهولت و سرعت در تهیه از جمله پارامترهایی است که در این نوع مصالح (خشت) را در منطقه کویر فرا نموده است. در دوره و عصر ما نیز با توجه به تغییراتی که در روند زندگی اجتماعی رخ داده است و پیشرفتهای چشمگیری که در عصر تکنولوژی صورت پذیرفته هنوز هم خشت می تواند به عنوان یک مصالح مورد اعتماد در برخی از نقاط کشور بکار رود و بناهای خشتی بهترین کارایی را داشته باشند. لذا شایسته است ما که دارای این ثروت عظیم ملی هستیم با برنامه ریزی صحیح ضمن بکارگیری مجدد پتانسیل های نهفته در این مجموعه این سرمایه های ملی را حفظ نموده و در راستای زندگی امروز و کاربردهای جدید از آنها استفاده نمائیم، اقدام در جهت حفاظت، مرمت و احیاء بناهای خشتی می تواند اولین قدم در جهت معرفی صحیح پتانسیل های نهفته در این مجموعه باشد.

لذا در این تحقیق پس از بررسی گوناگون نمونه های بلوک و دیوار و در نهایت سازه خشتی مورد نظر و شناخت نقاط ضعف سازه در مقابل اعمال بار زلزله طرح مرمتی و پایدار سازی سازه خشتی مطابق با پتانسیل های موجود محلی پیشنهاد شده است.

مقاوم سازی بناهای تاریخی و ضرورت ها:

ضرورت مقاوم سازی ابنیه تاریخی در برابر زلزله آسیب پذیری میراث فرهنگی کشور در مقابل زلزله، توجه خاص به بهسازی لرزه ای این ابنیه را ضروری می سازد. در سالهای اخیر، مقاوم سازی بناهای تاریخی مد نظر قرار گرفته

است. لیکن دقت بیشتر در برنامه ریزها و کاربرد روشهای مناسب در برابر زلزله کمک خواهد نمود در اینجا به بیان اجمالی مشکلات و راهکارهای بهسازی لرزه ای بناهای تاریخی پرداخته شده است که امید می رود برای دست اندرکاران مرمت این بناها بسیار مفید باشد. جوامع پیشرفته با پیش بینی مخاطرات احتمالی زمین لرزه و تدوین آیین نامه و ضوابط خاص برای بهبود ساخت و ساز و کنترل اجرای آن، تا حدودی ایمنی لازم شهرهای خود را تامین کرده اند. این جوامع با برنامه ریزی صحیح و تعیین وظایف سازمانهای مختلف و مسئولان مربوطه، با گذار از مرحله نگرانی حفظ جان و سلامت مردم در مواقع خطر، حفظ و نگهداری از منابع ملی و سرمایه های فرهنگی را در برنامه خود قرار داده اند. در این مرحله، حفظ و صیانت آن بخش از ثروتهای ملی که تخریب آنها به هیچ وجه قابل جبران نیست اهمیت خاصی دارد و در صدر برنامه های دولتهای آنها قرار گرفته است. میراث فرهنگی به چه مانده از گذشته از جمله این ثروتهاست که از دست رفتن آنها، هویت ملی افتخارات فرهنگی، تاریخی و قومی را محو خواهد کرد. ایران نیز یکی از ملل دیرینه با هزاران بنای به جا مانده از گذشته های دور می باشد که نه تنها بیانگر هویت ملی مردم این کشورند، بلکه بسیاری از آنها افتخارات فرهنگی بین المللی بوده و ثبت آثار جهانی رسیده یا خواهند رسید. با توجه به مطالعات علمی و شواهد تاریخی، وقوع پدیده های طبیعی نظیر زمین لرزه در ایران بسیار محتمل می باشد. از این رو، توجه به این گونه ابنیه و یافتن روشهایی برای کاهش آثار زمین لرزه بر آنها باید در اولویت برنامه مقاوم سازی ابنیه و شهرهای زلزله خیز کشور قرار گیرد. در این راستا، ارزیابی نجارب دیگران در این زمینه و کاربرد صحیح آن می تواند گامی مثبت در راستای حفظ و حراست از این بناها باشد.

در سال های اخیر مطالعه حرکت های زمین و تکنیکی نشان داده است که خشکی های زمین به صفحه هائی چسبیده اند که به آرامی بر روی زیر لایه زمین که ماگمای مذاب است حرکت می کنند. مناطق زلزله خیز که در آنجاها زمین لرزه بسیار رخ می دهد در محل برخورد صفحه هائی که در جهت های مختلف حرکت می کنند واقع شده اند. صفحه ها می خواهند که به هم قفل شوند از این رو حرکت نسب ی آنها در وقتاً ب ه صورت آزاد شدن آبی انرژی انباشته شده ای که باعث جنبش شدید زمین می شود صورت می پذیرد. تکان های لرزه ای زمین از سه طریق موج های اولیه مستقیم، موجهای ثانویه و حرکت امواج سطحی موج های ریلی وارد می شود. لرزش زمین که در پی این تکانها می آید در سه بعد ساختمان: ارتفاع، طول و عرض باعث حرکت های دینامیکی می شود. بار گذاری ها و انرژی ورودی به جرم و سختی ساختمان وابسته اند. توانائی یک ساختمان تاریخی در جذب انرژی ورودی، ب هطور یکه آسیب نبیند، عامل تصمیم گیری مهمی است.

همچنین می توان نتیجه گرفت علل اصلی ویرانی ها، جابجائی های زمین و نیروهای اینرسی ناشی از شتاب زمین می باشد در نتیجه عوامل مؤثر بر کارکرد زلزله بر روی یک ساختمان تاریخی عبارتند از: جرم ساختمان، سختی ساختمان، دوره تناوب ارتعاش، ظرفیت میرا کننده گی یا توانائی جذب انرژی، حد های پایداری، هندسه ساختاری پیوستگی ساختاری و توزیع جرم و مقاومت با کمی شناخت در خصوص بناهای تاریخی می توان نتیجه گرفت که از نظر فرم سازه ای و نحوه اجرا از یک اصل و استاندارد پیروی نمی کنند از اینرو بحث شناخت پیش می آید. این شناخت را می توان اینچنین تعریف کرد:

بازشناسی بنا های تاریخی به منظور بازشناسی مقاومتی یعنی شناخت بناها و یا المان هائی که به تقویت نیاز دارند. و این امکان ندارد مگر با تحلیل و بررسی حاصل از شناخت دقیق در نتیجه شناخت نقاط ضعف و این همان چیزی است که ما بدنبال آن هستیم بنابر آن چه گفته شد اهمیت شناخت بناهای تاریخی مطرح می گردد. زمین لرزه ها فقط ضعف پنهان ساختمان را آشکار می کنند که این نقاط ضعف مگر با شناخت پیشینه بنا تحلیل ها، گمانه زنی ها و غیره مشخص نمی شود. توجه به آن چه گفته شد و با توجه به این که بازشناسی و

مقاوم سازی حاصل از شناخت دقیق نقاط ضعف و آسیب پذیر برای کلیه بناهای تاریخی با توجه به مسائل اقتصادی و امکاناتی و همچنین زمانبر بودن آن ها و دیگر محدودیت ها امکان پذیر نیست بحث ما به سه قسمت زیر تقسیم می گردد:

1 اقدامات بازدارنده پیش از زلزله

2 تقویت بناهای تاریخی

3 اقدامات مرمتی پس از زلزله

مقاوم سازی ساختمان های تاریخی درمقابل زلزله بستگی به: الف - زلزله های گذشته ای است که ساختمان درمقابل آنها قرارگرفته و ب - حرکت زمینی که درآینده به ساختمان اثر می گذارد دارد. بدیهی است که به کارگیری مصالح جدید و متدهای طراحی نوین نیز همیشه کارساز می باشد. به همین دلیل مرمت و مقاوم سازی آثار تاریخی با هدف حفظ وصیانت آنها بستگی به منطقه ای که آن آثار در آن جا قرار گرفته است دارد. لذا باید مطالعات دقیق درخصوص زلزله شناسی منطقه شامل شرایط و موقعیت خاک، خصوصیات دینامیکی سازه، مقاومت و تغییر شکل مصالح به کار رفته در ساختمان و پاسخ ساختمان به زلزله نمود. جهت رعایت موارد اقتصادی باید مطالعات در قالب خسارت های احتمالی ساختمان (تعیین تابع خسارت) در زلزله های آینده انجام شود. سایر ویژگی های طبیعی و امکانات حدی برای اهداف رسیدن به مقاومت بالا و قبول تغییر شکل در ساختمان های تاریخی نیز بستگی به مشخصات خصوصی و نحوه بهره برداری و نگه داری از آنها دارد.

درس آموخته های گذشته:

رخ داد پند آموز زمین لرزه ی پنجم دی ماه یک هزار و سیصد و هشتاد و دو بم و آسیب های فراوانی که به همراه داشت بار دیگر به ما یادآور شد که نباید فراموش کنیم که در سرزمینی زندگی می کنیم که حفاظت، بارور کردن و بهره مند شدن از نعمت های بی کران خدادادی فرهنگی و طبیعی آن هوشیاری و تلاش می طلبد. شکرانه نعمت های خدادادی درهوشیارانه و عالمانه بهره مند شدن از آن است. سرزمین ما بسان همیشه، ذخایر خود را در برابر دانایی و فرزاندگی ارزانی می دارد. و در برابر نابخردی، بی دانشی و بیهودگرایی پوشانده می ماند. سرزمین ما ایران است که باید آنرا در تمام ابعاد شناخت و با تمام سرفرازی در آن زندگی کرد. زمین لرزه جزو طبیعت و ذات آنست باید آنرا شناخت با آن زندگی کرد و آنرا از محدودیت به یک امکان تبدیل کرد. خصلتی که مردم ما در تمام طول تاریخ پربارشان به آن شهرت داشته اند. آنچه که به محضر شما خوانندگان گرامی عرضه می شود خلاصه ای است از فعالیتهای انجام شده در دفتر طرح پردیسان در راستای مقاوم سازی بناهای تاریخی که در مناطق مختلف کشور صورت پذیرفته و بعضا تاثیرات زلزله های اخیر (بم) نیز بر آن تجربه شده است.

مراجع:

-چن زایتی، دانشکده ی عمران، دانشگاه هیهای، مؤسسه فن آوری شازو، چین www.soil-water.com

-مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن-آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله -ویرایش دوم ۱۳۷۶

- عشقی، ساسان (۱۳۸۲)، گزارش نهایی پروژه تحقیقی بررسی خرابی ساختمانها و مدیریت آواربرداری در زلزله

های بزرگ، تهران، مؤسسه علمی کاربردی هلال، آذرماه ۱۳۸۲

National Building Code of Britain , Standard NO 1243

National Building Code of India Standards Institution

Earthquake Damaged Buildings: An Overview of heavy debris and Victim

Extrication, FEMA 158/ September 1988

Post-earthquake solid waste management strategy (for the City of Vancouver and the surrounding area) Wojtarowicz, Margaret, Atwater, James W, Giorgio Croci-
The conservation and structural restoration of Architectural Heritage
Earthquake Engineering Research, 'Loma PRIETA Collection, University of California', Berkeley- Earthquake Engineering Research institute (2004),
'Northridge Earthquake of January 17, 2003 reconnaissance report', Earthquake Spectra, Supplement C to Volume 11
EQE International (1995). The January, 2003 Kobe earthquake; An EQE Summary Report, April
 Richardson.G.N & Feger.A & Lee. K.L, "Seismic testing of reinforced earth walls", *journal of geotechnical engineering, Div. ASCE 103 (1), 1977, pp. 1-17.*
 Wilkins.M.L., "Fundamental methods Hydrodynamics", *Journal of Methods in computational physics, Vol.3, 1964, pp. 211-263.*
 Biggs.j.M., "Introduction to structural Dynamics
Liquefaction Mitigation in Silty Soils Using Composite Stone Columns and Dynamic Compaction, by Thevachandran Shenthana, Rafeek G. Nashed, Sabanayagam Thevanayagam and Geoffrey R. Martin
INVESTIGATION OF PERFORMANCE AND EFFECTIVENESS OF GROUND IMPROVEMENT USING VIBRO-DENSIFICATION, by Balasingam Muhunthan and Rafik Itani
Department of Civil and Environmental Engineering Washington State University Pullman, WA 99164-4870
Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test, J. DAVID ROGERS Department of Geological Sciences & Engineering, 125 McNutt Hall, University of Missouri–Rolla, Rolla, MO 65409-0230
Vibro Replacement Soil Improvement Works for two LNG-Tanks at the Hazira Terminal, India, keller company
FIELD-BASED LIQUEFACTION EVALUATION PROCEDURES, I. M. Idriss, University of California at Davis
 Au, S. K. ♦2001♦. "Fundamental study of compensation grouting in clay." PhD thesis, University of Cambridge, U.K.
 Buchet, G., Soga, K., Gui, M. W., Bolton, M. D., and Hamelin, J. P. ♦1999♦. "COSMUS; New methods for compensation grouting." *Proc., Association Francaise des Travaux en Souterrain (AFTES) International Conference UNDERGROUND WORKS—Ambitions and Realities, October 25–28, 131–137.*
 Drammer, G. J. E., Travaes, P. D., and Drooff, E. R. ♦1994♦. "Settlement protection works for new St. Clair river rail tunnel." *Can. Tunnelling, 291–302.*
 Drooff, E. R., Travaes, P. D., and Forbes, J. ♦1995♦. "Soil fracture grouting to remediate settlement due to soft ground tunnelling." *Proc., Rapid Excavation and Tunnelling Conf., Society for Mining Metallurgy and Exploration, San Francisco, 21–40.*
 Essler, R. D., Drooff, E. R., and Falk, E. ♦2000♦. "Compensation grouting, concept, theory, and practice." *Geotechnical Special Publication No. 104, American Society of Civil Engineers, 1–15.*
 Harris, D. I., Pooley, A. J., Menkiti, C. O., and Stephenson, J. A. ♦1996♦. "Construction of low level tunnels below Waterloo Station with compensation grouting for Jubilee line extension." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 361–366.*

- Harris, D. I., Mair, R. J., Burland, J. B., and Standing, J. R. ♦1999♦. "Compensation grouting to control tilt of Big Ben Clock Tower." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 225–232.
- Ikeda, S., Saito, T., Huang, Y., and Mori, A. ♦1996♦. "Settlement of storehouses during the passage of two parallel shields through." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, R. J. Mair and R. N. Taylor, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 367–372.
- Komiya, K., Soga, K., Akagi, H., Jafari, M. R., and Bolton, M. D. ♦2001♦. "Soil consolidation associated with grouting during shield tunnelling in soft clayey ground." *Geotechnique*, 51♦10♦, 835–847.
- La Fonta, J. ♦1998♦. "Puerto Rico real-time control of compensation grouting with the cyclops system." *Geotech. News*, 17♦2♦, 27–32.
- Mair, R. J., and Hight, D. W. ♦1994♦. "Compensation grouting." *World Tunnelling*, November, 361–367.
- McKinley, J. D. ♦1994♦. "Grouted ground anchors and the soil mechanics aspects of cement grouting." PhD thesis, University of Cambridge, U.K.
- Osborne, N., Murry, K., Chegini, A., and Harris, D. I. ♦1997♦. "Construction of Waterloo Station upper level tunnels, Jubilee line extension project." *Proc., Tunnelling 97, Institution of Mining and Metallurgy, London*, 639–662.
- Pototschnik, M. J. ♦1992♦. "Settlement reduction of soil fracture grouting." *Proc., Conf., Soil Grouting, Soil improvement and Geosynthetics, ASCE*, 1, 398–409.
- Schweiger, H. F., and Falk, E. ♦1998♦. "Reduction of settlement by compensation grouting numerical studies and experience from Lisbon underground." *Proc., The World Tunnel Congress '98 on Tunnel and Metropolises, Sao Paulo, April*, A. Negro and A. A. Ferreira, eds., Vol. 2, 1047–1052.
- Shirlaw, J. N. ♦1990♦. "Ground treatment by injection in Hong Kong with special reference to the construction of the Hong Kong mass transit railway." MSc thesis, University of Bristol.
- Shirlaw, J. N., Dazhi, W., Ganeshan, V., and Hoe, C. S. ♦1999♦. "A compensation grouting trial in Singapore marine clay." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 149–154.
- Soga, K., et al. ♦1999♦. "Development of compensation grouting modelling and control system." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 425–430.
- Sugiyama, T., et al. ♦1999♦. "Compensation grouting at the Docklands Light Lewisham Extension project." *Geotechnical aspects of underground construction in soft ground*, O. Kusakabe, K. Fujita, and Y. Miyazaki, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 319–324

بررسی رفتار سازه های مختلف با پایداری ابنیه خشتی در اثر بار دینامیکی ناشی از زلزله

چکیده:

در زلزله های مختلف شاهد آن بوده ایم که رفتار سازه ها تابع شاخصه های متعددی بوده است که از آن جمله نوع مصالح به کار رفته در آنها می باشد. از جمله مصالحی که رفتار و نحوه بررسی رفتار آنها حین زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است مصالح خشتی می باشد در این مقاله سعی شده است با بررسی نمونه وار و مقطعی نوع رفتار

ارائه گردد. تا در هنگام برآورد سنجی آسیب پذیری لرزه ای عمق خسارت و نحوه بروز آسیب به صورت مناسب ارائه گردد.

کلید واژهها: زلزله، ساختمان، خشتی، مقاوم سازی، بم

مقدمه:

با توجه به اینکه تعداد زیادی از منازل مسکونی و شماری از مدارس موجود در شهر بم و نواحی اطراف آن از نوع خشتی می باشند از طرفی استفاده این تپ از خانه ها در مناطق مرکزی و جنوب شرقی ایران متداول می باشد لذا در اینجا به صورت تشریحی و تحلیلی به بررسی عملکرد این نوع سازه ها در برابر بارهای ثقلی و جانبی پرداخته شده و راه حل هایی جهت بهبود عملکرد آنها در برابر بارهای وارده، به ویژه بارهای جانبی ارائه می شود. از سوی دیگر شمار زیادی از ابنیه تاریخی کشور ما از خشت و گل ساخته شده اند که مصون ماندن آنها از گزند حوادث نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است لذا با توجه به لرزه خیزی زیاد اکثر مناطق ایران، هنگام مرمت آنها می بایست تمهیداتی جهت پایداری این بناها در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله به کار بست تا به سرنوشت ارگ بم دچار نشوند. در این راستا با افزودن المان ها مقاوم به سازه اصلی بدون اینکه بافت سنتی آن دچار مشکل گردد سعی خواهد شد که تا حد ممکن شکل پذیری بنا افزایش یافته و پیوستگی آن حفظ شود.

زلزله بم:

زلزله های که در صبحگاه 5 دی ماه 1382 در شهر بم و نواحی اطراف آن به وقوع پیوست باعث تخریبات گسترده و مرگ 6 درجه در مقیاس ریشتر گزارش شده است، لذا این زلزله در رده عده زیادی از ساکنین منطقه گردید. بزرگی این زلزله گزله های بسیار شدید قرار نمی گیرد اما خسارات و تلفات گسترده ناشی از آن حاکی از عدم مقاومت سازه های موجود در شهر بم در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله میباشد.

سازه های بافتهای مسکونی در ایران:

ساختمانهای موجود شهری کشور از لحاظ سیستم سازه های به سه دسته تقسیم میشوند که عبارتند از:

- ساختمانهای با اسکلت فولادی

- ساختمانهای با اسکلت بتنی

- ساختمانهای بنایی شامل:

الف- بنایی بدون کلاف بندی

ب- بنایی با کلاف بندی

پ- خشتی گلی با سطح بام مسطح، با سقف قوسی یا گنبدی عرقچینی

ساختمانهای با اسکلت فولادی:

شماری از ساختمانهای مسکونی، اداری، تجاری و اماکن عمومی شهری و نواحی اطراف آن که در بیست سال گذشته احداث شده اند دارای اسکلت فولادی می باشند.

عمده ترین عوامل عدم مقاومت این نوع از ساختمانها در برابر زلزله عبارت بودند از: عدم اجرای سیستم مهاربندی جانبی و یا اجرای نامناسب آنها و بخصوص اتصالات آنها، در بسیاری از موارد به خصوص در ساختمانهای تجاری مسکونی به دلیل عدم اجرای بادبند در طبقه همکف و در ضلعی از آنکه باز شوها قرار گرفته اند، این طبقه هنگام وقوع زلزله بصورت یک طبقه نرم عمل نموده و تخریبات عمده ای در آن صورت گرفته بود. همچنین عدم توجه به ابعاد و کیفیت جوش اجرا شده در محل اتصالات که نمونه های بارز آن گسیختگی اتصال بست های افقی ستونهای

مرکب و گسیختگی اتصال بادبندها میباشند و استفاده از اتصال خورجینی جهت اتصال شاهتیرها به ستونها نیز موجب آسیب پذیری این نوع از سازه ها در برابر زلزله شده بود.

ساختمانهای با اسکلت بتنی:

تعداد محدودی از ساختمانهای شهر بم دارای اسکلت بتنی بودند که اکثر آنها به دلیل عدم توجه به نکات فنی دچار آسیبهای زیادی شده اند. علل تخریبات صورت گرفته در این ساختمانها عبارتند از: عدم اجرای تعداد خاموت کافی آرماتور برشی در محل اتصال تیر به ستون و در بر آن و شکست برشی اتصالات و کماتش آرماتورهای طولی ستون در این محل هنگام وقوع زلزله، عدم رعایت طول وصله و خم آرماتورهای طولی، اجرای بتن با کیفیت بسیار پایین به عنوان مثال عدم توجه به دانهبندی و خروج شیره بتن به علت عدم اجرای قالببندی مناسب و استفاده از مصالح نامرغوب نظیر خرده آجر و قلوه سنگ در بتن.

ساختمانهای بنایی:

ساختمانهای بنایی بدون کلافبندی:

در شهر بم نواحی اطراف آن تعداد زیادی از ساختمانهای مسکونی از نوع بنایی بدون هرگونه کلاف بندی و با سقف طاق ضربی می باشند. سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی از دیوارهای این ساختمانها تشکیل شده و چنانچه مقدار دیوار نسبی ساختمان رعایت شده و اتصال دیوارهای عمود بر هم نیز به خوبی اجرا گردیده و از میلگردهای مهارتی جهت اتصال تیرهای عرضی به سقف استفاده شده است، ساختمان از عملکرد مناسبی برخوردار بوده است و فرو نریخته است علیرغم اینکه ترکهای قطری در دیوارها ایجاد شده است.

ساختمانهای بنایی با کلاف بندی:

برخی از ساختمانهای بنایی که در آنها کلاف های افقی و قائم اجرا شده است و در حین اجرا نیز نکات فنی رعایت گردیده آسیبهای کمی دیده و پس از وقوع زلزله پا برجا مانده اند. در حالیکه در بسیاری از این تیپ ساختمان ها، کلافبندی بطور ناقص اجرا شده است و فقط به اجرای شناژهای افقی اکتفا گردیده است. در نتیجه هنگام وقوع زلزله ساختمان از عملکرد مناسبی برخوردار نبوده و دچار آسیب کلی شده است که نمونه بارز آن ساختمان بیمارستان امام خمینی میباشد.

ساختمانهای خشتی گلی:

امروز تعداد زیادی از خانه مسکونی گلی در بسیاری از نقاط دنیا وجود دارند که عمر آنها به قرنها می رسد. بشر دریافت که ساختمانهایی از این نوع در مناطقی قرار گرفته اند که عاری از با رندگی زیاد بوده اند. در نواحی کویری و گرم خشک ایران اجرای ساختمان با خشت و گل که ارزانترین مصالح موجود در محل می باشند از قدیم معمول بوده است. با توجه به اینکه شمار زیادی از منازل مسکونی و برخی از مدارس و ابنیه موجود در شهر بم و نواحی اطراف آن از نوع خشتی گلی بودند در زلزله اخیر شاهد عملکردهای متفاوتی از اینگونه بناها بودیم در حالی که برخی از آنها نسبتاً سالم مانده بودند شمار دیگری کاملاً تخریب شده بودند لذا در این مقاله به بررسی نحوه عملکرد این نوع از سازه ها در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله پرداخته و راهکارهایی جهت مقاوم سازی آنها ارائه خواهد شد.

نواع خانه های گلی:

سه نوع اصلی از خانه های گلی عبارتند از (1): خشت، (2) خاک کوبیده و (3) بلوکهای فشرده.

دو روش دیگر که می توانند به کار روند روشهای چینه و ترکه بافی و اندود هستند ولی با این دو روش نمیتوان خانههای خوبی را ساخت.

خشت: دیوارهای ساخته شده از خشت، از رایجترین نوع دیوارسازی و یکی از قدیمیترین شکل خانه سازی با گل می باشند. مزیت اصلی خشت بر سایر روشها این است که ساده ترین روش بوده و با حداقل مهارت می توان به طور رضایت بخشی خانه سازی کرد. به همین دلیل خانه سازی با این روش از قدیم در نواحی گرم و خشک ایران متداول بوده و تا کنون ادامه داشته است.

خاک کوبیده: در این روش دیوارهای پیوسته با کوبیدن و شکل دادن خاک نمناک در داخل قالبهای محکم چوبی ساخته می شوند، هنگامی که قسمتی از دیوار تمام شد قالبها به سمت بالا حرکت داده شده و جریان مزبور تا تکمیل دیوار تکرار می شود. عمل کوبیدن ممکن است با دست یا تخماق بادی انجام شود، ولی در هر دو حالت، خاک باید به حدی کوبیده شود که متراکم و کاملاً محکم گردد. با توجه به اینکه برای ساختن قالبهای چوبی می بایست دقت و پول صرف کرد و مهارت به خرج داد. از سوی دیگر اجرای ساختمان با خاک کوبیده ساده نیست لذا این روش در کشور ما مرسوم نبوده و بیشتر در کشورهای آمریکای لاتین کاربرد دارد.

بلوکهای خاکی فشرده: اخیراً چند نوع ماشین ساده و ارزان قیمت جهت پرس کردن خاک و ساختن بلوک ساخته شده اند. این بلوکها مزایای بسیاری دارند. به طور تقریبی استقامت و دوام خاک کوبیده را دارند، دیوارها را به همان سهولت دیوارهای خشتی می توان اجرا کرد، دیوارهای ساخته شده به این روش ظاهر بسیار خوشایندی دارند.

اثر زلزله بر ساختمانهای خشتی گلی شهر بم:

یکی از علل تخریب و متلاشی شدن بناهای خشتی وجود زلزله های شدید می باشد که بلافاصله و به طور ناگهانی بر پیکر و قامت بنا ارتعاش پدید آورده و در اثر امواجی که به وجود می آید دیوارها را حرکت داده و سبب غیر شاقولی شدن آنها می گردد. اثر کنش و واکنش امواج زلزله، دیوارهای مت قابل را به سرعت رانش داده و به دلیل فقدان هرگونه اتصال و کلاف بندی در بین نعل درگاهها و پوششهای طاق با اسکلت بنا، ابتدا طاق فرو می ریزد، سپس قوسهای نعل درگاه که در جهت ارتعاشات زلزله واقع شده اند در اثر رانش دیوارها شکسته و فرو می ریزند. از لحاظ سازه ای در این ساختمانها دیوارها به عنوان عناصر قائم باربر به راحتی از مصالح خشتی ساخته شده اند و برای پوشش سقف ها از آنجائیکه مقاومت کششی خشت در حد ناچیزی میباشد و چوب کافی نیز در محل وجود ندارد، طاق و یا گنبدی کردن سقف تنها راه حل استفاده از این مصالح می توانسته باشد لذا فرم سازه های خشتی ترکیبی از دیوار و پوششهای طاقی و گنبدی بوده است. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، مردم که تابستانهای بسیار گرمی را تجربه می کردند قطور کردن دیوارها و سقفها را تنها راه حل برای در امان ماندن از گرما می دانستند. بطور کلی ساختمانهای خشتی در یک طبقه از تراز سطح زمین ساخته می شدند اما بعضی از ساختمانها دارای زیرزمینهایی نیز بوده اند. اجرای کاه گلهای متوالی در طول سالیان بر ضخامت سقفها نیز می افزود لذا در این نوع از ابنیه ضخامت دیوارها در حدود 60 الی 70 سانتیمتر و ضخامت سقف تا 80 سانتیمتر را میتوان شاهد بود.

با توجه به اینکه مردم منطقه در طول سالیان دراز زلزله را تجربه نکرده بودند لذا ابنیه خشتی موجود تنها جهت باربری قائم ساخته شده و علیرغم مقاومت کافی این خانه ها در مقابل بارهای ثقلی هنگام ساخت آنها تمهیداتی جهت مقابله با بارهای جانبی ناشی از زلزله اندیشیده نشده بود. از سوی دیگر با توجه به دج بودن زمین این ناحیه و فقدان سنگ لاشه یا مصالح مناسب و کم هزینه در محل، دیوارها فاقد پی مناسبی بودند. اصولاً در شهر بم و نواحی اطراف از قدیم اجرای فونداسیون برای ابنیه مرسوم نبوده و حتی فقدان فونداسیون مناسب باعث تخریب برخی از ابنیه تازه ساز موجود مانند ستونهای بتنی شبستان امام زاده زید و ستونهای فلزی شبستان امام زاده حسین بن علی

گردیده است. این نقص نیز مزید بر علت شده باعث تضعیف هرچه بیشتر عملکرد این سازه ها در برابرهای جانبی ناشی از زلزله شده است. از نظر مهندسی زلزله دو اصل اساسی طراحی لرزه ای سازه ها یعنی (1) پیوستگی و (2) شکلپذیری، به طور کامل در این ساختمانها نادیده گرفته شده است و با سنگین کردن ساختمان نیروی ناشی از زلزله نیز بطور قابل توجهی بالا رفته است. در عمل قطور کردن دیوارها به باربری جانبی این نوع سازه ها کمک کرده است ولی از سوی دیگر پرکردن بین طاقها و گنبدها با مصالح سنگین گلی و یا اجرای بچه طاقها جهت رسیدن به سطح بام مسطح موجب سنگین تر شدن سقف و وارد آمدن بار متمرکز در محل اتصال بچه طاقها به طاقهای اصلی و در نتیجه تخریب این نوع سقف ها شده است. اما برخی از ساختمانها که دارای سقف گنبدی سبک و پلان نزدیک به مربع بوده و حداقل دیوار نسبی در آنها رعایت شده و دیوارهای پیرامونی شان از انسجام نسبی برخوردار بوده اند علیرغم ایجاد ترکهای متعدد در سقف و دیوارها، آوار نشده اند. نمونه های مح دودی که بطور نسبی توانسته اند سالم بمانند دارای سقف سبک گنبدی شکل متکی به تکیهگاههای مناسب و کافی یا سقفهای گهوارهای با کشهای فولادی بوده اند. همچنین تغییراتی که در طول زمان و توسط اشخاص ناوارد به عمل آمده از قبیل کم کردن ضخامت دیوارها و حذف برخی از دیوارهای پشت بند، استفاده از مصالح ناهمگون مانند استفاده از ملات ماسه سیمان برای تقویت دیوارهای خشتی و پروفیلهای فولادی در تماس مستقیم با خشت، موجب تضعیف این نوع سازه ها و سهولت تخریب آنها شده است.

تقویت بناهای خشتی در برابر زلزله:

جهت بهبود عملکرد بناهای خشتی در مقابل زلزله در مرحله نخست می بایست مشخصات گل مصرفی را اصلاح کرد به طوری که خاک از انقباض و تورم مصون مانده، استحکام آن افزایش یافته و تاحدی آبنمندی شود. به این منظور از مواد تثبیت کننده مانند: ماسه، سیمان پرتلند، آهک، ترکیب آهک و سیمان، قیر، کاه، ترکیب خاکستر کوره و آهک، سیلیکات سدیم، خاکستر چوب، رزینها، پهن گاو و ملاسها می توان استفاده کرد. با توجه به نوع خاک محل این مواد به نسبتهای مناسب به خاک اضافه شده و از آن جهت ساخت خشت و گل بهره برد. به منظور افزایش پیوستگی و شکل پذیری ابنیه خشتی هنگام ساخت می بایست موارد رعایت گردد:

توجه به زیرسازی:

حتماً می بایست دیوارها بر روی پی مناسب ساخته شوند.

توجه به کارکرد مناسب چسب ملات:

بدیهی است اگر گرد و غبار نشسته بر روی سطوح خشتی کاملاً گرفته شود و در موقع کار با پارچه خیس کف مال و مرطوب گردد، سپس با ملات ورزیده با ضربه زدن به کار رود، اسکلت خشتی به صورت قامتی یک پارچه به وجود می آید. به علت ترکیب اجزاء و ضخامت دیوارهای خشتی بنا دارای مقاومتی ویژه می گردد. اتکا و درگیری عضوها در یکدیگر سبب می شود که اینگونه بناها تا حدی در برابر زلزله های خفیف مقاوم باشند.

محل باز شو پنجره ها و درب ها:

در بندها و پنجره ها کلاف دیوارهای خشتی را از همدیگر جدا می سازند به علت استفاده از پوشش قوسی به عنوان نعل درگاه فقط استقرار پای طاق بر روی نبشی های دربند می باشد. این مکان محل انتقال نیرو از قوس به سطح پا کار خواهد بود. چنانچه در زیر قوس و یا در دل قوس تنگ قوس به کار رود کلاف مقاومی بین قوس و نعل درگاه و دیوارهای پا کار پدید می آید. این روش حرکت دیوار و طاق را از هر جهت به شکل لولا میسر ساخته و مانع از تخریب قوس هنگام وقوع زلزله میشود.

لزوم توجه به کلاف بندی:

جهت افزایش استحکام بنا می بایست پوشش گنبدی و دیوارهای بنای خشتی کلاف بندی شوند. برای این منظور در تقاطع دیوارها و همچنین در قسمتهای میانی آنها چوبهای عمودی شاخص کارگذارده می شود. ارتفاع چوبها تا غلت دور پوشش مرتفع انتخاب می شود سپس در چهار طرف عمل کلاف کشی انجام شده و به عضوهای عمودی میخ می گردد. حال اگر کلاف بندی مذکور با کشتهای کوچک تحت زاویه 45 درجه به یکدیگر وصل شوند اتصالات کاملتر خواهد بود. چنانچه کلاف بندی مذکور در قسمت های میانی نیز تکرار گردد، طاق کاملاً با اسکلت خشتی بنا درگیر می شود. استفاده از این شیوه در قدیم معمول بوده و در گنبد سلطانیه در سطح وسیع به کار رفته است.

دیوار پشت بند:

در بناهای خشتی و همچنین گلی مستحکم، ساختن دیوار پشت بند و یا پشت واره امریست معمول که اجرای آن به صورت قائم و یا مورب انجام می گردد. ساختن دیوارهای پشتواره همراه با رج چینی بنا به صورت رج به رج انجام می شود تا قفل و بست در اسکلت ب نا به وجود آید. این سرپایه ها بیشتر در محل تقاطع دیوار ساخته شده و معمولاً تقاطع آنها به صورت (+) میباشد، چنانچه پشتواره ها به این شکل ساخته شوند بنا را از هر طرف مقاوم ساخته و در دیوارهای پیش آمده متقاطع سبب افزایش مقاومت در مقابل نیروی رانشی زلزله خواهد شد.

یکپارچگی بناها:

اگر شکل بنا طوری باشد که فضاها به یکدیگر تکیه داشته باشند مجموعه فضاها همراه با دیوارهای ضخیم در مقابل زلزله مقاومت بیشتری خواهند داشت. از این رو در بناهای خشتی و گلین حاشیه کویر اجرای طاقهای تویزه در بین دو دیوار کوچه ها و گذرگاهها امریست بسیار اصولی که با کلاف کردن دیوارهای خارجی، حتی عبورگاههای اجتماعی را به یکدیگر کلاف کامل کرده تا مجموعه بناها هنگام زلزله مقاوم باشند.

مرمت بناهای خشتی:

در مرمت ابنیه خشتی تاریخی می بایست موارد فوق مورد توجه قرار گیرد.

مراجع:

۱- بررسی تحلیلی زمین لرزه ویرانگر بم با تأکید بر عملکرد ساختمانهای خشتی، دکتر حسن افشین، مرکز تحقیقات زلزله دانشگاه صنعتی سهند*، دکتر محمد رضا چناقلو، مرکز تحقیقات زلزله دانشگاه صنعتی سهند، مهندس داریوش حسینی، ۱۳۸۵

۲- افشین، حسن. "بررسی تحلیلی زمین لرزه 5 دی 82 بم"، مرکز تحقیقات زلزله دانشگاه صنعتی سهند، انتشارات شایسته تبریز، 1383

۳- تابش حسین. "استفاده از خاک در خانه سازی"، مرکز نشر دانشگاهی، 1366

۴- زمشیدی حسین. "معماری ایران اجرای ساختمان با مصالح سنتی". انتشارات آزاده. 1382

مدیریت پروژه های مقاوم سازی و مرمت

ایمان الیاسیان کارشناس ارشد سازه In.elvastian@gmail.com

چکیده

لزوم ارزیابی آسیب پذیری سازه ها بالاخص حساس و مقاوم سازی، سبک سازی و توجه به پدافند غیر عامل و ایمن سازی و بهسازی در برابر آتش و انفجار لزوم بکارگیری تکنیک و اراده راهکار مناسب، دست اندارکاران اجرایی برای بالا بردن کیفیت و کاهش هزینه و زمان اجرای پروژه های مقاوم سازی بایستی با مباحث مدیریت خصوصاً در حد کلان آشنایی داشته باشند، در این نوشتار با اشاره به روشهای مدیریت ساخت به ارائه راهکار مدیریت پروژه های مقاوم سازی می پردازیم.

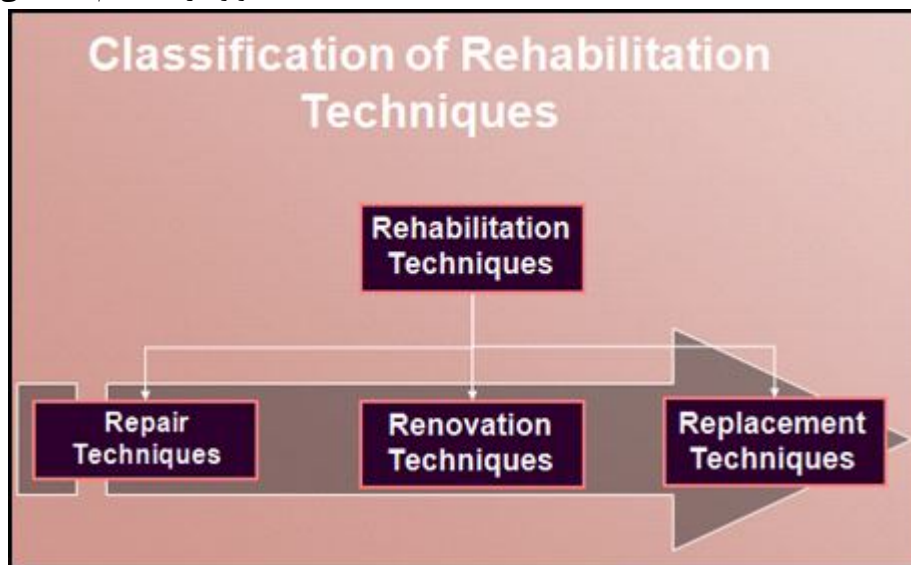
واژه های کلیدی: مقاوم سازی، مدیریت، بهسازی، آسیب پذیری ، ارزیابی کمی و کیفی ، سطح عملکرد، سطح خطر، خسارت زلزله

مقدمه

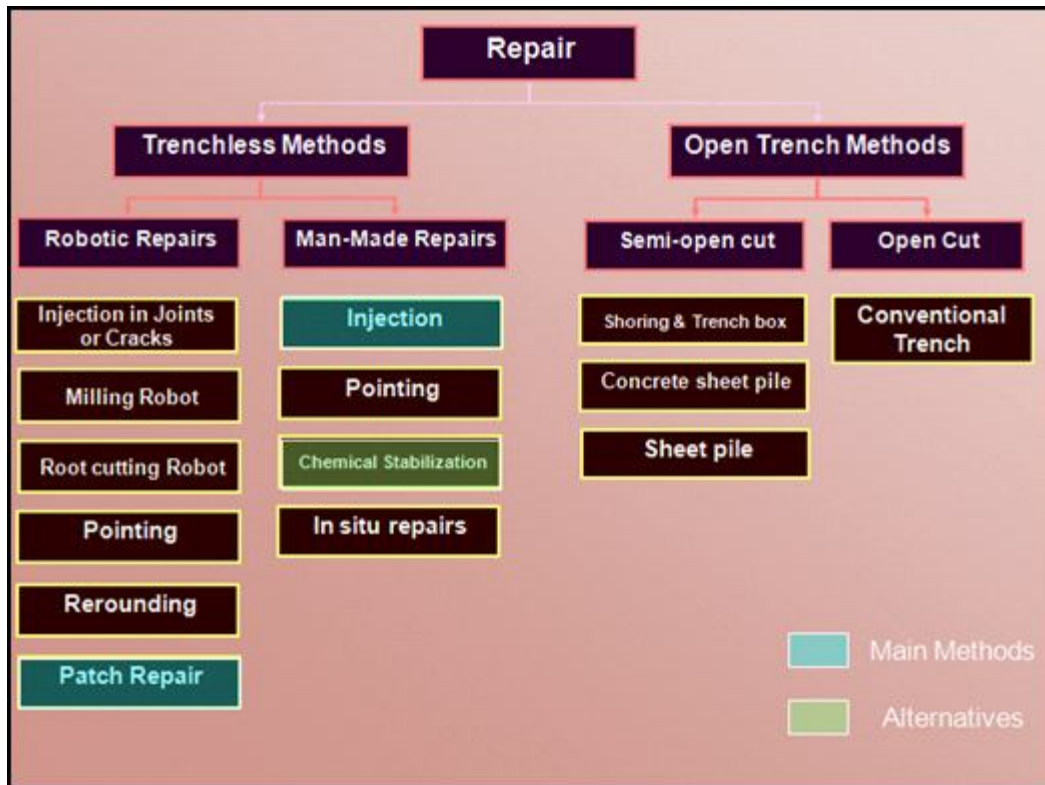
با توجه به لرزه خیز بودن کشور و توجه نخبگان سیاسی و علمی به لزوم مقاوم سازی و مرمت سازه ها و توجه خاص به شریانه های حیاتی و بحث های مدیریت بحران و پدافند غیرعامل آشنایی مهندسان مجری سازه و زلزله مقاوم سازی با بحث مدیریت پروژه مقاوم سازی حائز اهمیت است .

باتوجه به تعریف پروژه به مجموعه فعالیتها در محدوده زمانی مشخص برای رسیدن به هدف یکتا که نیازمند طرح ریزی می باشد و مدیریت آن یعنی بکارگیری دانش ، مهارتها ، ابزار و فنون برای دستیابی به نیازهای پروژه قبل از هر کاری بایستی پروژه مقاوم سازی را مثل سایر پروژه ها شناخت و با توجه به مبانی کلی پروژه شامل ۱- برنامه ریزی ۲- اداره کردن ۳- برقرار کردن ارتباط و موارد مدیریت پروژه شامل ۱- نیازمندیها ۲- اهداف قابل دسترسی ۳- ایجاد توازن در پارامترهای کیفیت اجرا ، زمان و هزینه ۴- هماهنگ کردن و توجه به تقدم و تأخر فعالیتها و برنامه ریزی با رویکرد رسیدن به هدف مشخص نمایم در نهایت برنامه مدیریتی خود را ارائه دهیم.

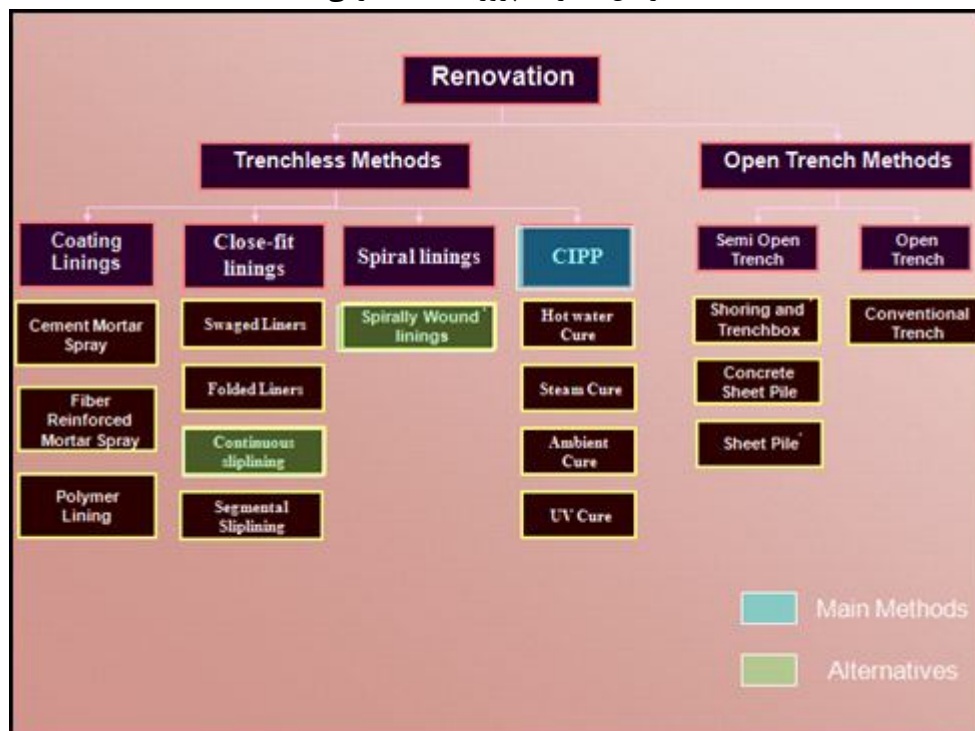
به طور کلی پروژه های مقاوم سازی رابه ۳ دسته ۱- تعمیر و نگهداری ۲- بازسازی (مرمت) ۳- جایگزینی و نوسازی تقسیم بندی می کنیم.



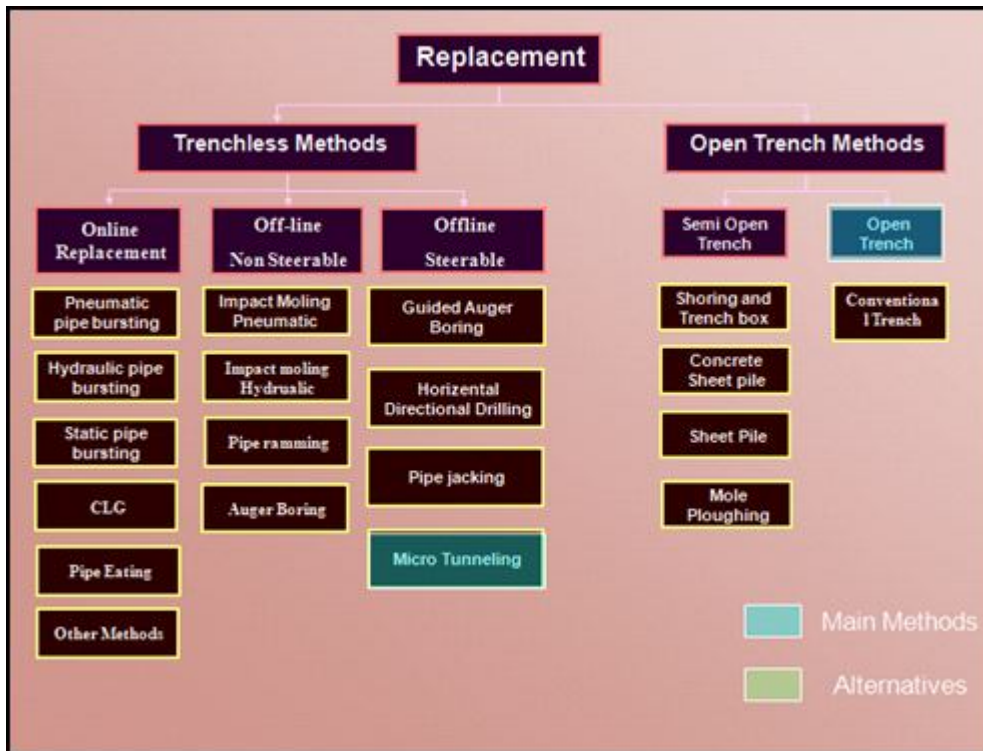
در دیگرآمهای بعدی مراحل هر زیر پروژه مقاوم سازی تعیین شده است



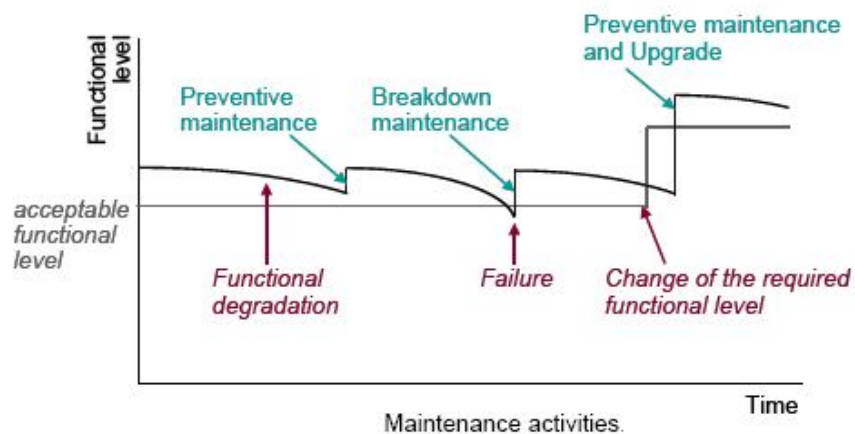
مراحل مدیریت پروژه های تعمیراتی



مراحل مدیریت پروژه های بازسازی و مرمت

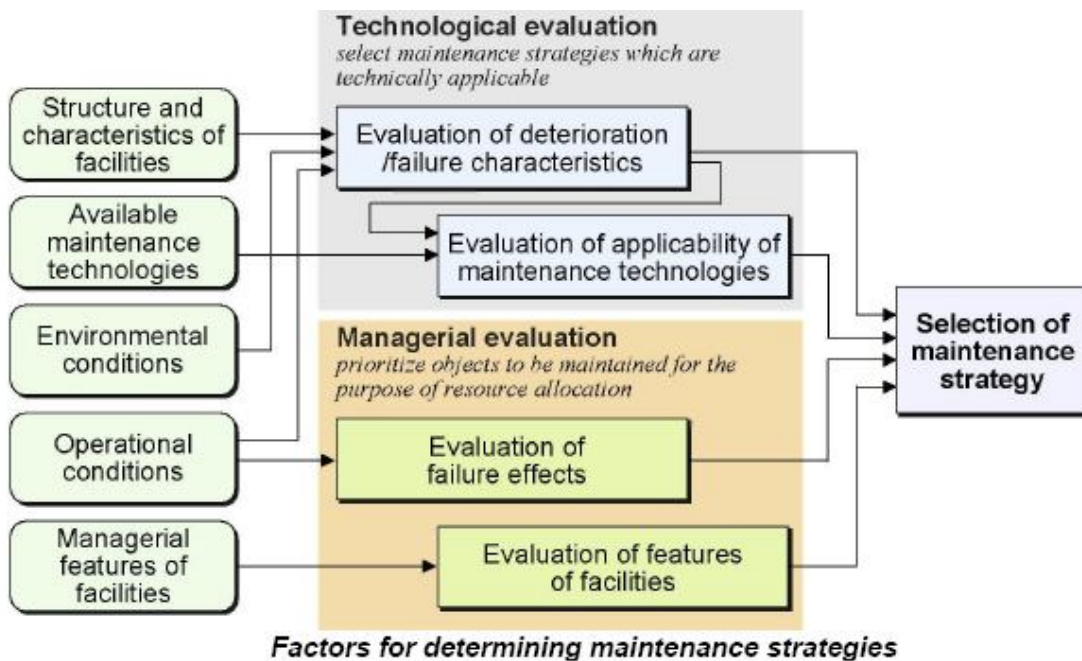


مراحل مدیریت پروژه های جایگزینی و نوسازی (ساخت مجدد)



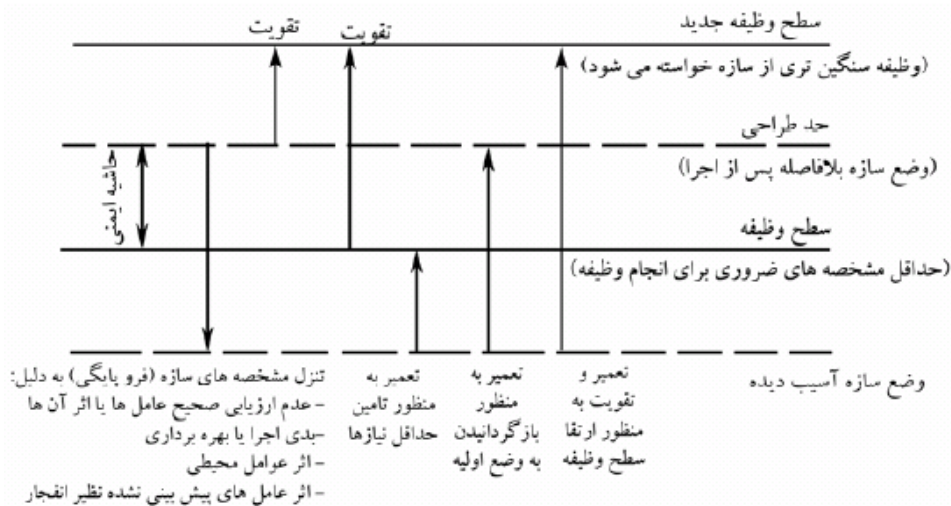
دیاگرام فعالیتهای تعمیراتی و سطح عملکردی قابل پذیرش

- طراحی تعمیر و نگهداری
- برنامه و طرح ریزی استراتژی و خط مشی تعمیر و نگهداری
- کنترل عملکردی تعمیرات
- ارزیابی نتایج تعمیراتی
- اصلاح و ارتقای روش تعمیراتی و بهره برداری یا تولید محصول
- طرح ریزی و کنترل روند اجرایی



فاکتورهای موثر در خط مشی تعمیر و نگهداری

- بررسی سازه و مشخصات تأسیسات
 - بررسی فناوریهای موجود تعمیراتی
 - در نظر گرفتن شرایط محیطی
 - در نظر گرفتن شرایط بهره برداری
 - رویکرد مدیریتی
 - ارزیابی جنبه های عملی و تأثیرات شکست و گسیختگی اجزا
 - ارزیابی زوال و مشخصات خرابی
 - ارزیابی تکنولوژی تعمیراتی امکانپذیر
 - درنهایت انتخاب خط مشی تعمیراتی
- به طور کلی در پروژه بایستی در موارد زیر تمرکز کرد
- ۱- هزینه ۲- کیفیت ۳- ایمنی ۴- عملکرد ۵- کانهای ارتباطی ۶- هماهنگی داده ها و اطلاعات
 - ۷- تأثیرات کار گروهی ۸- تأثیراتی نظارتی ۹- قابلیت اعتماد ۱۰- مدیریت پیمان ۱۱- برنامه آموزشی
- هرچه پروژه کلانتر باشد اهمیت و نقش مدیریت در آن پررنگ تر می شود
- #### نیاز به مقاوم سازی
- عدم ارزیابی صحیح بارها و سایر عوامل موثر بر ساختمان و یا اثرات آنها
 - بدی کیفیت مصالح مصرفی و یا بدی اجرا
 - اثر عوامل محیطی یا خوردگی
 - عاملهای پیش بینی نشده یا استثنایی نظیر انفجار



نمایش ترسیمی «سطح وظیفه»، لزوم و اثر تعمیر و تقویت

تعریف پروژه های کلان مقاوم سازی

- الف) وسعت زیاد پروژه و یا پراکندگی آن در کشور
- ب) وجود ساختمانها، شریانهای حیاتی و تأسیسات مختلف و متفاوت با کاربری های مختلف
- ج) وجود سطوح مختلف اهمیت از نظر موقعیت یا عملکرد و پارمترهای ایجاد کننده آسیب و خسارت
- د) هزینه بالای مطالعات
- ه) هزینه بالای آزمایشات
- و) احتیاج به زمان طولانی جهت انجام مطالعات آسیب پذیری و اجرای عملیات مقاوم سازی

مراحل پیشنهادی انجام یک پروژه کلان مقاوم سازی

- الف) شناخت کلی و اولیه از پروژه
- ب) اولویت بندی پروژه بر اساس موارد تأثیر گذار و معین کمی شامل
 - ارزش ریالی ساختمان یا تأسیسات
 - اهمیت ساختمان یا تأسیسات در ادامه کار مجموعه
 - قابلیت بازسازی سریع یا جایگزینی تأسیسات
 - تاثیر انجام مقاوم سازی بر کاهش اثرات نامطلوب زمین لرزه
 - تاثیر انجام مقاوم سازی بر کاهش خسارات جانی
 - سهولت و اجرایی بودن مقاوم سازی
 - میزان اثر تخریب در زمین لرزه بر ساختمانهای مجاور
 - پتانسیل گسترش خرابی در اثر آتش سوزی، انفجار و.....
 - هزینه مقاوم سازی به جایگزینی سازه
 - امکان فراهم کردن بودجه برای مقاوم سازی
- ج) تبیین اهداف بهسازی برای هر زیر مجموعه براساس سطح عملکرد مطلوب و سطح خطر پذیرفته شده
 - قابلیت استفاده بدون وقفه در عملیات
 - سیستم در حالت خاموش و در وضعیت ایمن
- د) تصمیم گیری علمی برای انتخاب زلزله های طراحی در دو سطح خطر
- ه) تعیین زیر پروژه ها
- و) تعیین هزینه تقریبی مراحل بعدی برای هر زیر پروژه

ز) تعیین چند زیر پروژه به عنوان پروژه های نسل اول

ح) تهیه شرح خدمات و فهرست بلند

ط) تهیه اسناد مناقصه بعدی

ی) شناسایی و انتخاب مشاور اصلی

مطالعه و ارزیابی آسیب پذیری

الف) انجام ارزیابی کیفی اولیه

ب) تحلیل خطر اولیه بدون انجام دادن عملیات ژئوتکنیک و بر پایه دانسته های قبلی

ج) ارائه فهرست آزمایشات لازم و تهیه اسناد مناقصه و شرح کار برای انتخاب پیمانکار

ه) ارائه فهرست آزمایشات غیر مخرب لازم برای اعضای سازه ای که باید سریع اعلام نتیجه شود.

و) ارزیابی کیفی نهایی

ز) ارزیابی کمی اولیه

هدف از انجام این مرحله شناخت مشکلات احتمالی در مدلسازی و انجام عملیات تحلیلی است تا این مشکلات به

موازات انجام آزمایشات حل شود و باعث طولانی شدن زمان پروژه نشود. لذا بر پایه نتایج تحلیل خطر اولیه و ارزیابی کیفی نهایی و پیش فرض کردن بعضی مجهولات معادلات حل میشوند.

ح) بررسی نتایج آزمایشات مقاومت مصالح، مطالعات ژئوتکنیک، ارزیابی های عینی و غیره

ط) انجام تحلیل خطر نهایی بر اساس نتایج آزمایشات

ی) انجام ارزیابی کمی نهایی

ک) تهیه اسناد مناقصه بهسازی

ارائه طرح بهسازی

الف) ارائه 2 روش قابل اجرا با توجه اقتصادی بر اساس نتایج ارزیابی کمی نهایی

ب) برآورد هزینه اجرا

ج) انتخاب گزینه برتر

د) انتخاب استراتژی عملیات بهسازی با تعیین اولویت اجرا

• اهمیت بهسازی یونیت انتخاب شده در عملکرد کلی تاسیسات

• نسبت هزینه بهسازی واحد انتخابی به هزینه کل بهسازی کل مجموعه

• میزان ریسک امکان برآورد اشتباه یا طرح بهسازی نامطلوب در اضافه شدن هزینه عملیات

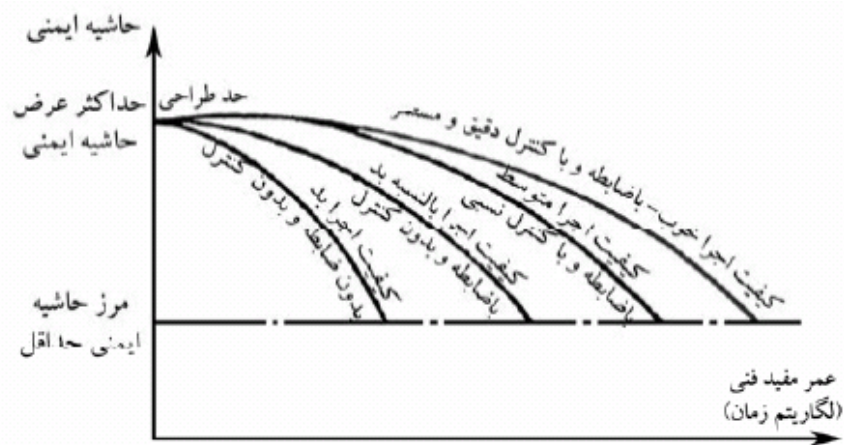
• امکان رسیدن سریع به تخمین واقعی تر از شرایط

ه) تهیه اسناد مناقصه همراه با مشخصات فنی کامل گزینه طراحی برتر

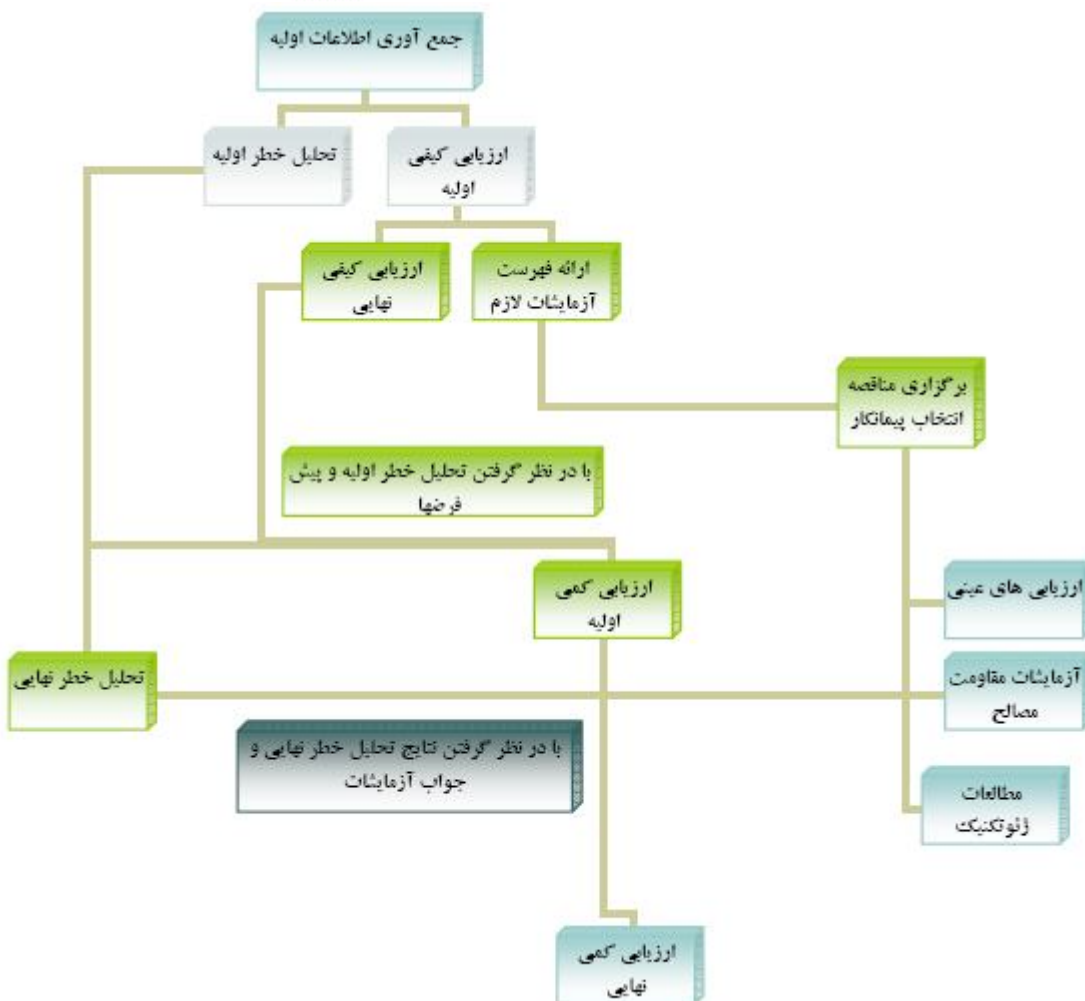
اجرای عملیات بهسازی در مقیاس محدود بر مبنای استراتژی مقاوم سازی

تصحیح تخمینهای صورت گرفته در مورد هزینه و نوع اجرای پروژه

تصحیح تخمینهای صورت گرفته در مورد هزینه و نوع اجرای پروژه



نمودار تقلیل ایمنی در طول زمان برای کیفیت های مختلف اجرا



عوامل موثر در انتخاب روش مقاوم سازی

عوامل متعددی در انتخاب تکنیک مقاوم سازی تأثیر دارند که در زیر به بخشی از آنها می پردازیم

Cost versus importance of

۱- ارزش سازه در مقابل اهمیت سازه

structures

Available workmanship

۲- نیروی انسانی موجود

Duration of work / disruption of use

۳- طول مدت اجرا یا زمان عدم استفاده

Fulfillment of the performance goals of تکمیل و تقویت براساس عملکرد موردنظر کارفرما
owner

۵- توجه به تناسب زیبا شناسی (معماری) و نقش سازه ای و تکمیل سازه موجود

Functionally and aesthetically compatible and complementary to the existing structures

Reversibility of intervention

۶- تداخل برگشت پذیری

Performance level of quality control

۷- کنترل کیفی سطح عملکرد

Political and historical

۸- اهمیت تاریخی و سیاسی سازه
significance

۹- سازگاری روش مقاوم سازی با سیستم سازه ای موجود

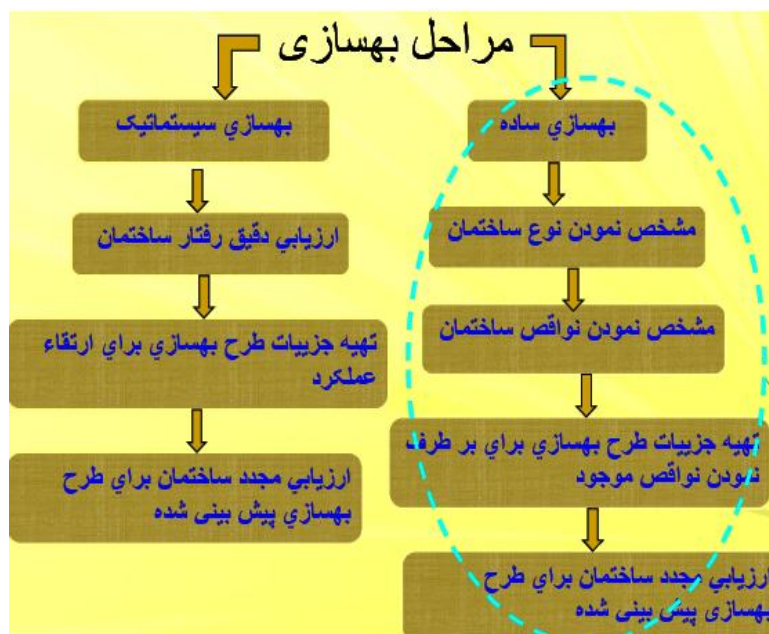
Structural compatibility with the existing structural system

Irregularity of stiffness strength and ductility ۱۰- نامنظمی در سختی، مقاومت و شکل پذیری

Controlled damage to non-structural components ۱۱- کنترل آسیب وارده به اجزای غیر سازه ای

Sufficient capacity of foundation system ۱۲- ظرفیت مناسب باربری سیستم فونداسیون

Repair materials and technology available ۱۳- مواد ترمیمی و روش موجود و ممکن مقاوم سازی



مراحل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود



راهبردهای مدیریتی درمقاوم سازی

- استفاده کردن ساختمان در هنگام مقاوم سازی
- تخلیه ساختمان تا زمان اتمام مقاوم سازی
- پذیرش خطر موجود و عدم مقاوم سازی
- تغییر کاربری ساختمان به منظور کاهش میزان خطر
- تخریب ساختمان موجود و احداث ساختمان جدید
- مقاوم سازی تدریجی در چندین سال
- تمرکز مقاوم سازی ها فقط در خارج یا داخل ساختمان

برخی از راهکارهای مقاوم سازی

- ۱- استفاده از بادبندهای هم محور یا برون محور فولادی Concentric or existence steel braces
- ۲- استفاده از کابلهای پس تنیده و استفاده از باز توزیع نیروها Post-tensioned cables
- ۳- استفاده از دیوار برشی Shear walls
- ۴- استفاده از میانقاب با مصالح بنایی Masonry infilled
- ۵- استفاده از جداگر های پایه و پی های لغزشی Base isolator
- ۶- استفاده از پوشش و غلاف فولادی Steel jacketing
- ۷- استفاده از ورقهای پوششی یا غلاف FRP FRP laminates or FRP wrapping
- ۸- استفاده از لایه پوشش بتنی با ملات مسلح (زره پوش بتنی)
- ۹- استفاده از میراگرهای اصطکاکی ، هیستریزیس و ویسکو الاستیک

Frictional-hysteretic and viscoelastic

۱۰- استفاده از روشهای ترکیبی فوق

dampers

۱۱- محدود نمودن در استفاده از سازه یا تغییر کاربری

۱۲- اصلاح کلی یا موضعی اعضای آسیب دیده و ندیده و در صورت امکان تبدیل اعضای غیر سازه ای به اعضای سازه ای

۱۳- اصلاح سیستم سازه ای به منظور افزایش سختی ، منظم کردن سازه در پلان و ارتفاع، حذف عضو آسیب پذیر و تغییر مناسب در پیوند طبیعی ساختمان

۱۴- سبک سازی و کاهش وزن ساختمان

۱۵- جابجایی کامل اعضای به شدت آسیب دیده یا اعضای نامناسب

۱۶- استفاده از مواد نانو ساختار و تکنولوژی نانو

۱۷- استفاده از بتنهای توانمند و مواد هوشمند

۱۸- استفاده از ژئو سنتتیکها

روشهای اجرا پروژه های مقاوم سازی

۱- روش امنی In-house

۲- روش متعارف Design-bid-build

تهیه و نصب

انعقاد پیمان بر اساس فهرست بها Unit Price Contract

دستمزدی

۳- روش طراحی و ساخت Design Build

۴- روش کلید در دست EPC/Turn Key

۵- روش EP

مهندسی و تدارکات (EP) Engineering Procurement

مهندسی، تدارکات و اجرا (EPC) Engineering Procurement Construction

مهندسی، تدارکات، ساخت و راه اندازی (EPCM)

Engineering Procurement Construction Commissioning

مهندسی، تدارکات، اجرا و مدیریت

Engineering Procurement Construction management

۶- روش ساخت، بهره برداری Build Operate

ساخت، بهره برداری و انتقال Build Operate Transfer

ساخت، بهره برداری و مالکیت Build Operate Own

ساخت، بهره برداری، مالکیت و انتقال Build Operate Transfer Own

احیا، بهره برداری و مالکیت Rehabilitation Operate own

احیا، بهره برداری و انتقال Rehabilitation Operate Transfer

طراحی ، ساخت، بهره برداری و نگهداری

Design Build Operate maintain

ساخت ، اجاره و بهره برداری Build Lease Operate

ساخت ، اجاره و انتقال Build Lease Transfer

توسعه ، بهره برداری و انتقال Develop Operate Transfer

۷- روش پیمان مدیریت Management contract

نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

روند مدیریتی پروژه های مقاوم سازی بالاخص کلان به ترتیب زیر می باشد.

الف (مرحله مقدماتی

ب) مطالعه و ارزیابی آسیب پذیری

ج) ارائه طرح بهسازی

د) اجرای طرح بهسازی محدود

ه) تصحیح اشتباهات گذشته در مورد هزینه ها و طرح مقاوم سازی

مراجع:

۱- آشنایی با مبانی دانش مدیریت پروژه براساس استاندارد 2004: PMBOOK

۲- آشنایی با سیستم مدیریت کیفیت ISO9001:2000

3-Massachusetts Institute of Technology Open course lecture notes about construction management

4-A guide to the project management body of knowledge (PM Book Guide), Project management institute, Global standard, Forth Edition, 2008

۵- سید حمید رضا رضوی ، جواد وحیدی ، محمئ خراسانی ، سید عماد حسینی ، اصول سرپرستی ، پاییز

۱۳۸۵

۶- احمد علی یزدان پناه، برنامه ریزی و کنترل پروژه (مفاهیم و روشها)، دانشگاه تهران ۱۳۸۴

7-Construction Extension to a guide to the project management body of knowledge PM book Guide-2000 Edition

۸- فریبرز ناطقی الهی، علی فروغی، مدیریت و روند اجرای پروژه های کلان مقاوم سازی، اولین همایش بین

المللی مقاوم سازی لرزه ای دانشگاه صنعتی امیرکبیر اردیبهشت ماه ۱۳۸۵

۹- ایمان الیاسیان، مدیریت ساخت و کنترل پروژه، انجمن مقاوم سازی ایران ۱۳۸۹

۱۰- ایمان الیاسیان، حسین میسمی " تکنیکهای مقاوم سازی و بهسازی سازه ها" انجمن مقاوم سازی ایران

۱۱- ایمان الیاسیان، راهکارهای مقاوم سازی سازه های بتن آرمه، سایت مرکز عمران ایران

۱۲- مجید سبزه پرور، " کنترل پروژه " انتشارات ترمه ۱۳۸۶

۱۳- شاپور طاحونی " پیش نویس روشهای بهسازی لرزه ای سازه های موجود و جزئیات اجرایی " ۱۳۸۹

14-www.iransaze.com

۱۵- ایمان الیاسیان " کاربرد نانو در مهندسی " انجمن مقاوم سازی ایران، ۱۳۸۹

۱۶- علی صدر ممتازی ، میر علی محمد میرگذار لنگرودی ، سعید ابوالقاسمی ، مینا صدر ممتازی ، سیده

صدیقه میرگذار لنگرودی " اهمیت ولزوم مقاوم سازی بناها در برابر زلزله "

۱۷- بهرخ هاشمی حسینی " پیش نویس آیین نامه بهسازی لرزه ای سازه های فولادی " پژوهشگاه زلزله

شناسی و مهندسی زلزله

سازه های مصالح بنایی و سنتی بازرسی و مرمت

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه Iman.elvasian@gmail.com

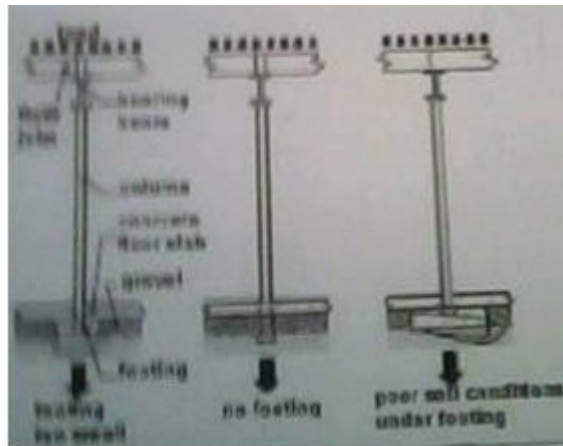
معمولاً اجزای سازه ای قدیمی چوبی بوده و در برابر ۴ مسأله ضعف اساسی دارند ۱- تغییر شکل و تابیدگی

۲- حمله حشرات و موجودات موزی ۳- آتش گرفتن ۴- گسیختگی اتصال بدون اعلام مناسب قبلی

تغییر شکل و تابیدگی

- کمبود مقاومت تیرها و تیرچه های روی دیوار فونداسیون
- شکم دادن، شیب داشتن کفها

- شکم دادن کف نزدیک بازشو راه پله
- شکم دادن کف زیر درب
- ترک خوردگی در دیوارهای داخلی مجاور بازشوها
- شکم دادن در بامهای شیروانی و شیبدار
- گسیختگی چوب چند لایه مقاوم و به معوق کننده آتش
- تغییر شکل بامها



برخی از دلایل نشست ستون (عدم وجود شالوده، خاک ضعیف زیرفونداسیون و ...)

حمله حشرات و موجودات موذی

چک کردن اجزای چوبی خارج از ساختمان

در جاهایی که چوب با زمین تماس دارد در مجاورت حصارها، سکوها و شبکه های چوبی قابلهای چوبی در مجاورت پاسو و دال قابها و درزهای اطراف زیرزمین و دست انداز پنجره ونعل درگاهی چوب اطراف بام و زهکشهای باران ، جاههای آب وزمی «های جمن مرطوب در طول دوره زمانی آب پاشی

چک کردن اجزای چوبی داخل ساختمان

فضاهای اطراف یا درون دیوارهای فونداسیون ،سقفها ، ستونها یا لوله ها چک گردند صفحات اتصال که روی دیوار فونداسیون وتیرچه ها و تیرهارا می پوشانند با سطح تماس آنها کنترل گردند

دیوارهای جداکننده زیر زمین با قابلهای چوبی

تخته های عریض در دال هر طبقه

کفهای فرعی زیر تیرچه های فضای آشپزخانه، حما و لباسشویی و به طور کلی اماکنی در معرض رطوبت قراردارند

ورقه های سقف و قابلهای اطراف دودکشها ، مجاری هوا و بازشوها

چوب در معرض آتش ابتدا قهوه ای، سپس مشکی رنگ شده و به طور یکنواخت آتش می گیرد

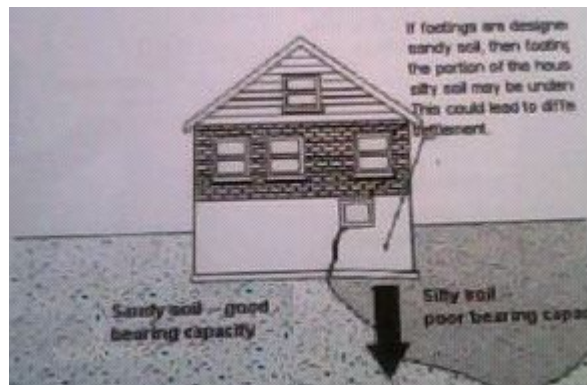
گسیختگی اتصالات بدون هشدار مناسب چوب بر اثر آتش آسیب دیده



چوب آسیب دیده بر اثر آتش

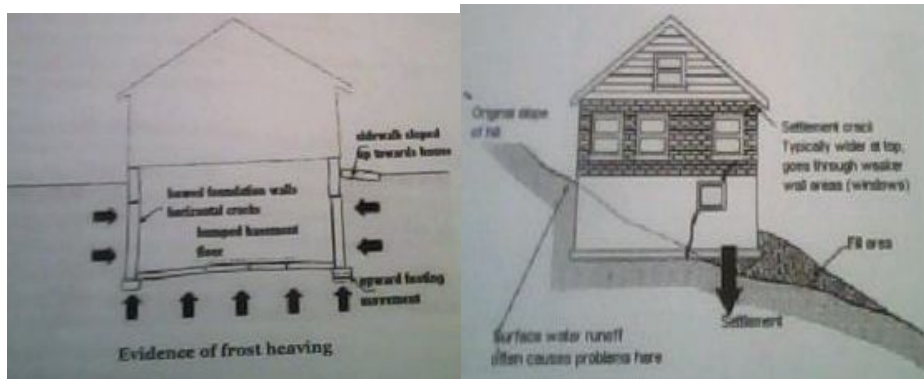
مسائل مربوط به نشستهای مختلف شالوده

- تراکم خاک زیر شالوده صورت گیرد
- افت و انقباض خاک بخاطر رطوبت اطراف درختان و . . .
- باد کردگی و تورم خاک در اثر سطح بلوک شده و نامناسب و عدم زهکشی
- تنش و رانش به سمت بالای خاک بخاطر یخ زدگی و یا گسترش نفوذ ریشه گیاهان
- خاکهای دانه ای شکل دارای لغزش به سمت پایین در اطراف شالوده و خاکهای چسبنده و رسی دارای افت در وسط فونداسیون
- تغییر در سطح سفره آب زیر زمینی
- سایش خاک اطراف شالوده ها و سطح زهکشی ضعیف بر اثر تغییرات سطح آب زیر زمینی و کماتش متعاقب و جابجایی فونداسیون
- تراکم خاک یا جابجایی آن در اثر ارتعاش تجهیزات سنگین ، ترافیک یا انفجار و زلزله یا جنبش زمین



نشست متفاوت به دلیل جنس خاک متغیر و مختلف

نشستهای جزئی تدریجی در طول مدت زمان زیادی منجر به ترک خوردگی بویژه دیوارهای مصالح بنایی (خشتی) و آجری بویه مرتفع بر اثر تغییر شکلهای الاستیک می گردند و نشستهای سریع آنی منجر به ترکهای متغیر می گردند که در یک انتها عریض تر و در انتهای دیگر به اندازه یک تار مور کوچک می گردند



نشست ساختمان بخاطر خاکبرداری و خاکریزی مجدد (ضعف خاک دست خورده) و شکم دادن کف

در اثر یخ زدگی

- ✓ نشست یا دوران فونداسیون
- ✓ یخ زدگی پی یا شالوده
- ✓ زوال فیزیکی در اثر رطوبت، ضعف ساخت، تنش بیش از حد
- ✓ کمبود مقاومت تیرها، نیرچه ها و کفها



آرماتورها و سایر قطعات مدفون در بتن دچار خوردگی ناشی از نفوذ اسید کربنیک، سولفوریک، نیتریک و هیدرولیک آب محیطی می گردند و تیرها و ستونها بخصوص در محل اتصال بایستی چک در برابر خوردگی شوند و تأثیرات آتش بر روی فولاد سازه ای و کامپوزیتها بررسی شود.

دودکشها

نشست تفاضلی و جزئی دودکشها به عنوان بخشی از یک دیوار خارجی چک گردد
 زوال مصالح بنایی و سنتی بخصوص در معرض سیکلهای تر و خشک شدن متوالی و لایه ملات با ضخامت متغیر و امکان شسته شدن سیمان ملات چک گردد
 پوشش دودکش خصوصاً در معرض باد و عبور گازهای داخلی (دود) چک گردد.

بازرسی عمومی مصالح بنایی

۱- ترک خوردگی ۲- کمانش ۳- پکیدگی ۴- جارو شدن و ... و سایر معضلات مصالح بنایی
 یک دیوار مصالح بنایی احتمالاً در اثر تغییرات درجه حرارت یا رطوبت متسع شده و ترک می خورد با
 پایش این گونه ترکهای فعال در طول یک دوره مشخص ، آنها را با درزبند یا چسبهای انعطاف پذیر
 پر کرده و غیر فعال می نماییم.

سوراخهای ایجاد شده در قطعات مصالح بنایی بایستی با ملات کافی پر شوند و تست چکش اشمیت چسبندگی ملات به مصالح بنایی را تعیین می کند

ترک خوردگی مصالح بنایی

مصالح بایی در اثر تغییر شکل الاستیک درازمدت به دلیل جابجایی ، ترک خوردگی در طول محل چسبندگی ملات یا واحد مصالح بنایی (آجر یا بلوک) ایجاد می شود که این ترک خوردگی مشکلات عدیده از جمله نشست تفاضلی فونداسیون، افت و انقباض در اثر از دست دادن رطوبت ، انبساط و انقباض در اثر تغییرات رطوبت، خلل وفرج نامناسب در بازشوها، تأثیرات خوردگی آرماتور ، جابجایی جزئی مصالح ساختمانی و . . . می گردد معمولاً ترکهای کهنه و کثیف پر شده غیرفعال هستند اما یک ترک تازه به عرض نیم اینچ نشانه جابجایی کوچک می باشد ترکهای سیکلی که در اثر تنبساط و انقباض حرارتی ایجاد می شوند ربا یک ماده چسبناک انعطاف پذیر پرکنیم و استفاده از ملات مجدد در محل ترک منجر به ترک خوردگی بیشتر و مضاعف می گردد.

زوال ملات

تأثیر نفوذ رطوبت و یخ زدگی متعاقب

ملاتها معمولاً وظیفه چسباندن مصالح بنایی به یکدیگر را برعهده دارند و ترک خوردگی تصادفی نشانه ضعف در ساخت ملات می باشد. در مناطقی که رطوبت بیش از حد در اثر نشت یا پایین بودن نقطه شبنم وجود دارد مثل پایین پنجره ها یا بالای دیوارها ، جریان آب منجر به زوال می گردد

زوال واحد مصالح بنایی آجر

پکیدگی ، گرد شدن یا پوسته شدن واحد مصالح بنایی آجر در اثر عوامل مخرب شیمیایی یا مکانیکی، نفوذ رطوبت و یخ زدگی رخ می دهد که با زوال و پکیدگی لایه های خارجی آجرها جلوی پوسیدگی لایه های داخلی آن گرفته می شود و با پوششهای ضد رطوبت و تزریق آنها می توان جلوی این پوسیدگی و زوال را تا حدی گرفت.

اجزای سازه ای بتنی

- بتن مصالح ساختمانی است که در هر جای سازه کاربرد دارد و بازرسی های زیر را دارد
- ترکهای گوشه ها یا در بازشوها در فونداسیون با زیر دیوارهای بتنی در اثر خشک شدن رطوبت و افت و انقباض بتن ایجاد می گردد و در طول عمر ساختمان ظاهر می شوند که ترکهای کوچک را با ملات پرمیکنند و ترکهای بزرگتر و اصلی را با گروت اپوکسی مرمت می کنند.
 - ترکهای دالهای داخلی در اثر افت و انقباض بتن یا نشست زیر دال در اثر باد کردگی و تورم خاک یا تغییر سطح آب زیر زمینی به دلیل از بین رفتن زهکشی که به ندرت هم اتفاق می افتد برای ساختمان از نظر عملکرد سازه ای بسیار مضر می باشد.
 - ترمهای عناصر بتنی خارجی معمولاً در اثر یخ زدگی و پوسیدگی ریشه درختان، نشست یا ترکیب عوامل روی می دهد که این زوال نه چندان جدی را می توان با پر کردن بوسیله ملات انعطاف پذیر اصلاح کرد.
 - آسیب و خسارت آتش به اجزای سازه ای بتنی که منجر می شود بتن بخشی از مقاومت فشاری خود را زمانی که درجه حرارت آن بالاتر از ۲۹۰ درجه سانتیگراد می رود از دست می دهد، رقبالی برگشت و جبران است ، ترکهای سطحی ایجاد شده در اثر افزایش درجه حرارت را می توان با تزریق گروت اپوکسی پر کرد و سطح بتن را بارنگهای مقاوم در برابر آتش پوشاند.
- آزمایش نفوذ ویندسور و چکش اشمیت برای بتن سخت شده می توان انجام داد.

بازرسی دیوارهای مصالح بنایی (سنگی ، آجری یا بلوک بتنی)

- ترک خوردگی در دیوارهای آجری در اثر تغییرات درجه حرارت و رطوبت رخ می دهد

- بستگی به پیکربندی و موقعیت قرارگیری بازشوها الگوهای ترک خوردگی متفاوت و ایجاد تنش می کنند

- توجه به ترکهای افقی و مورب بین دیوار فوقانی و زیرین

- توجه به ترکهای قائم در انتهای دیوارها در اثر تبادل حرارتی و چسبندگی ضعیف ملات

- ترک اطراف جرزهای پر شده با ملات در سنگها در اثر تبادل حرارتی و رطوبتی

- ترک دیوار آجری مربوط به سیکلهای تروخشک شدن و خوردگی فلزات مدفون منجر به تخلیه یا بازتوزیع تنش

• ترکهای اطراف دودکشها در اثر نفوذ آب روی می دهد

• توجه به ترکهای اطراف آهن آلات و آرماتورها در اثر خوردگی و زنگ زدگی یا پوسیدگی آنها

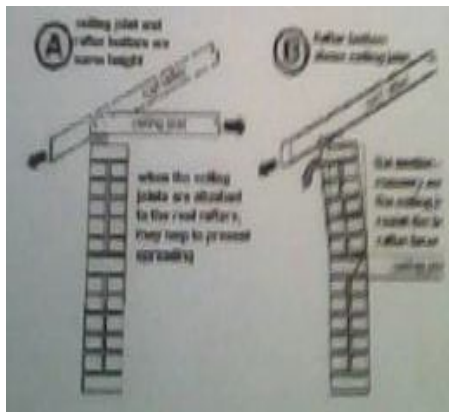
• توجه له ترکهای اطراف بازشوها

• توجه به ترکها در اثر اضافه بار بیش از حد

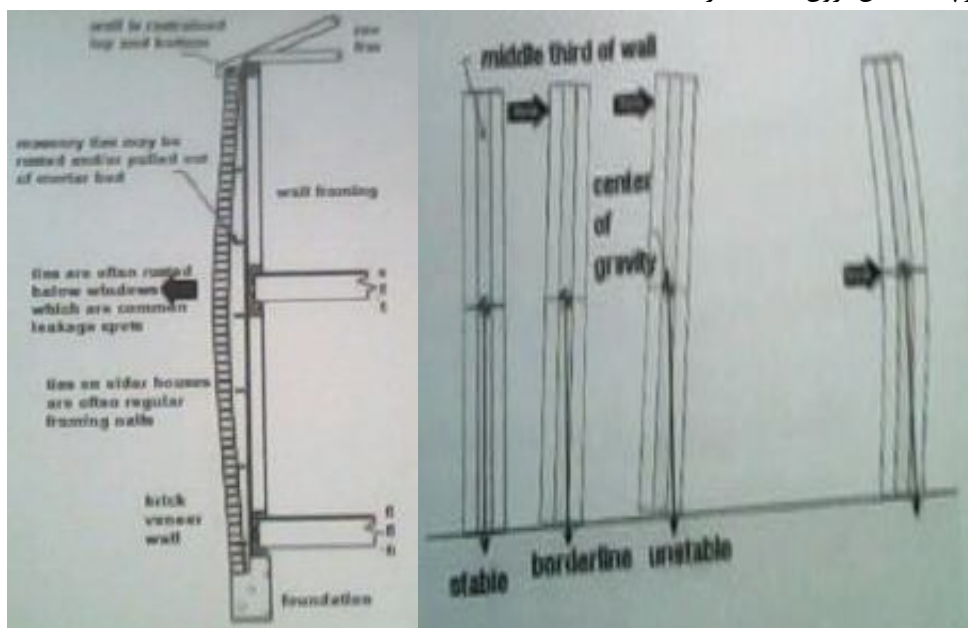
• توجه به ترکها در اثر زمین

• مشکلات مربوط به دیوارهای آجری و

• خسارات و آسیبها در اثر آتش گرفتن دیوارهای مصالح بنایی آجری



علی رغم ار دست دادن ملات و مصالح بنایی این قوس هره های آجری خود را حفظ کرده است دیوار متصل به تیرچه کمانش برون صفحه کرده است



کمانش برون صفحه ، دوران و لغزش دیوار آجری

دیوار آجری کمانش کرده



فرو ریختن دیوار آجری در اثر نشست (دیوار و شناژ آن بایستی مجدد ساخته شود) - جان پناه زائل شده دیوار زیاد جابجا نشده و قابل تعمیر است.

مراحل بهسازی سازه های تاریخی

- ۱- بررسی نوع ساختمان و نحوه احداث
- ۲- بررسی شرایط فعلی ساختمان
- ۳- جمع کردن مجموعه ای از عوامل انسانی و محیطی
- ۴- جمع آوری اسناد و مدارک
- ۵- ارزیابی اماکن و نقاط حساس و مهم ساختمان
- ۶- دستیابی به شرایط مناسب ساختمان از لحاظ ریسکسمخاطرات
- ۷- ارزیابی ساختمان با آیین نامه های موجود و مباحث نظام مهندسی و سازمان مدیریت
- ۸- توسعه و تعمیر یک پلان مقاوم سازی شده از نظر قیمت و هزینه تمام شده، موقعیت، ارزیابی لرزه ای و بررسی راهکارهای مقاوم سازی



آماده سازی تعمیر و نگهداری

- چک کردن بامها، گاترها (مجاری آب باران) و فونداسیونها برای معضلات رطوبت. انجام تعمیرات و نگهداری سطوح رنگ شده در یک شرایط مناسب
- بازرسی و نگهداری اعضای سازه ای چوبی آسیب دیده بر اثر حشرات و پوسیدگی و چک کردن و اطمینان از اتصال مناسب و عدم فرو ریزش به صورت ناگهانی و انفاقی
- چک کردن مصالح بنایی در برابر زوال ملات و بررسی سازگاری و سنخیت ملاتهای کهنه با مصالح نوین و کامپوزیتها

- تماس با شرکتهای تأسیساتی برای بررسی اتصالات گازو خط آب و استفاده از شیرهای خودکار قطع جریان و مهار نمودن تانکهای حاوی مواد محترقه و آبرگمکنها و دیگهای حرارتی
- جمع آوری مواد اضطراری تکمیلی برای اندازه گیری کاهش مخاطرات به عنوان مثال چسباندن درب کابینتها با چفتهای مخصوص و جلوگیری از باز شدن سریع آنها و مهارهای برای کمدهای نگهداری کتاب و شیرها و کیسولهای آتش نشانی

اندازه گیرهای مرسوم واصلی

- قابهای چوبی رایج صفحه فونداسیون متصل نموده و از سخت کننده های ورق چند لایه در بین قاب دیوار اطراف ساختمان استفاده شود و آرماتورهای و شبکه نگهداری پشت دکرسیون استفاده شود.
- کفهای تقویت شده و اتصالات قابهای سقف را با آویزها و تسمه های فولادی انجام داده و پیچها و دیگر بستهای مکانیکی و اتسال تیرها و شمیری راه پله به ستونها به نحو احسن انجام شود.
- سیستمهای سازه ای چوبی را با اضافه کردن یا چور کردن اعضای بادبندی موجود و عدم استفاده از فلزلت غیر فرو در جایگزینی مناسب با دیوارهای مصالح بنایی
- دودکشها و بالکنها و اتصال عناصر نامطمئن دکرسیون به المانهای سازه ای تقویت شود بعضی اوقات بتن روی تیر مصالح بنایی و سنتی اضافه و جسیبانه می شود.
- ودیافرگمها وورقهای سقفی به دیوارهای سازه ای به طور مناسب نصب گردند.
- عدم استفاده از پیچهای زنگ زده و ورقهای فلزی در معرض پوسده شده در بین دیوارهای مصالح بنایی
- طراحی حساس سیستم تقویت شده با بادبند و مشاهده دیوارهای کناری و تجاری در سازه هیا صنعتی



استفاده از بادبند قطری داخلی برای میرایی نیروهیا زلزله در یک قاب داخلی ساختمان مصالح بنایی

- بازرسی و ارتقای همه اتصالات جانبی و دیا فرگمها
- تقویت دیوارها و بازشوههای بزرگ برای افزایش مقاومت در برابر تنشهای برشی در محل درها، پنجره ها و . . . استفاده از بادبندهای X و K برای استفاده در قابهای خمشی که بادبندها در بازشوههای بزرگ مخفی می کند و از شمای کلی محافظت می کند
- تقویت دیوارهای مصالح بنایی با ستونهای جدید بتنی یا سیستم پوششی الیافی و از شاتکریت سنگین دیوار با بتن یا پاشش FRP در مورد سازه های تاریخی جداً خودداری شود به دلیل از بین رفتن جزییات معماری

- برای اجرای دیوارهای برشی به طور انتخابی برای انتقال بار از سقف به فونداسیون موقعیت یابی نمایید و بهتر است این گونه دیوارها در پشت دیوارهای تاریخی قرار گیرند و فضای بین آندو نیز با مش آرماتور تقویت گردد
- از گروت به عنوان یک ماده تعمیری متناسب با ملات خارجی استفاده شود و توجه به بافت ملات، رنگ، ضخامت و عرض آنها گردد
- سازه های قدیمی شکلی بررسی گردند و گوشه های آنها با اتصالات بجای پر کردن بازشوها تقویت گردد و پیکر بندی جایگزین کیفیت خشارت به معماری را به طور عمدہ کاهش می دهد



استفاده از تکنولوژی ویژه یک جداگر لرزه ای نوین اعضای سازه ای و فونداسیون را در برابر جابجاییهای افقی حفظ می کند و نیروهای زلزله را جذب می کند

مقاوم نمودن سازه های مصالح بنایی و چوبی در برابر باد و زلزله



تأثیر باد بر سازه چوبی

- ساختمانها با قابهای چوبی به طور فیزیکی به سایر اجزای ساختمان متصل نیستند و در برابر لغزش و یا جابجایی افقی آسیب پذیر هستند.
- قابهای ساختمانهای چوبی بر روی زمین مستقیماً سوار شده و یا با پایکهای سنگی و مصالح بنایی یا یتنی به صورت یک شمعک کوتاه عمل می نمایند که این گونه سازه ها را در برابر واژگونی بسیار آسیب پذیر می نماید.
- ساختمانهای مصالح بنایی یا بدون آرماتور یا آرماتور کافی بسیار آسیب پذیر و دچار فروریختگی جزئی می گردند که به دلیل عدم گیرداری کافی سقف آنها و کفها به دیوارهایی باشد که با

پیروی از دستورالعمل آیین نامه های بهسازی در مورد ساختمانهای مصالح بنایی غیر مسلح می توان آنها را تقویت نمود

- قابهای چوبی و ساختمانهای مصالح بنایی غیر مسلح بیش از یک طبقه بسار آسیب پذیر در برابر فروریختن هستند.
- قابهای چوبی و مصالح بنایی ساخته شده روی تپه و در شیب دامنه ها آسیب پذیر در برابر لغزش هستند.

مراجع:

1-www.Oldhouseweb.com

2- FEMA 273,274 , ATC43

3- Uniform Code for Building Conservation.

۴- ایمان الیاسیان، حسین میسمی تکنیکهای مقاوم سازی و بهسازی، ۱۳۸۹

۵- مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان " طرح و اجرای ساختمانهای با مصالح بنایی" دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ۱۳۸۴

۶- دستورالعمل تحلیل آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای ساختمانهای بنایی یر مسلح موجود، وزارت مسکن و شهرسازی ، معاونت امور مسکن و ساختمان ، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ۱۳۸۵

۷- فرییز ناطقی الهی، شهریار طاووسی تفرشی" طراحی و ساخت ساختمانهای چوبی مقاوم در برابر زلزله" انتشارات دیپارگران تهران ، ۱۳۸۱

پهنه ایران از مناطق لرزه خیز جهان بوده و شاهد آن زلزله های متعددی می باشد که هر از چند گاه این خطه عزیز و تاریخی را در هم کوبیده است . در دهه های اخیر زلزله های قدرتمندی همچون بوئین زهرا ، طبس ، رودبار – منجیل ، بجنورد ، قزوین و بم کشور پهانور ایران را مورد تهاجم قرار داده و حاصل آن کشته و زخمی شدن تعداد زیادی از هموطنان و همچنین تخریب بسیاری از مستحذات دولتی و غیر دولتی بوده است . در رابطه با مرگ و میر آمارهای جهانی نیز تأییدی بر این روال داشته و نشان می دهد که به طور متوسط در هر هفته ۱۳۰۰ نفر بر اثر حوادث طبیعی کشته می شوند که ۹۸٪ این رقم مربوط به کشورهای در حال توسعه می باشد. تحلیل گزارشات حوادث طبیعی داخلی و جهانی ، به خصوص در امر زلزله نشان می دهد که نحوه تعامل و حل بحران ها با سطح توسعه یافتگی و وجود زیر ساخت های یک کشور رابطه مستقیم دارد . این موضوع بدین معنی است که هرچه سرمایه گذاری بیشتری برای توسعه و بهبود زیر ساخت ها و مستحذات یک کشور صورت پذیرد ، تبعات منفی حوادث و سوانح به خصوص زلزله به حداقل می رسد .

از آنجایی که اثر مستقیم خسارات زلزله در وهله اول به صورت خسارات فیزیکی و کالبدی رخنمود پیدا می کند ، مسلماً نقش مقاومت و عملکرد سازه ها در کاهش یا افزایش این شاخص نقش کلیدی پیدا می کند . همان گونه که روند توسعه یافتگی و رابطه ان با خسارات فیزیکی نشان داده است، استفاده از مصالح نوین و مقاوم در کاهش اثرات مستقیم خسارات فیزیکی نقش اساسی از خود ایفا می کند . ولیکن از آنجایی که کشور ایران با توجه به ساختار فرهنگی و مشکلات توسعه یافتگی هنوز نتوانسته است از مصالح جایگزین به صورت کامل در سطح شهرها و روستاهای خود بهره مند شود و مهم تر از آن به دلایل اقلیمی ، مصالح بنایی جایگاه بسیار ویژه در صنعت ساخت و ساز کشور دارد و به دلایل گوناگون تصور می رود که همواره این مصالح جایگاه خود را در قالب های مختلف حفظ نماید .

رفتار لرزه ای ساختمان های بنایی

۲-۱- تاریخچه ساخت ساختمان های بنایی

مصالح بنایی از زمان های بسیار قدیم در ساخت و ساز ساختمان ها به کار می رفته است . با وجود توسعه استفاده از مصالح پیشرفته تری چون بتن مسلح و فولاد ، ساختمان های با مصالح بنایی هنوز شمار بسیاری از ساختمان های مسکونی و عمومی را در جهان شامل می شود .

مقررات اجرایی ، مصالح مختلف ، تکنولوژی و فنون عملی متفاوت در کشورهای مختلف و در دوران های مختلف ساختمان سازی ، یک محدوده وسیعی از انواع ساختمان های بنایی را در جهان به وجود آورده است . این اختلاف به دلایل متفاوتی از قبیل مصالحی که در ساختمان سازی به کار می رود (سنگ ، خشت ، آجر ، بلوک های سفالی) ، محل ساختمان سازی (شهری ، روستایی) ، زمان ساختمان سازی (زمان قبل از جنگ جهانی اول در اروپا ، زمان بین دو جنگ ، زمان بعد از جنگ دوم و زمان بعد از تحقق مقررات طراحی لرزه ای) ، کاربری ساختمان ها (مسکونی ، عمومی) و سیستم سازه ای می باشد .

۱-۳-۳ دسته بندی ساختمان های بنایی

طبق آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله ، استاندارد ۲۸۰۰ ، ساختمان با مصالح بنایی به ساختمانی اطلاق می گردد که با آجر ، بلوک سیمانی و یا سنگ ساخته شده باشد و در آن تمام یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی تحمل گردد . بنابراین ساختمانی که در آن ، قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی محسوب می گردد .

عموماً ساختمان های بنایی بسته به نوع مصالحی که در آنها به کار رفته است انواع مختلفی دارند : سنگی ، خشتی ، آجری ، ساخته شده از بلوک های سفالی یا بتنی . این تقسیم بندی تا حدی تابع محل ساختمان سازی است . همچنین با توجه به زمان ساختمان سازی و کاربری آن می تواند به سیستم های سازه ای زیر دسته بندی گردند .

۱-۳-۱-۱ ساختمان های بنایی غیر مسلح

این نوع معمول ترین و قدیمی ترین نوع ساختمان در کشور و سایر نقاط جهان است که با توجه به کیفیت مصالح و اجرا ، خود به دو دسته شهری و روستایی تقسیم می گردد . مصالح عمده ای که در ساختمان های بنایی غیر مسلح در روستا مصرف می شود خشت خام یا سنگ های رودخانه ای یا شکسته شدن از معادن می باشد که با ملات گل در ساخت دیوارها به کار می رود . در ساختمان های شهری دیوارها از آجر فشاری یا بلوک های سفالی یا بتنی همراه با ملات ماسه سیمان ، و سقف ها از تیرآهن و طاق ضربی یا تیجه بلوک و گاهی نیز چوب بنا می شود .

۱-۳-۱-۲ ساختمان های بنایی کلاف دار

در این دسته از ساختمان های بنایی برای بهبود رفتار در مقابل زمین لرزه از اجزای بتنی ، فولادی و یا چوبی به صورت کلاف های افقی یا قائم در میان دیوار استفاده می شود که موجب افزایش نسبی مقاومت دیوار می گردد . استفاده از این نوع ساختمان در آیین نامه های طرح لرزه ای برای مناطق لرزه خیز مورد تأکید است .

۱-۳-۱-۳ ساختمان های بنایی مسلح

در این ساختمان ها برای مقابله با حالت های محتمل شکست (خمشی و برشی) در دیوارها از عناصر تسلیح استفاده می شود . تعبیه کلاف های فوقانی و تحتانی به تنهایی برای جلوگیری از شکست خمشی و برشی کافی نمی باشد . میلگردهای قائم برای تحمل تنش های خمشی و میلگردهای افقی برای تحمل تنش های برشی مورد استفاده قرار می گیرد .

طبق تعریف آیین نامه UBS ، مصالح بنایی مسلح به مصالحی گفته می شود که سطح مقطع تسلیح چه افقی و چه قائم بیشتر از 0.007 / سطح مقطع کل باشد . در ضمن مجموع میلگردهای افقی و قائم بیشتر از 0.02 / سطح مقطع مربوطه باشد .

۲- معضلات اجرایی ساختمان های بنایی

الف : ساختمان های خشتی و سنگی در برابر زمین لرزه ها به شدت خسارت می بینند . به دلیل کافی نبودن قفل و بست اتصال دیوارها با یکدیگر و عدم وجود مهار بین سقف ها و دیوارها ، اغلب ترک هایی در محل تقاطع دیوارها مشاهده می شود . در بسیاری از موارد جدا شدن دیوارها و حتی فروریختگی خارج از صفحه برای دیوارها اتفاق می افتد . در بعضی موارد هم که فرم سازه ای مناسب است ، کیفیت نامناسب مصالح دیوار باعث ترک های قطری ، از هم پاشیده شدن دیوار و فروریختگی نهایی می گردد .

ب : در مورد ساختمان های آجری قدیمی نیز ، اثرات نامطلوب کافی نبودن مهار بین سقف و دیوارها مشاهده می شود . عدم تقارن سازه در پلان ، بازشوهای بزرگ در دیوار ، کمبود دیوارهای باربر در هر دو جهت اغلب باعث خسارت شدید یا حتی فروریختگی بسیاری از ساختمان ها می گردد .

رفتار نامناسب ساختمان های آجری در برابر زمین لرزه اغلب نتیجه کیفیت ضعیف مصالح مصرفی برای ساخت ، خصوصاً ملات مصرفی است .

۲-۳- اثر زمین لرزه بر ساختمان های بنایی

زمین در هنگام زمین لرزه به شدت تکان می خورد و در امتدادهای مختلف به حرکت در می آید . شالوده ساختمان نیز که تا حدود زیادی به زمین متصل است ، متناسب با حرکت زمین جابه جا می گردد . ولی قسمت های بالاتر ساختمان به دلیل اثر اینرسی ، میرایی و سختی با تأخیر به حرکت در می آید . این تأخیر در اجزای ساختمان ایجاد تنش کرده و در اثر آن ترک ها در ساختمان توسعه می یابند . با توجه به این که نیروی وارده به ساختمان متناسب با حرکت زمین و وزن ساختمان است ، با افزایش شدت زمین لرزه و وزن ساختمان ، نیروی وارد بر آن نیز بیشتر می گردد . اجزای باربر ساختمان که قبل از زمین لرزه فقط بارهای قائم را تحمل می نمودند ، در اثر نیروهای جانبی ناشی از حرکات زمین ، باید نیروی برشی و لنگر خمشی را نیز تحمل نمایند . وضعیت تنش در اجزای ساختمان در هر لحظه متغیر بوده و از حالت تنش فشاری خالص به ترکیبی از تنش های فشاری ، خمشی و برشی تبدیل می شود .

شناسایی ویژگی های زیر در طراحی مقاوم ساختمان در برابر زمین لرزه حائز اهمیت است .

۲-۳-۱ مشخصات مصالح

مصالح ساختمانی که در ساخت و ساز مصرف می شوند ، اغلب با توجه به ملاحظات اقتصادی یا قابلیت دسترسی انتخاب می شوند . در حالی که لازم است مصالح مناسب برای ساختمان های مقاوم در برابر زمین لرزه دارای خواص زیر باشند :

الف) خاصیت جذب انرژی ارتعاشی و تغییر شکل پلاستیک

ب) نسبت بالای مقاومت به وزن

پ) همگنی

ت) مقاومت یکسان و زیاد در دو جهت عمود بر هم

ث) سهولت در ایجاد اتصالات با مقاومت کامل .

۲-۳-۲ میرایی ساختمان

ترکیب میرایی مصالح در مجموعه ساختمان و تشخیص مقدار آن قابل اهمیت می باشد . از آجایی که میرایی در ساختمان به پارامترهای مختلفی از جمله نحوه بارگذاری بستگی دارد قابل محاسبه نمی باشد ، بلکه در آزمایشگاه قابل اندازه گیری است .

۲-۳-۳ ویژگی تغییر مکان پذیری اجزای ساختمان در برابر بارهای وارده

دلایل عملکرد رفتار نامناسب سازه ای مصالح بنایی در مقابل زمین لرزه به قرار زیر است :

الف) ترد بودن مصالح و تنزل مقاومت بر اثر تکرار بارگذاری

ب) وزن زیاد

پ) سختی زیاد که منجر به تشدید پاسخ در مقابل امواج زمین لرزه با پیوند طبیعی کوتاه می شود .

۲-۳-۴- کیفیت ساخت

مقاومت مصالح بستگی زیادی به کیفیت ساخت و اجرای ساختمان دارد. در گزارشات زمین لرزه مشاهده شده است که ساختمان های مصالح بنایی که در طراحی و ساخت آنها عوامل ملحوظ گردیده است، فقط متحمل خسارات جزئی شده اند.

۲-۳-۵- توزیع نیروی زلزله در ساختمان های بنایی

نیروهای اینرسی که ناشی از حرکت زمین به هنگام زمین لرزه است به جرم ساختمان وارد می گردند. در ساختمان های بنایی جرم در سقف و دیوارها متمرکز است. دیوارها به دو دسته عرضی و برشی تقسیم می گردند. دیوارهایی که در جهت اعمال نیروی زمین لرزه قرار دارند دیوارهای برشی یا طولی و آن هایی که عمود بر جهت نیرو قرار گرفته اند عرضی نامیده می شوند. واضح است از آنجایی که نیروی زمین لرزه به صورت ساده شده قابل تجزیه به دو مؤلفه عمود بر هم می باشد، هر دیواری از ساختمان بنایی در طول زمین لرزه هم به صورت عرضی و هم به صورت دیوار برشی رفتار می کند. نیروهای اینرسی وارد بر جرم سقف ساختمان، به دلیل سختی دیوارهای برشی یا طولی، به آن ها منتقل شده و از طریق دیوارهای برشی به پی ساختمان انتقال می یابد. آن بخش از نیروی زمین لرزه نیز که بر جرم دیوارهای برشی وارد می گردد مستقیماً به پی منتقل می شود. بخش دیگر نیروی زمین لرزه به جرم دیوارهای عرضی وارد می گردد. تکیه گاههای هر دیوار عرضی شامل سقف و دیوارهای مجاور (همان دیوارهای برشی) می باشد که این نیرو را متحمل می شوند. نیروی وارد بر سقف مجدداً از طریق دیوارهای برشی و نیروی وارد بر دیوار برشی مستقیماً به پی منتقل می گردد. بنابراین مشاهده می گردد که اصلی ترین عنصر مقاوم هر ساختمان بنایی در برابر زمین لرزه دیوارهای برشی است که سرانجام نیروهای افقی ایجاد شده در کلیه اجزای ساختمان را تحمل کرده و به پی منتقل می سازد.

۲-۳-۶- ماهیت نیروی زمین لرزه

ساختمان های با مصالح بنایی دارای دو ویژگی سختی بالا و وزن زیاد هستند و کم و بیش به دلیل کوتاه بودن پیروید سازه، پاسخ زلزله در آن ها زیاد است. شتاب هایی که در حین زمین لرزه بر ساختمان های بنایی می شوند گاهی تا حدود شتاب ثقل نیز می رسند و نیروهای زیادی در اعضا ایجاد می کنند. این نیروها از نیروهای طراحی سازه بنایی به مراتب بیشترند. فرض بر این است که مازاد این نیروها به وسیله شکل پذیری در اعضا تلف می شود. یعنی دستیابی به یک طرح اقتصادی هنگامی عملی است که بتوان با یک رفتار شکل پذیر برای سیستم اتلاف انرژی پیش بینی نمود. شکل پذیری با ایجاد تغییر شکل پلاستیک در سازه تأمین می گردد. یعنی چنان چه سازه ای پس از رسیدن به مقاومت نهایی، توانایی تغییر شکل پلاستیک داشته باشد، می تواند نیروهای بزرگی را بدون فرو ریختگی تحمل نماید، و این چیزی است که در زمین لرزه مورد نظر است. ساختمان های با اسکلت فلزی تا حدود زیادی دارای این قابلیت هستند، در حالی که ساختمان های بنایی به ویژه غیر مسلح چنین قابلیت را ندارند و به محض رسیدن به مقاومت نهایی دچار فرو ریختگی جزئی یا کلی می گردند. اما در ساختمان های با مصالح بنایی مسلح چنان چه جزئیات با دقت طراحی شوند رسیدن به شکل پذیری میسر است. بنابراین نیروی زمین لرزه تابعی از خصوصیات سازه است و پایداری هر سازه صرفاً بستگی به توانایی آن برای تغییر شکل های پلاستیک دارد. هر چه مقاومت سازه کمتر باشد باید بتواند تغییر شکل های بزرگتری را بپذیرد.

۲-۴- رفتار آزمایشگاهی دیوارهای آجری غیر مسلح در برابر بارهای دینامیکی

جهت تعیین رفتار لرزه ای دیوار آجری غیر مسلح، آزمایش های زیادی در سراسر دنیا صورت گرفته است. این آزمایش ها عموماً شامل بررسی رفتار دیوار تحت بارهای یکنواخت و بارهای رفت و برگشتی می باشد. به طور کلی آزمایشات نشان می دهند که عناصر آجری غیر مسلح بلافاصله پس از ترک خوردن، فرو نمی ریزند

و به عنوان نتیجه می توان گفت که آن ها دارای ظرفیت تغییر شکل قابل توجهی می باشند . برای نمونه ، سری آزمایش های انجام شده در مرجع نشان می دهند که توانایی مقاومت دیوارهای غیر مسلح سه برابر مقاومت موجود در لحظه ایجاد ترک اولیه می باشد .

۲-۴-۱- رفتار دیوارهای آجری تحت بارهای یکنواخت

برای بررسی رفتار دیوارهای آجری تحت بارهای یکنواخت ، به نتایج یک سری آزمایش در مرجع که در سال ۱۹۹۲ در یوگسلاوی سابق بر روی این گونه دیوارها انجام شده است ، در اینجا جهت بسط رفتار حاکم اشاره می گردد . نمونه های آزمایشی مورد بحث دیوارهایی می باشند که در سال ۱۹۱۷ ساخته شده اند و آزمایشات کامل روی رفتار آن ها انجام شده است در این سری آزمایشات علی رغم گذشت مدت زیادی از زمان ساخت اولیه دیوارها واضح بود که ملات ها به اندازه کافی مقاوم هستند و در مخروط ملات ، از سیمان استفاده شده بود . نیروهای جانبی در درون صفحه هر دیوار همراه با تنش قائم و ثابت اعمال گردید .

انجام آزمایش با کنترل نیروی جانبی اعمالی در سر هر دیوار صورت گرفت . تنش برشی متوسط (نیروی جانبی کل تقسیم بر سطح مقطع کل عضو) بر حسب تغییر مکان جانبی انتهای دیوار رسم شده است . نسبت ابعادی نمونه ها یکسان بوده و تنش فشاری قائم برای هر نمونه در حدود ۵۲٪ تا ۹۹٪ مگا پاسکال (۵ / ۳ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر) متغیر در نظر گرفته شده بود . علی رغم غیر مسلح بودن دیوارها برای مدتی طولانی این دیوارها پس از ترک خوردگی پایداری کلی داشتند . ترک های خمشی در ناحیه پاشنه هر دیوار تحت بار جانبی که به طور اسمی ۴۰٪ بار نهایی بود ، مشاهده گردید . هم چنان که بردار برآیند تنش های فشاری ، منجر به جا به جایی در جهت پنجه دیوار می شد . سختی جانبی تدریجاً کاهش می یافت . سرعت رسیدن به حالت حد نهایی با لغزش کف در مجاورت قسمت میانی افزایش می یافت و به دنبال آن بلافاصله شکاف های فشاری قطری در پنجه ایجاد گردید . تغییر مکان جانبی نهایی ، اسماً ۱۵ مرتبه بیش از تغییر مکان ها در لحظه شروع اولین ترک های خمشی بود . تغییر مکان نسبی جانبی ، اسماً ۴ / ۰٪ برای تمام دیوارهای مورد آزمایش ثبت گردید .

۲-۴-۲- رفتار دیوارهای آجری تحت بارهای رفت و برگشتی

در طول زمین لرزه ، ساختمان حرکت هایی به عقب و جلو خواهد شد و برش و تغییر شکل های جانبی به دنبال تکرار همین چرخه های رفت و برگشتی به وجود می آیند . بنابراین دانستن رابطه بین مقاومت جانبی و رفتار آن تحت بارهای رفت و برگشتی حائز اهمیت می باشد .

جهت بررسی این موضوع به نتایج آزمایشات در اینجا اشاره می گردد . در این رابطه و به منظور مطالعه رفتار دیوارها دو سری دیوار ساخته شد . در ساخت این دیوارها مجریان پروژه سعی بر این داشتند که تا آنجا که ممکن است برای مقایسه نتایج ، ملات ها و آجرها مشابه دیوارهای ساختمان آزمایش قبل ساخته شوند . البته اعمال یک سری از شرایط محیطی حاکم بر این کار عملی نبود . به عنوان مثال دیوارهای قدیمی مدت ۷۰ سال تحت چرخه های یخ زدگی - زوال ، اثرات محیطی باد و مسائل باگزاری دیگری قرار گرفته بودند . در ضمن نسبت ابعاد نمونه ها و تنش فشاری قائم در این سری آزمایشات مختلف بوده است . بنابراین دو نوع رفتار اساسی مختلف می توان مشاهده نمود . دیوار اول دارای نسبت ابعادی دو بوده که تحت تنش قائم ۵۲٪ مگا پاسکال (۵ / ۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع قرار داشته و دیوار دوم دارای نسبت ابعادی یک و نیم بوده و تحت تنش معادل (سه و نیم کیلوگرم) بر سانتی متر مربع قرار داشته است . هر دو دیوار مورد آزمایش تحت یک سری نیروهای جانبی ساده قرار داشتند که توسط یک جفت جک هیدرولیکی اعمال می گردید . یکی از جک ها روی تغییر مکان و دیگری روی مقدار نیروی اعمالی در لحظه شروع آزمایش کنترل داشت .

۲-۴-۱- رفتار هیسترتیک برشی

شکست دیوار اول تحت برش و بدون هیچ نوع ترک خمشی به وقوع پیوست . تحت بار جانبی تقریباً معادل ۶۲٪ بار نهایی ، ترک قطری - پله ای مشاهده گردید دومین ترک قطری (ب) فقط زمانی که دیوار به بار

نهایی رسید مشاهده گردید. جهت بار اعمالی برای نمونه اول عوض شد و نمونه ترک هایی که در نیم سیکل اول مشاهده شده بود مجدداً به وجود آمد. ترک هایی که در سیکل قبلی در ملات ایجاد شده بود، در سیکل جدید بسته شده اند. در این هنگام رفتار مشابهی برای ملات های ترک نخورده در همین جهت مشاهده گردید. پس همانند آزمایش اول، رفتار دیوار تحت نیرو با تغییر مکان های افزایشی تدریجی را می توان در حالت بارهای رفت و برگشتی نیز مشاهده نمود. نسبت اندازه گیری شده نشان می دهد که تقارن نسبت به سیکل برگشت بار، تأییدی بر نامزوج رفتار سیکلی با مؤلفه های آزمایشی و تدریجی بار می باشد. آزمایش حاکی از این حقیقت است که با وجود تغییر مکان بزرگی که رخ داد دیوار مقاومت قابل توجهی در مقابل بار جانبی دارد. تغییر مکان نسبی جانبی حدود ۷ برابر تغییر مکان نسبی در بیشترین مقدار بار در این سیکل مشاهده گردید. در دیوار مورد آزمایش اگر حد ضربه بارگزاری جک ها فراتر نمی رفت، تغییر مکان نسبی بیشتری به وجود می آمد اگرچه ترک های پله ای - قطری در ملات ها به میزان قابل ملاحظه ای باز شده بود (به اندازه ۲۵ میلی متر)، ولی اتصال بستر دیوار همچنان بسته باقی مانده بود. این مقاومت بالا را پس از ترک می توان ناشی از عملکرد اصطکاک در امتداد اتصال بستر دانست پس تنش فشاری قائم تأثیر مهمی در شکل پذیری ایجاد شده داشته است.

۲-۴-۲-۲- رفتار هیسترتیک خمشی

بارگذاری دومین آزمایش نسبت دیوار به اولی ملایم تر بوده و دیوار به معرض تنش فشاری کمتری قرار داشته است. در این آزمایش ابتدا ترک های خمشی اولیه به وجود آمد. ترک افقی در امتداد درز کف و بلافاصله بالای آن مشاهده گردید که امتداد آن تا فاصله تقریبی $\frac{2}{3}$ از کف کشیده شده بود. هنگامی که جهت بار عوض شد، ترک خمشی در سمت مخالف اولی در دیوار به وجود آمد که در تمام طول دیوار پیوسته است. مقاومت جانبی بیشینه، با خورد شدگی مصالح در پنجه دیوار محدود گردید. شکاف های قائم و خورد شدگی آجرهای پنجه دیوار، همانند منشوری از آجر که تحت بار فشاری قائم خارج از مرکز قرار دارند مشاهده گردید (منظور از منشور، چند رج آجر چینی به طول، عرض و ارتفاع مشخص مطابق آیین نامه است که جهت انجام آزمایش ها ساخته می شود).

۳-۴-۲- ایستایی دیوارهای آجری ترک خورده

هر دو سری آزمایش دیوارها نشان دادند که افزایش مقاومت جانبی پس از ترک خوردگی ماهیتاً وجود دارد. چه دیوارهای قدیمی که تحت افزایش تدریجی بار گسیخته شدند و چه دیوارهای جدیدتری که تحت بار جانبی تکراری و رفت و برگشتی قرار گرفتند. دلیل آن را می توان بر اساس مفاهیم ساده تعادل استاتیکی بیان نمود. دیوار غیر مسلح پس از ترک خوردگی خمشی می تواند مقاومت کند این مقاومت ناشی از فرایند بارهای قائم در مرکز ثقل فشاری است که پس از ترک خوردگی به طرف پنجه فشاری کشیده می شود. مقاومت جانبی را بر اساس تعادل استاتیکی نیروهای جانبی می توان تعیین نمود. با نوشتن رابطه تعادل لنگر حول مرکز ثقل، معادله ای به دست می آید:

با فرض رفتار خطی مصالح در فشار، طول ناحیه فشاری کف یعنی d را می توان تعیین نمود. این طول سه برابر فاصله تار فشاری بیشینه تا مرکز ثقل است. تنش فشاری بیشینه را که در لبه دیوار در کف اتفاق می افتد با دو برابر نمودن تنش فشاری متوسط مثلث تنش می توان به دست آورد بدین ترتیب که:

$$Hh = Pe \quad \text{یا} \quad e = \frac{Hh}{p} \quad (1-2)$$

$$f_{\max} = \frac{2p}{db} = \frac{2p}{3\left[\frac{L}{2} - e\right]b} \quad (2-2)$$

با قرار دادن مقدار e از معادله (۱-۲) خواهیم داشت:

$$f_{\max} = \frac{2p}{3b \left[\frac{L}{2} - \frac{Hh}{p} \right]}$$

محدودیت تنش f_{\max} با فرض خطی بودن تنش فشاری با کرنش تعیین می شود. هر نوع رفتار غیر خطی در فشار می تواند قرآیند بردار نیروی قائم را به طرف پنجه دیوار سوق دهد و در نتیجه ظرفیت لنگر خمشی افزایش می یابد.

پس در واقع با این فرض، معادلات کاملاً محافظه کارانه می باشند. در این روابط b ضخامت دیوار بوده و بقیه پارامتر هستند.

۵-۲ رفتار آزمایشگاهی دیوارهای آجری مسلح در برابر بارهای دینامیکی

آزمایشاتی که بر روی دیوارهای آجری مسلح در برابر بارگذاری جانبی دینامیکی انجام گرفته است نشان می دهند که تصویر دیوار تأثیر به سزائی در رفتار آن دارد. در سیکل اول یک بارگذاری متناوب، دیوار آجری مسلح رفتار غیر خطی نرم شونده ای، مشابه آن چه که در مورد قاب های الاستو-پلاستیک مصداق دارد از خود نشان می دهد. بنابراین اگر نیرو فقط در یک سیکل وارد شود سازه از نرمی بسیار خوبی برخوردار است. تفاوتی که در این حالت با دیوار آجری غیر مسلح وجود دارد در این است که با افزایش جابه جایی، از مقاومت دیوار کاسته نمی شود. این خاصیتی است که در دیوارهای آجری غیر مسلح وجود ندارد. در سیکل های بعدی بارگذاری به تدریج از مقاومت و سختی دیوار کاسته می شود. میزان کاهش سختی و مقاومت به حالت شکسته دیوار بستگی دارد. شکست برشی با کاهش مقاومت و تنزل سختی همراه است و در طراحی سعی بر این است که از شکست برشی جلوگیری شود.

۶-۲ رفتار ساختمان های بنایی در برابر زمین لرزه

همان طور که نتایج آزمایشگاهی نشان می دهند، ضعف اساسی ساختمان های بنایی و از جمله ساختمان های آجری، کمبود مقاومت نیست، بلکه کمبود شکل پذیری است. میزان خسارت در سازه های شکل پذیر، تابع شدت زمین لرزه است. یعنی با کاهش شدت زمین لرزه از میزان خسارت به طور تدریجی کاسته می شود در حالی که عملکرد ساختمان های بنایی چنین نیست ساختمان های بنایی تا یک حد معینی قادر به تحمل نیروی زمین لرزه هستند و ممکن است در این محدوده تنها متحمل ترک های جزئی شوند. ولی با افزایش نیرو به طور ناگهانی دچار فرورفتگی جزئی یا حتی کلی می گردند. به عبارت دیگر روند خسارت پذیری در آن ها با افزایش بار زمین لرزه تدریجی نیست. علت این خصوصیت عدم شکل پذیری کافی در آن ها می باشد. بنابراین رفتار ساختمان های بنایی غیر مسلح به صورت زیر قابل بیان است:

الف) چنان چه شدت زمین لرزه از مقاومت ساختمان کمتر باشد، سازه سختی اولیه خود را حفظ کرده و در این صورت نیروی زمین لرزه برابر حاصل ضربه جرم در شتاب زمین لرزه می باشد. یعنی ضریب بازتاب یک می باشد. مقدار این نیرو برای ایجاد ترک و شکست در سازه کافی نیست. بنابراین ساختمان متحمل خسارت نمی گردد.

ب) شدت زمین لرزه در اواخر تکانه از مقاومت سازه بیشتر می گردد و ترک ها و خوردسنگی ها در سازه آغاز می گردد. در این لحظه با کاهش سختی، پیوند ارتعاش زیاد شده و ضریب بازتاب از یک بیشتر می شود که این مسئله باعث افزایش نیروی زمین لرزه می گردد اما چون این تغییرات در لحظات انتهایی زمین لرزه صورت می گیرد سازه فرو نمی ریزد تنها مقداری ترک خوردگی و خورد شدگی باقی خواهد ماند.

پ) شدت زمین لرزه در لحظات ابتدایی زمین لرزه از مقاومت سازه بیشتر می گردد. در نتیجه بروز ترک خوردگی ها، کاهش سختی و افزایش پیوند ارتعاش سازه، ضریب بازتاب از همان ابتدا زیاد شده و باعث افزایش نیروی زمین لرزه می گردد. این افزایش نیرو باعث ترک خوردگی های بیشتر و تکرار چرخه فوق شده که در انتها به خرابی سازه می انجامد. این حالت در زمین لرزه های با بزرگی بیش از ۶ در مقیاس ریشتر و در

نزدیکی مرکز زمین لرزه اتفاق می افتد . در این نواحی ساختمان های بنایی غیر مسلح با خاک یکسان می گردند . با دور شدن از مناطق مرکزی از زمین لرزه و کاهش شدت ، ناحیه ای جلب توجه می نماید که اصطلاحاً ناحیه آستانه ترک نامیده می شود .

ناحیه آستانه ترک ناحیه ای است که حالت سازه از (پ) به (ب) تبدیل می گردد . ساختمان هایی که در سمت مرکزی قرار گرفته اند فرو می ریزند و ساختمان هایی که در این سوی ناحیه واقع اند پایدار مانده و تنها متحمل ترک می شوند .

۱-۳- طبق بندی انواع خسارت

تا به امروز تعداد زیادی از ساختمان های بنایی در معرض زمین لرزه قرار گرفته اند که از این تعداد ، بسیاری از آن ها به شدت خسارت دیده و بعضی فرو ریخته و تعدادی فقط خسارت کمی را فقط متحمل شده اند و یا حتی برخی بدون خسارت باقی مانده اند . مشاهده و بررسی کیفی انواع خسارات به تنهایی برای برآورد مقاومت ساختمان های بنایی در برابر زمین لرزه کافی نمی باشد . از این رو تحلیل جامعی از انواع خسارات مشاهده شده هم از نظر کیفی و هم از نظر کمی جمعیت جهت مطالعه دقیق رفتار آن ها ضروری به نظر می رسد . ساختمان های بنایی در کشورهای مختلف به صورت های گوناگون ساخته می شوند . برای مثال ، ساختمان هایی که با مصالح مختلفی از قبیل سنگ ، خشت ، آجر و بدون هیچ گونه تمهیدات خاصی برای مقابله با زمین لرزه ساخته می شوند و یا ساختمان هایی که به صورت مقاوم در برابر زمین لرزه و با استفاده از مصالح پیشرفته تری چون بلوک های سفالی یا سیمانی با در نظر گرفتن تمهیدات لرزه ای ، طراحی و ساخته می شوند . با این وجود ، خسارت مشاهده شده در این گونه ساختمان ها در برابر زمین لرزه را می توان به شرح ذیل طبقه بندی نمود :

در این قسمت به انواع خساراتی که در زمین لرزه های گذشته با شدت های مختلف ، بر دیوارهای ساختمان های بنایی وارد شده اند ، اشاره می شود :

الف) ایجاد ترک های افقی بین دیوارها و سقف ها

ب) ایجاد ترک های قائم در محل تقاطع دیوارها

پ) جدا شدن دیوارهای خارجی از یکدیگر و همچنین از سقف

ت) فرو ریختگی خارج از صفحه در دیوارهای خارجی و فرو ریختن سقف

ث) حرکت گهواره ای دیوار در صفحه خود (rocking)

ج) ایجاد ترک در زیر پنجره ها و خورد شدن پنجه دیوار در اثر حرکت گهواره ای و در نتیجه کاهش سختی و مقاومت سازه که افزایش ضریب بازتاب و نیروی زلزله را به دنبال دارد .

چ) ایجاد ترک های قطری در پای دیوارها و کنار بازشوها

ه) جدا شدن یا ضربه زدن متقابل در گوشه دیوارهای متعامد

خ) فرو ریختگی جزئی یا کلی دیوارها

د) انهدام جزئی یا کلی ساختمان

۳-۲ مکانیسم شکست

هنگامی که ساختمان در معرض زمین لرزه قرار می گیرد ، نیروهای اینرسی متناسب با جرم سیستم سازه ای ، بر سازه تحمیل می گردد . در حین حرکات زمین در جهات قائم و افقی ، نیروهای اینرسی که بر سازه وارد می شوند در هر لحظه تغییر کرده و ارتعاشات سه بعدی ساختمان را نتیجه می دهند . اجزای سازه ای که تا قبل از وقوع زمین لرزه ، اساساً بارهای قائم را تحمل می کردند حال باید بتوانند بارهای افقی را که به صورت لنگر خمشی و نیروی برشی اضافی به سازه وارد می شوند را نیز تحمل نمایند مشاهده رفتارهای ساختمان های بنایی هنگامی که تحت تأثیر زمین لرزه قرار دارند ، نشان می دهد که ارتعاشات ساختمان ، شدیداً به چگونگی اتصال دیوارها به یکدیگر و همچنین مهار آن ها در تراز کف و سقف ، بستگی دارد . در ساختمان های بنایی

قدیمی جایی که ، تیرهای چوبی سقف در مصالح مهار نمی شوند (یا کلاف ها به یکدیگر قفل نمی شوند) هر دیوار تمایل به جدا شدن از اتصال خود را دارد . ترک های قائم در گوشه دیوارهایی که دچار خمش خارج از صفحه می شوند و یا نزدیک انتهای دیوار ، هنگامی که مقاومت کششی دیوار برای مقابله با نیروهای اینرسی وارده کافی نباشد رخ می دهد . در این شرایط ارتعاش دیوارها یکنواخت نبوده و دیوارهای خارجی دچار فرو ریختگی می شوند . هنگامی که مهارها در جای خود قرار دارند یا کلاف های بتنی مسلح در تراز کف و سقف به یکدیگر محکم شده اند ، ارتعاش دیوارها به طور هم زمان صورت می گیرد . با این وجود خمش خارج از صفحه دیوارها ، باعث کاهش مقاومت ساختمان می گردد . نیروهای اینرسی در سازه در نتیجه شتاب حرکات زمین که تمایل به تغییر شکل دادن ساختمان دارند به وجود می آیند . پایه های بین بازشوها در یک دیوار ، انعطاف پذیرتر از قسمت های بالا و پایین باشو می باشند . بنابراین تقریباً تمامی تغییر شکل دیوار در پایه ها صورت می گیرد . در مقاطع بالا و پایین بازشوها ، پایه ها بیشترین تنش های فشاری یا کششی را متحمل می شوند . همچنین در مقطع وسط بازشو ، پایه ها بیشترین تنش برشی را دارا می باشند . بزرگی تنش ها بستگی به مقدار نیروی اینرسی افقی دارد . درست مانند مقدار نیروی قائم که دیوار تحمل می نماید . بررسی حالت های شکست از دیدگاه دیگری نیز قابل بحث است . همان طور که ذکر گردید از نظر توزیع نیروهای زلزله دیوارهای یک ساختمان بنایی به دو دسته برشی و عرضی قابل تفکیک است . اصلی ترین حالت های شکست را دیوارهای برشی و عرضی تشکیل می دهند . از آنجایی که در ساختمان های آجری سقف بر دیوارها تکیه دارد ، با سقوط دیوارها احتمال در هم فرو ریختن کل ساختمان وجود دارد بنابراین پایداری دیوارها بسیار مهم است .

دیوارهای برشی تمامی بار جانبی ناشی از زمین لرزه را به عهده دارند . بنابراین در هم شکستن آن ها ناپایداری کل سازه را به دنبال دارد . اما شکست دیوارهای عرضی عمدتاً با خسارات کمتری همراه است (البته توجه شود که با عوض شدن امتداد امواج زمین لرزه هر دیواری می تواند نقش دیوار عرضی و برشی را توأمأ داشته باشد) اگر چنین باشد به هنگام تسلیح و تقویت ساختمان آجری باید روی دیوارهای برشی تأکید بیشتری داشت .

۳-۲-۱ شکست دیوارهای برشی

برای دیوارهای برشی یا طولی تحت نیروهای زمین لرزه دو حالت شکست محتمل است شکست خمشی و شکست برشی . معمولاً پایه های پهن دچار گسیختگی برشی و پایه های باریک دچار گسیختگی خمشی می گردند . به هنگام زمین لرزه دیوار تحت نیروهای جانبی متناوباً بر روی پاشنه و پنجه تلو می خورد . چنان چه مقدار نیروی زلزله از مقاومت حد الاستیک دیوار بیشتر گردد ، جا به جایی زیاد شده و دیوار واژگون می گردد . اما از آنجایی که نیروی زلزله ماهیت رفت و برگشتی داشته و لحظه ای می باشد ، واژگونی چند لحظه بیشتر طول نمی کشد و دیوار به سمت مقابل منحرف می گردد . در هر بار دیوار تا چندین سانتی متر از پی جدا شده و مجدداً پس از لحظه ای با یک ضربه محکم به پی در جهت دیگر حرکت می کند .

این ضربات اولاً باعث خورد شدن پنجه و پاشنه دیوار گشته و از عرض مؤثر پایه می کاهد از این رو دیوار به تدریج ضعیف تر و ضعیف تر می گردد . ثانیاً حرکات تلوی دیوار با ضربات شدیدی همراه است که نیروهای افقی بزرگی را ایجاد می کنند . این نیروها که ناشی از اندازه حرکت دیوار می باشند به اندازه بزرگ اند که می توانند گسیختگی های برشی ایجاد نمایند . ثالثاً حرکت تلوی دیوار باعث ضعیف شدن ساختمان و کاهش دوره تناوب سازه می گردد که افزایش پاسخ را به دنبال دارد . یعنی هم مقاومت سازه کم می شود و هم نیروهای زلزله بیشتر می گردد و ساختمان را بیشتر تهدید می نماید . علاوه بر دیوارهای مصالح بنایی با نسبت زیاد ارتفاع به طول ، دیوارهای بنایی مسلح با فولاد قائم کم نیز دچار گسیختگی خمشی می گردند . این در حالی است که دیوار دچار گسیختگی کرنش تار فشاری منتهی الیه و جاری شدن میل گردهای کششی شده است نمونه های ای از شکست برشی را در دیوارهای بنایی با بازشو و بدون بازشو و همچنین میل گرد گذاری مؤثر بر شکست برشی را نشان می دهد . در دیوارهای بنایی بدون بازشو شکست برشی اتفاق می افتد چنان چه در

دیوار باشو موجود باشد ، در پایه ها و تیرهای بین بازشوها شکست برشی رخ می دهد کاربرد میل گردهای افقی در کنترل عرض ترک برشی و جلوگیری از جا به جایی افقی نسبی است . عمل شاخه ای (dowel action) میل گردهای قائم ، مقاومت برشی ناچیزی ایجاد می کند. بنابراین میل گردهای افقی در دیوارها و پایه ها و میل گردهای قائم در تیرها ، نقش مؤثری در مقاومت برشی دارند . در این دیوارها با کم شدن نسبت ارتفاع به طول احتمال وقوع شکست برشی بیشتر می شود . همچنین با زیاد شدن نسبت فولاد قائم که عمدتاً نقش خمشی دارند و کم شدن نسبت میل گردهای افقی ، شکست برشی محتمل تر می گردد در این حالت ، شکست برشی ترد بوده و ظرفیت اتلاف انرژی آن نیز پایین است .

۲-۲-۳ شکست دیوارهای عرضی

دیوارهای عرضی که عمود بر جهت زمین لرزه قرار دارند دچار نیروی اینرسی ناشی از وزن خود می گردند . گسیختگی در این دیوارها به صورت شکست خمشی خارج از صفحه صورت می گیرد . رفتار خمشی دیوارهای عرضی مانند دال های تخت می باشد . چنان چه فاصله دیوارهای عمودی در طرفین دیوار عرضی زیاد نباشد ، مانند دال دو طرفه با چهار تکیه گاه (زمین ، سقف و دو دیوار برشی عمود بر دیوار) رفتار کرده و ترک های خمشی به فرم خصوص تسلیم در آن به وجود می آید . چنان چه فاصله دیوارهای عمودی طرفین زیاد باشد ، دیوار مانند دال یک طرفه رفتار کرده و خمش عمدتاً بین سقف و زمین صورت می گیرد و ترک های خمشی در امتداد افقی ظاهر می شوند . علاوه بر این اگر اتصال دیوار عرضی و دیوارهای متعامد خوب نباشند ، در حین زمین لرزه ، ترک های قائم در محل اتصال قائم دیوارها ایجاد شده و دیوارهای متعامد از یکدیگر جدا می شوند .

۳-۳ علت گسیختگی

گذشته از مطالبی که اشاره شد با توجه به خساراتی که در زمین لرزه های مختلف به ساختمان های مصالح بنایی وارد گردیده است ، به نظر می رسد فاکتورهای اساسی زیر در مقاومت ساختمان ها در برابر زمین لرزه تأثیر به سزایی دارند :

الف) کیفیت مسئله و اجرا

ب) شکل و سیستم سازه

پ) دیوارهای ساختمان

ت) سیستم سقف

ث) انسجام اجزای ساختمان

ج) اجرای غیر سازه ای

چ) سیستم کلاف

ح) خاک محل

۱-۳-۳- کیفیت مصالح و اجرا

با وجود کفایت سازه برای تحمل بارهای ثقلی ، مشخصات مکانیکی مصالح به کار برده شده در اجرای ساختمان های بنایی ، چه واحد ساختمانی دیوار (شامل آجر و سنگ و بلوک) و چه ملات ، برای تحمل اثرات خمش و برش ناشی از زمین لرزه بر سیستم سازه ای از اهمیت ویژه ای برخوردار است .

پایین بودن کیفیت و مقاومت واحدهای بنایی مانند سنگ ، آجر و بلوک سیمانی یکی از دلایل آسیب پذیری ساختمان های بنایی است . این واحدها که اغلب بدون نظارت فنی تولید می گردند دچار فرسودگی و شکستگی زود هنگام می شوند . استفاده از ملات های نامناسبی چون ملات گل یا عدم رعایت نسبت های مناسب ماسه و سیمان باعث پایین آمدن کیفیت مصالح می گردد .

کیفیت اجرا نیز اغلب نامطلوب است . عدم هم پوشانی کافی بین واحدهای بنایی در دیوار و قرار گرفتن درزهای عمودی در امتداد یکی دیگر ضعف های موضعی ایجاد می کنند . درزهای افقی بیش از حد عریض و

درزهای قائمی که با ملات پر نمی شوند ، باعث کاهش شدید مقاومت خارج از صفحه و کاهش ظرفیت برشی درون صفحه دیوار می گردد . به کار بردن آجرهایی که قبل از استفاده در آب غرقاب نمی شوند باعث از دست رفتن آب ملات و کاهش مقاومت و قدرت چسبندگی آن می گردد . همچنین استفاده از روش هشت گیر در اجرای دیوارها ، باعث ایجاد انفصال در دیوار و نتیجتاً کاهش مقاومت خارج از صفحه دیوار می گردد . تأثیر کیفیت مسئله و اجرا بر مقاومت ساختمان های بنایی در برابر لرزه در اشکال نشان داده شده است . دو ساختمان در یک محل و به فاصله شش متر از ساختمان ساخته اند . اجرای سقف هر دو نیز در یک زمان و قبلاًز وقوع زمین لرزه به اتمام رسیده است . ساختمان نشان داده شده با بلوک سفالی مجوف و ملات با تارد (سیمان - آهک - ماسه) با کیفیت مطلوب ساخته شده است که در زمین لرزه بدون خسارت باقی مانده ساختمان که با آجر سفالی و ملات ماسه آهک با کیفیت نامطلوب اجرا شده است ، در همان زمین لرزه به شدت آسیب دیده است .

۳-۳-۲ شکل و سیستم سازه

یکی از مهم ترین فاکتورهایی که بر مقاومت ساختمان های مصالح بنایی تأثیر دارد ، سیستم سازه ای ساختمان می باشد . در فرم ، شکل و سیستم سازه ای ساختمان های با مصالح بنایی نواقص اصلی زیر را می توان نام برد :

الف) کامل نبودن مسیر انتقال بار : نیروهای زمین لرزه که به اجزای ساختمان وارد می شود از طریق دیافراگم های افقی سقف به دیوارهای برشی منتقل می گردند . دیوارهای برشی با عملکرد خمشی و برش خود نیروها را به پی و نهایتاً به زمین منتقل می نماید . در صورت وجود ناپیوستگی در این مسیر ، یا طولانی بودن آن ، ساختمان توانایی مقاومت در برابر بارهای جانبی را نخواهد داشت

ب) کافی نبودن مقاومت برشی ساختمان : نیروهای زمین لرزه در ساختمان های مصالح بنایی توسط دیوارهای باربر (دیوارهای برشی در امتداد نیروهای زمین لرزه) تحمل می شوند . چنان چه مقاومت این دیوارها کمتر از مقدار تقاضا بوده یا تراکم آن ها نسبت به سطح ساختمان به دلیل وجود بازشوهای بزرگ کم باشد ، ساختمان فاقد مقاومت برشی لازم در برابر نیروهای زمین لرزه می باشد .

پ) توزیع نامتقارن دیوارها در پلان : این مسئله باعث اثرات پیچشی در سازه شده و موجب افزایش تنش دیوارها در نواحی بحرانی می گردد . ساختمان هایی که فقط در یک جهت ، دیوار باربر دارند ، مثال کاملی از فرم نامناسب سازه ای می باشند .

ت) توزیع غیر یکنواخت سختی در ارتفاع ساختمان : این مسئله می تواند موجب بروز خسارت شدید دیوارها در ترازهای که تغییرات ناگهانی سختی صورت گرفته است ، گردد . تغییرات ناگهانی سختی در اثر نامنظمی قائم در ساختمان های مصالح بنایی شامل طبقه ضعیف ، طبقه نرم ، نامنظمی هندسی قائم طبقات و نامنظمی در نظم طبقات می باشد .

ث) اثر ساختمان های مجاور : ساختمان هایی که در مجاورت یکدیگر قرار دارند و بین آن ها درز انقطاع مناسبی وجود ندارد ، به دلیل هم فاز نبودن ارتعاشات در حین زمین لرزه به یکدیگر ضربه می رند که به آن تنه زدگی یا pounding گفته می شود .

۳-۳-۳ دیوارهای ساختمان

یکی دیگر از علل گسیختگی در ساختمان های مصالح بنایی ، آسیب پذیر بودن دیوارها می باشد زیرا بودن ارتفاع و مهار نبودن خارج از صفحه دیوار ، پایداری و ظرفیت باربری دیوار در خارج از صفحه را محدود می نماید همچنین طول مهار نشده زیاد دیوار نیز باعث افزایش لنگر خمشی خارج از صفحه می گردد .

دیوارهایی که نسبت ارتفاع به ضخامت بالایی دارند ، در برابر زمین لرزه دچار گسیختگی خارج از صفحه می گردند . چنان چه این دیوارها در طبقات فوقانی ساختمان قرار داشته باشند ، به دلیل بزرگ تر بودن نیروهای زمین لرزه یک تشدید ارتعاشات و کم بودن تنش فشاری در مقطع دیوار خسارات شدیدتری را متحمل می

شوند از طرف دیگر وجود بازشوهای بزرگ در دیوار باعث کاهش مقاومت برشی و خمشی آن می‌گردد. همچنین نزدیکی باشو به انتهای دیوار سبب می‌شود که اتصال آن دیوار و دیوار متقاطع ضعیف شده و دیوار به صورت یک دیوار مهار نشده رفتار نماید. عبور لوله و دودکش قطور از درون دیوار باعث ضعف موضعی و کاهش مقاومت دیوار می‌گردد. قرار گرفتن مستقیم تیرهای باربر سقف بر روی دیوار نیز باعث تمرکز تنش در محل اتصال و شکست دیوار می‌گردد. همچنین مؤلفه افقی بار سقف های قوسی در بالای دیوارهای خارجی موجب کاهش مقاومت خارج از صفحه دیوار می‌گردد.

۳-۳-۴- سیستم سقف

نامناسب بودن سیستم سقف در ساختمان های مصالح بنایی علت بسیاری از فروریختگی ها در زمین لرزه می باشد. استفاده از مصالح سنگین یا اجرای اسفالت مجدد در سقف ها باعث سنگین شدن آن ها در طول زمان می گردد که در حین زمین لرزه نه تنها باعث افزایش نیروی جانبی ساختمان می گردد بلکه ارتعاش قائم سقف را نیز موجب می شود. عدم وجود سقف های صلب با کلاف های خارجی باعث ایجاد ترک های قائم در اتصال دیوار یا تقاطع دیوارها و بروز خمش خارج از صفحه در دیوار می گردد. دیوارهایی که از بقیه اجزای سازه ای جدا می شوند، ممکن است حتی هنگامی که ساختمان تحت تأثیر زمین لرزه های متوسط هم قرار می گیرد، فرو بریزند. سقف های انعطاف پذیر می توانند در تیرهای عمیق بالای بازشو نیز ترک ایجاد نمایند.

۳-۳-۵- انسجام اجزای ساختمان

رفتار مناسب و پایداری ساختمان مصالح بنای در گرو حفظ انسجام و یکپارچگی اجزای آن می باشد. مناسب نبودن یا ضعیف بودن اتصال بین دیوارهای باربر متقاطع، اتصال بین دیوارها و سقف و همچنین اتصال بین تیغه ها و دیوارها یا سقف از مواردیست که انسجام ساختمان را به مخاطره می اندازد. ضعف در کیفیت اجرا، استفاده از روش هشتگیر در آجرچینی، نزدیکی بازشو به کنج دیوارها و یا عدم استفاده از سیستم مهاری مناسب باعث ضعف اتصالات می گردد. مواردی که در آن اجزای ساختمان بدون آسیب دیدگی دچار فروپاشی می شوند، از این قبیل است. هر چند که عدم انسجام اجزا، خود باعث آسیب دیدگی آن ها نیز می گردد.

۳-۳-۶- اجزای غیر سازه ای

تلفات جانی و مالی بسیاری در زمین لرزه ها ناشی از ضعف عناصر غیر سازه ای بوده است. این اجزا شامل دیوارهای غیر باربر، تیغه ها، کتیبه ها و جزئیات نما، جان پناه، دودکش و تأسیسات مکانیکی و برقی می باشند. عدم کفایت مقاومت عمومی و نداشتن مهار مناسب، مشکل اساسی این اجزا می باشد. وزن زیاد و ضخامت ناچیز در دیوارهای غیر باربر و تیغه ها باعث گسیختگی خارج از صفحه و ناپایداری جانبی آن ها می گردد. اتصال ضعیف و نامناسب بین ملحقات تزئینی، کتیبه و نما با دیوارهای سازه ای موجب فرو یختن آن ها به هنگام زمین لرزه می گردد. جان پناه ها و دودکش ها نیز عمدتاً به دلیل نداشتن مهار جانبی دچار شکست و فرو ریختگی می گردند. فرو ریختن اجزای غیر سازه ای، به ساکنین و اشیاء داخل یا خارج ساختمان نیز آسیب وارد می نماید.

۳-۳-۷- سیستم کلاف

سیستم کلاف یا سیستم مقاوم کمکی علاوه بر افزایش مقاومت عمومی ساختمان، خود به تعداد مسیر انتقال بار اضافه کرده و سبب می شود در صورت شکست قسمتی از یک عضو، اتصال یا بخشی از ساختمان، بارهای وارده از طریق آن ها به اعضای دیگر و نهایتاً به پی منتقل گردند.

در این صورت از ناپایداری و فرو ریختن ساختمان جلوگیری می شود. نبود این سیستم یا ضعف در قسمت هایی از آن دلیل فروریختگی بسیاری از ساختمان های مصالح بنایی به هنگام زمین لرزه است. ضعف در سیستم کلاف های بتنی شامل ضعف در مصالح، ضعف در میلگردها، و آرایش نامناسب کلاف ها می باشد. نسبت های اختلاط نامناسب، عدم ویبراسیون هنگام ریختن بتن و عمل آوردن ناقص از ضعف های متداول کلاف بتنی می باشد عدم همپوشانی کافی بین میلگردهای طولی یا قاب ها در اتصالات، درگیر نبودن میل

گردها در پی ، افی نبودن تعداد و فواصل کلاف ها ، ابعاد و میل گردگذاری آن ها از کارایی سیستم کلاف می کاهد.

۳-۳-۸- خاک محل

در طی زمین لرزه های اخیر ، مواردی مشاهده شده است که نامناسب بودن خاک محل و گسیختگی زمین دلیل اصلی خسارت یا فروریختگی ساختمان های بنایی بوده است . دو نمونه گسیختگی زمین که بیشتر اتفاق افتاده است عبارتند از :

الف (لغزش زمین های شیب دار : این مسأله باعث نشست ناهمگون یا حرکت پی ها و در نتیجه جدا شدن ساختمان از زمین یا کج شدن آن می گردد .

ب (روانگرایی در زمین های ماسه ای اشباع : که می تواند موجب نشست پی ها ، کج شدن ساختمان و فرو رفتن ساختمان در زمین گردد .

شکست مهار : هنگامی که فلزهای مهاری می شکنند ، گسیختگی در نقاط اتصال به وجود می آید . به عنوان مثال ، مهارها ممکن است لق شوند و برش اعضای قاب را منتقل نکنند یا این که خود کاملاً از مصالح بنایی بیرون کشیده شوند .

شکست در صفحه : افزایش لنگر خمشی یا نیروی برشی موجب شکست در صفحه می شود که میزان شکست به نسبت عناصر بنایی غیر مسلح بستگی دارد . نمای آجری خارجی ساختمان هایی که در آن تعداد زیادی بازو پنجره ای و یا طاقی شکل و جرزهای کوتاه بین طاق ها وجود دارد ، در مقابل برش شدیداً آسیب پذیر است . همچنین احتمال شکست خمشی این اعضا به خصوص در صورت لاغری وجود دارد .

شکست خارج از صفحه : مهار تیرچه به دیوار موجب ایجاد تکیه گاه خارج از صفحه ای برای دیوار می شود . در صورت عدم کفایت این مهارها ، دیوارهای ساختمانی بنایی غیر مسلح از کنسول های بلند و غیر مقید تا پانل های کوتاه یک طبقه همگی در هر انتها تحت تأثیر دیافراگم سقف قرار گرفته و رفتار خارج از صفحه خواهند داشت . جان پناه ، سر در پنجره ها ، درب ها و شیروانی ها عموماً بدین طریق فرو می ریزند .

شکست دیافراگم : دیافراگم ، رفتار دینامیکی درون صفحه ای دارند و انعطاف پذیری آن ها اثر قابل توجهی در عکس العمل لرزه ای ساختمان های بنایی غیر مسلح دارد . شکست دیافراگم به تنهایی ندرتاً در زمین لرزه مشاهده شده است . اما به دلیل این که رفتار دیافراگم انعطاف پذیر سقف ، مانند تیرهای عمیق بین دیوارهای باربر می باشد ، چرخش درون صفحه ای انتهای دیافراگم ها و عدم انتقال مناسب برش بین دیافراگم و دیوارهای برشی ، خسارت هایی را در گوشه های دیوارها موجب می شود .

کلیات

به هنگام طراحی ساختمان های بنایی مقادیر مشخصات مکانیکی مصالح باید تعیین شده باشد :

$F_{wc,k}$: مقاومت فشاری دیوار

$F_{wt,k}$: مقاومت کششی مشخصه دیوار

E_w : مدول ارتجاعی مشخصه دیوار

G_w : مدول برشی دیوار

M_w : ضریب شکل پذیری دیوار

به دست آوردن پارامترهای فوق ، از روی مشخصات مکانیکی اجزای تشکیل دهنده مصالح بنایی به سادگی امکان پذیر نیست . مقادیر مورد نیاز که مستقیماً به شکل و اندازه آجرها و کیفیت ملات مورد استفاده بستگی دارد ، تنها توسط آزمایشگاه تعیین می گردد . مقایسه نتایج آزمایشگاهی به دست آمده در کشورهای مختلف نشان می دهد که نمونه های با مشخصات همسان (مانند مقاومت آجرها و ملات) ولی با اشکال مختلف ، تفاوت های چشمگیری از لحاظ مقدار مشخصه های مکانیکی با هم دارند . در مورد آجرهای متفرقه که مورد

استفاده قرار می گیرند ، انجام آزمایش های دیگری نیز برای ارزیابی مقاومت فشاری و کششی دیوارهای بنایی لازم است . در این زمینه مؤسسه تحقیقات و استاندارد ایران نیز دارای نشریاتی می باشد که می تواند مورد استفاده قرار گیرد .

۵-۸-۱- مقاومت فشاری و کششی دیوارهای بنایی

مقادیر مقاومت فشاری دیوارهای بنایی ، $F_{wc,k}$ ، به صورت تجربی از نتایج آزمایشگاهی نمونه هایی که تحت بار فشاری قائم قرار گرفته اند به دست آمده است . با توجه به شباهت مصالح مصرفی استفاده از این مقادیر در طراحی ساختمان های بنایی توصیه می گردد .

اعداد داخل پرانتز مربوط به مقادیر به دست آمده در یوگسلاوی و بقیه در رمانی می باشد . مقادیر مقاومت کششی دیوارهای بنایی ، $F_{wt,k}$ ، به صورت تجربی از نتایج آزمایشگاهی نمونه هایی که تحت تأثیر فشار مورب یا اثر توأم برش افقی و بار فشاری قرار گرفته اند ، به دست آمده است . استفاده از این مقادیر نیز در طراحی دیوارهای بنایی توصیه می شود . استاندارد ۵۱۹ ایران ، مقاومت مجاز فشاری برای دیوار آجری که با توجه به اصول فنی و به صورت زنجاب چیده می شوند را بر حسب نوع ملات مصرفی برابر کسری از مقاومت انتظاری فشاری آجر در نظر و رابطه زیر را برای محاسبه آن ارائه می دهد :

$$f_{cb} = m' f_{ch}$$

که در این رابطه :

$$f_{ch} = \text{مقاومت مجاز فشاری دیوار آجری}$$

$$f_{ch} = \text{حداقل مقاومت آجر مصرفی در آزمایش استاندارد فشاری}$$

$$m' = \text{ضریبی است که طبق جدول (۵-۵) تعیین می گردد .}$$

لازم به ذکر است که ضرایب m' مندرج در جدول (۵-۵) برای پایه های فشاری با لاغری $\left[\frac{h}{t} \right]$ کوچکتر از ۱۰ معتبر می باشد (h ارتفاع و t ضخامت دیوار می باشد) چنان چه لاغری دیوار از ۱۰ تجاوز نماید ، مقاومت بر حسب لاغری و مطابق جدول (۵-۶) کاهش می یابد .

جدول ۵-۳ : مقادیر مقاومت فشاری دیوارهای بنایی ، $F_{wc,k}$ (به مگاپاسکال)

مقدار مقاومت فشاری دیوار				درجه قطعه	نوع قطعه
درجه ملات					
۲۰	۱۰	۵	۲/۵		
(۱۰/۵۰)	۴/۴۰	۳/۶۰	۲/۷۰	۲۰	بلوک سفالی ، بلوک توخالی با عمق و رج کمتر از ۱۵۰ میلی متر
----	۳/۶۰	۲/۸۰	۲/۴۰	۱۵	
-----	۲/۸۰	۲/۴۰	۲/۰	۱۰	
۴/۵	-----	-----	-----	۷/۵	بلوک سفالی سبک با عمق هر رج کمتر از ۱۵۰ میلیمتر
----	۳/۶۰	۳/۲۰	۲/۸۰	۱۰	بلوک بتنی سبک با عمق هر رج کمتر از ۱۵۰ میلیمتر
-----	۳/۰	(۳/۷۰)۲/۷۰	۲/۴۰	۷/۵	

جدول ۵-۴ : مقادیر مقاومت کششی دیوارهای بنایی : $F_{wt,k}$ (به مگا پاسکال)

مقدار مقاومت فشاری دیوار				درجه قطعه	نوع قطعه
درجه ملات					
۲۰	۱۰	۵	۲/۵		
(۰/۴۶)	۰/۱۸	۰/۱۸	(۰/۱۷)۰/۱۳	۲۰	بلوک سفالی ، بلوک توخالی با عمق و

-----	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۳	۱۵	رج کمتر از ۱۵۰ میلی متر
-----	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۳	۱۰	
(۰/۲۹)	-----	-----	-----	۷/۵	بلوک سفالی سبک با عمق هر رج کمتر از ۱۵۰ میلیمتر
-----	۰/۱۶	۰/۱۶		۱۰	بلوک بتنی سبک با عمق هر رج کمتر از ۱۵۰ میلیمتر
-----	(۰/۳۲)۰/۱۶	(۰/۲۶)۰/۱۶	(۰/۱۹)۰/۱۱	۷/۵	

جدول ۵-۵: ضریب m^3 جهت محاسبه مقاومت فشاری مجاز دیوار آجری

حدافل مقاومت آجر مصرفی		تا ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع			۱۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع			نوع ملات	
ملات	ملات	ملات	ملات	ملات	ملات	ملات	ملات	ملات	ملات
آهک	باتارد	آهک	سیمان	باتارد	سیمان	آهک	سیمان	باتارد	آهک
۰/۶۰	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۵۳	۰/۰۸	۰/۱۰۶	۰/۰۴	۰/۰۶۳	۰/۰۸۸	ضریب m^3

در جدول (۵-۶) مقادیر مقاومت فشاری دیوار برای لاغری های بین ارقام مندرج ، با درونیایی خطی قابل محاسبه هستند . همچنین ارقام مربوط به حالتی که به طور کلی مجاز نمی باشد در جدول خالی گذارده شده است . استاندارد ۵۱۹ ایران ، جدول (۵-۷) را برای مقاومت مجاز دیوارهای سنگی مختلف بر حسب نوع سنگ ، شکل تراش و همچنین نوع ملات مصرفی ، ارائه می دهد .

جدول ۵-۶: مقادیر مقاومت فشاری مجاز دیوار آجری برای لاغری های بزرگتر از ۱۰

تنشهای مجاز در حالت $\frac{h}{t} = 10$ بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع									مقادیر لاغری $\frac{h}{t}$
۲۲	۱۶	۱۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	
۲۲	۱۶	۱۲	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۱۰
۱۵	۱۱	۸	۷	۶	۶	۵	۴	۳	۱۲
۱۰	۸	۶	۵	۴	۴	۳	۳	---	۱۴
۷	۶	۴	۳	۳	۳	---	---	---	۱۶
۷	۴	۳	---	---	---	---	---	---	۱۸
۳	---	---	---	---	---	---	---	---	۲۰

جدول ۵-۷: مقاومت مجاز برای دیوارهای سنگی

مقاومت مجاز بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع برای گروههای سنگها					نوع ملات مصرفی	نوع دیوار سنگی	ردیف
E	D	C	B	A			
۶	۴	۳	۲	۲	ملات ماسه آهک	لاشه چینی با قفل و بست کامل	۱
۹	۷	۵	۳	۲	ملات باتارد		۲
۱۲	۱۰	۶	۵	۳	ملات ماسه سیمان		۳
۱۰	۸	۶	۴	۳	ملات ماسه آهک	سنگ چینی با سنگ بادبر با ابعاد نامنظم	۴
۱۶	۱۲	۹	۷	۵	ملات باتارد		۵
۲۲	۱۶	۱۲	۱۰	۶	ملات ماسه سیمان		۶
۱۶	۱۰	۸	۶	۴	ملات ماسه آهک	سنگ چینی با سنگ کلنگی و رجهای نامنظم	۷
۲۲	۱۶	۱۲	۹	۷	ملات باتارد		۸

۳۰	۲۲	۱۶	۱۲	۱۰	ملات ماسه سیمان		۹
۳۰	۲۲	۱۶	۱۰	۸	ملات ماسه آهک	سنگ چینی با سنگ تیشه ای	۱۰
۴۰	۳۰	۲۲	۱۶	۱۲	ملات باتارد	منظم با رجهای منظم گشته)	۱۱
۵۰	۴۰	۳۰	۲۲	۶۰	ملات ماسه سیمان	مانند آجر چینی)	۱۲

این استاندارد تصریح می نماید چنان چه از مقاومت های مجاز طبق جدول (۵-۷) استفاده می شود ، ضخامت دیوار سنگی نباید کمتر از ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شود . ارقام مندرج در ردیف های ۱ تا ۹ این جدول ، فقط در مورد دیوارهای سنگی با لاغری کمتر از ۱۰ مجاز می باشد چنان چه لاغری دیوار بیش از ۱۰ باشد ، باید طبق جدول (۵-۸) تصحیح گردد .

جدول (۵-۸) : مقادیر مقاومت فشاری مجاز دیوار سنگی برای لاغری های بزرگتر از ۱۰

تنشهای مجاز در حالت $\frac{h}{t} < 10$ بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع								$\frac{h}{t}$ مقادیر لاغری
۵۰	۴۰	۳۰	۲۲	۱۶	۱۲	۱۰	۸	
۵۰	۴۰	۳۰	۲۲	۱۶	۱۲	۱۰	۸	۱۰
۴۰	۳۰	۲۲	۱۵	۱۱	۸	۷	۶	۱۲
۳۰	۲۲	۱۴	۱۰	۸	۶	۵	۴	۱۴
۲۲	۱۴	۱۰	۷	۶	۴	۳	۳	۱۶
۱۴	۱۰	۷	۵	۴	۳	---	---	۱۸
۱۰	۷	۵	۳	---	---	---	---	۲۰

۵-۸-۲ مدول ارتجاعی و برشی

مقدار مدول ارتجاعی و برشی ، قابلیت تغییر شکل پذیری مصالح را تعیین می کنند . دانستن مقدار صحیح آن ها ، هنگام محاسبه پیروید ارتعاش ساختمان و همچنین توزیع برش طبقه بین دیوارهای سازه ای ، به خصوص وقتی که از انواع مختلف مصالح بنایی در یک طبقه بندی در یک طبقه بندی استفاده می شود ، لازم است . مقادیر مدول ارتجاعی ، E_w و مدول برشی ، G_w به صورت آزمایشگاهی به دست می آیند . مدول ارتجاعی به عنوان یک ضریب خطی از آزمایش فشار قائم بر روی یک دیوار بنایی به دست می آید . چنان چه به مقادیر به دست آمده از آزمایش برای E_w ، دسترسی نباشد ، می توان از رابطه بین مقاومت فشاری دیوار بنایی $F_{w.c.k}$ و مدول ارتجاعی ، E_w ، که در زیر آمده است استفاده نمود .

$$E_w = 1000 F_{w.c.k}$$

نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که مقدار واقعی E_w برای دیوارهای مختلف در محدوده زیر تغییر می کند :

$$500 F_{w.c.k} < E_w < 3000 F_{w.c.k}$$

به همین ترتیب مقدار مدول برشی را می توان از مقاومت کششی دیوار بنایی ، $F_{w.T.k}$ ، با استفاده از رابطه زیر به دست آورد :

$$G_w = 3000 F_{w.T.k}$$

و مقدار واقعی آن برای انواع مختلف دیوارها در محدوده زیر تغییر می کند :

$$1000 F_{w.T.k} < G_w < 5000 F_{w.T.k}$$

همچنین نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که تغییرات مقاومت کششی نسبت به مقاومت فشاری در دیوارهای بنایی مختلف زیاد نیست :

$$0.05 F_{w.c.k} < F_{w.T.k} < 0.07 F_{w.c.k}$$

به هر حال میانگین نسبت بین مدول ارتجاعی و مدول برشی در دیوارهای بنایی مقدار نسبتاً ثابتی به شرح ذیل به نظر می رسد :

$$\frac{EW}{GW} = 6$$

۵-۸-۳ شکل پذیری

مصالح بنایی و به خصوص مصالح بنایی غیر مسلح از مصالح سازه ای ترد و شکننده هستند . با این وجود ، همان طور که نتایج آزمایشگاهی نشان داده است ، هنگامی که مصالح بنایی تحت اثر بار قائم و افقی متناوب قرار می گیرند ، شکل پذیری معینی از خود نشان می دهند که مقدار زیادی اتلاف انرژی را به همراه دارد . (شکل ۵-۳)

با توسعه آزمایشات در این زمینه ، چرخه های هیستریزس که بیان کننده رابطه بین نیروی افقی و تغییر شکل افقی در نمونه های آزمایشگاهی می باشند ، به دست می آیند . (شکل ۵-۴)
ضریب شکل پذیری با نسبت بین تغییر شکل در حد گسیختگی و تغییر شکل در حد ارتجاعی ، منحنی ایده ال تعریف می گردد . (۵-۸)

$$\mu W = \frac{\delta MAX}{\delta O}$$

که در آن :

$$\mu W = \text{ضریب شکل پذیری}$$

$$\delta MAX = \text{تغییر شکل حداکثر}$$

$$\delta O = \text{تغییر شکل در حد ارتجاعی منحنی ایده ال}$$

ضریب شکل پذیری برای اجزای بنایی غیر مسلح ، که در برش گسیخته می شوند ، برای انواع مختلف در حدود ۲ تا ۵ می باشد . ضریب مذکور برای گسیختگی در خمش ، یا در اجزای بنایی با تسلیح افقی بیشتر می باشد . به هر حال برای طراحی مقاوم ساختمان های بنایی در برابر زمین لرزه به روش حالت حدی ، مقادیر زیر برای ضرایب شکل پذیری توصیه می گردد .

$$\mu = 1.5$$

برای مصالح بنایی غیر مسلح

$$\mu = 2.0 \text{ الی } 3.0$$

برای مصالح بنایی مسلح

ضریب شکل پذیری با توجه به گسیختگی در مود برشی یا خمشی در اجزای دیوار متفاوت است .

۷-۱ کلیات

در طی زمین لرزه های گذشته اکثر خسارات جانی در اثر ویرانی ساختمان هایی که با مصالح بنایی ساخته شده بودند ، رخ داده است . به منظور اجتناب از تلفات جانی در آینده ، کشورهای مختلف تمهیدات مختلفی در آیین نامه های خود لحاظ نموده اند که شامل ضوابط طراحی و اجرای ساختمان های بنایی برای مناطق مستعد زمین لرزه می باشد . جمع بندی و هم شکل کردن ضوابط طراحی لرزه ای که در آیین نامه های مختلف وجود دارند مانند مقادیر و ضوابط مختلف و روش های گوناگون برای تحلیل در طراحی اجزای سازه ای در ساختمان ها ، آسان نیست . ه هر حال بعضی از فرضیات و روش های تحلیل و طراحی ساختمان های بنایی که در معرض زمین لرزه قرار می گیرند در این فصل ارائه می گردد . اجرای ساختمان های مقاوم در برابر زمین لرزه بیشتر بر اساس ملاحظات اقتصادی استوار است تا مسائل تکنیکی . می توان ساختمان هایی ساخت که حتی در برابر شدیدترین زمین لرزه ها بدون خسارت مقاومت کنند ، ولی اجرای آن ها بسیار پرهزینه خواهد بود که ممکن است توجیه اقتصادی نداشته باشد . چنین طرحی تنها برای ساختمان های خاصی مانند بیمارستان ها ، ایستگاه های آتش نشانی که پایداری آن ها پس از وقوع زمین لرزه لازم است ، قابل قبول می باشد . فلسفه طراحی مقاوم ساختمان ها در برابر زمین لرزه ، میزان قابل قبولی برای مقاومت ساختمان در نظر گرفته و به دو اصل زیر توجه می کند :

الف) در برابر زمین لرزه های با شدت متوسط که در طول عمر ساختمان چندین بار ممکن است رخ دهد ، ساختمان نباید متحمل خسارات سازه ای گردد .

ب) در برابر شدیدترین زمین لرزه محتمل در ناحیه ، ساختمان نباید دچار ویرانی یا فروریختگی جزئی شده و به ساکنین آن آسیبی برسد . میزان خسارت باید چنان محدود گردد که ساختمان در اسرع وقت تعمیر و بازسازی شده و به کاربری معمول خود باز گردد .

۲-۷ نیروهای زلزله

تأثیر دینامیکی حرکات زمین بر ساختمان را می توان به طرق مختلفی ارزیابی نمود که هر یک پیچیدگی های خاص خود را دارد :

الف) استفاده از نیروهای استاتیکی معادل ، صرف نظر از مشخصات دینامیکی ساختمان

ب) استفاده از نیروهای استاتیکی معادل ، با توجه به شکل پذیری و مشخصات دینامیکی ساختمان .

پ) استفاده از تحلیل دینامیکی و شتاب نگاشتهای واقعی و مصنوعی .

در طراحی لرزه ای ساختمان ها ، هر دو مؤلفه افقی و قائم زمین لرزه باید در نظر گرفته شود . مؤلفه قائم زمین لرزه در مورد دیوارهای سازه ای خیلی حائز اهمیت نمی باشد و تنها در تیرهای با دهانه بزرگ اجزای طره ای شکل باید کنترل گردد .

۲-۲-۷-۲ نیروی افقی زلزله

۲-۲-۷-۱-۲-۲ برش پایه

در ساختمان های بنایی با ارتفاع و ابعاد محدود ، مؤلفه افقی نیروی زلزله به عنوان برش پایه مطرح می گردد ، که در واقع نتیجه نیروهای اینرسی توزیع شده در ارتفاع ساختمان می باشد که در دو جهت اصلی ساختمان اعمال می گردد .

مقدار برش پایه از رابطه زیر به دست می آید :

$$V = C \cdot W \quad (۱-۷)$$

که در آن :

V = برش پایه

C = ضریب برش پایه

W = وزن ساختمان در بالای تراز زمین ، شامل وزن سازه و اجرای ثانوی ، بخشی از بار زنده طبقات و بار مؤثر برف .

۲-۲-۲-۲-۲-۲ ضریب برش پایه

ضریب برش پایه معمولاً فاکتورهای متعددی را شامل می باشد که لرزه خیزی منطقه ، وضعیت خاک محل ، اهمیت ساختمان ، مشخصات دینامیکی و سازه ای ساختمان در آن دیده می شود .

الف) لرزه خیزی منطقه :

لرزه خیزی منطقه عموماً با حداکثر شتاب مؤثر زمین تعریف می شود و هر کشوری از مقادیر خاص منطقه خود برای طراحی استفاده می نماید . جدول (۱-۷) سه منطقه لرزه ای را به طور کلی تعریف کرده و برای هر یک ، محدوده ای از شتاب حداکثر را متذکر می گردد .

همچنین جدول (۱-۷) لرزه خیزی سه منطقه مذکور را براساس شدت MSK-64 مقیاس کرده است .

جدول ۱-۷ : مقادیر شتاب حداکثر زمین براسا مقیاس شدت MSK-64 و آیین نامه ۲۸۰۰ ایران

لرزه خیزی منطقه	کم	متوسط	زیاد
درجه شدت زلزله در مقیاس MSK-64	۷	۸	۹
شتاب زمین (a/g) مربوط به مقیاس MSK-64	۰/۱-۰/۰۵	۰/۲ - ۰/۱	۰/۳۵-۰/۲

۰/۳۵	۰/۳ و ۰/۲۵	۰/۲	شتاب مبنای طرح (a/g) براساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران
------	------------	-----	---

ب) ضریب دینامیکی یا ضریب بازتاب ساختمان

این ضریب ، در واقع فاکتور تشدید دینامیکی را که به پیوند طبیعی ساختمان و مشخصات خاک مربوط می شود ، بیان می دارد . در این مورد نیز هر کشوری ، از طیف پاسخ ایده ال شده ای که با شرایط ژئوتکنیکی آن سازگاری دارد ، در آیین نامه خود استفاده می کند . پیوند پایه ساختمان پایه بنایی با ارتفاع متعارف از ۰/۵ تا نیه تجاوز نمی کند بنابراین مقدار ضریب دینامیکی باید یک مقدار ثابتی باشد که حداکثر مقدار آن در طیف پاسخ داده شده است . برای محاسبه این ضریب می توان به مرجع مراجعه نمود .

پ) ضریب رفتار

این ضریب در بر دارنده شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی در سیستم سازه ای می باشد . در مورد ساختمان های بنایی مقدار این ضریب با توجه به نوع سیستم سازه ای اعم از مصالح بنایی غیر مسلح ، مصالح بنایی مسلح یا مصالح بنایی دورگیری شده . (کلاف دار) ، متفاوت است .
مطالعات آزمایشگاهی و مشاهدات بعد از زمین لرزه نشان می دهند ، برای ضریب رفتار در سیستم های مختلف سازه ای در ساختمان های بنایی ، مقادیر زیر می توانند مورد استفاده قرار گیرند :

- مصالح بنایی غیر مسلح $R = 1$
- مصالح بنایی مسلح و دورگیری شده با کلاف $R = 1.5 - 2.5$

ت) ضریب اهمیت

ضریب اهمیت ساختمان بر حسب درجه اهمیت و کاربری آن متفاوت است . این ضریب برای ساختمان های با اهمیت زیاد مانند بیمارستان ها ، مراکز آتش نشانی ، نیروگاه ها ، تأسیسات برق رسانی ، مدارس ، فروشگاه ها ، کتابخانه ها و انبارهای سوخت ، برابر ۱/۲ برای ساختمان های با اهمیت متوسط مانند ساختمان های مسکونی ، اداری و تجاری ، هتل ها و پارکینگ ها ، برابر ۱ و برای ساختمان های با اهمیت کم مانند انبار علوفه یا ساختمان های موقت برابر ۰/۸ می باشد .
بر اساس این ضریب برش پایه از رابطه زیر محاسبه می گردد :

$$C = \frac{ABI}{R}$$

که در آن :

A = شتاب مبنای طرح بر اساس جدول (۷-۱)

B = ضریب دینامیکی یا بازتاب ساختمان

I = ضریب اهمیت ساختمان

R = ضریب رفتار .

لازم به توضیح است که UCBC-97 نسبت $\frac{B}{R}$ را برای مقاوم سازی ساختمان های مسکونی معادل ۰/۳۳ در نظر می گیرد .

۲-۲-۳- توزیع نیروی زلزله در ارتفاع ساختمان

در ساختمان های بنایی ، با توجه به شکل مودی پایه ، از توزیع خطی نیروهای اینرسی در ارتفاع ساختمان استفاده می شود . نیروهای لرزه ای طبقات ، SI از رابطه زیر محاسبه می گردد .

$$S_I = V \frac{HIWI}{\sum_{I=1}^N HIWI} \quad (۳-۷)$$

که در آن :

S_I : نیروی زلزله در تراز طبقه I ام

H_I : ارتفاع زبانه ای I ام از تراز کف ترازه

W_I : وزن طبقه I ام

N : تعداد طبقات

۷-۲-۴- تعداد طبقات

تحلیل سازه ای در برابر نیروهای زلزله ، که طبق قاعده بر مرکز جرم طبقات وارد می شوند ، باید در دو جهت اصلی ساختمان و به طور مجزا انجام گیرد . چنان چه مرکز جرم طبقه بر مرکز سختی آن طبقه منطبق نباشد پیچش به وجود می آید . در تحلیل و برآورد مقاومت لرزه ای ساختمان های بنایی ، با قائل شدن خروج از محوری بین مراکز جرم و سختی طبقه به صورت زیر اثرات پیچش در نظر گرفته می شود :

$$e = e_1 + e_2 \quad (۴-۷)$$

که در آن :

e_1 : خروج از محوری بین مرکز جرم و مرکز سختی در طبقه .

e_2 : خروج از محوری تصادفی که ناشی از تغییرات حرکت زمین در طول ساختمان است و موجب پیچش تصادفی می گردد . معمولاً این مقدار ، معادل ۵٪ بعد بزرگتر ساختمان در پلان در نظر گرفته می شود .

۷-۲-۵- نیروهای قائم زلزله

نیروهای قائم زلزله با ضرب کردن بارهای ثقلی اجزای سازه ای در ضریب زیر محاسبه می گردد :

$$c_v = \pm 0.7c \quad (۵-۷)$$

در آیین نامه های ملی نیز روش مشابهی برای محاسبه نیروی قائم زلزله وجود دارد .

۷-۲-۶- نیروی زلزله برای اجزای غیر سازه ای

کل نیروی زلزله که بر یک عضو غیر سازه ای اثر می کند ، با ضرب کردن وزن آن در ضریب C که بر حسب لرزه خیزی منطقه در جدول (۷-۲) منعکس است ، محاسبه می گردد .

جدول ۷-۲ مقادیر ضریب C برای اجزای غیر سازه ای

H	M	L	جهت نیروی زلزله	جزء غیر سازه ای
۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۸	عمود بر سطح عضو	دیوارهای جداکننده
۰/۸	۰/۴	۰/۲	عمود بر سطح عضو	دیوارهای انتها آزاد یا هر نوع دیوار طره ای
۱/۲	۰/۶	۰/۳	در هر جهت	الحاقات ساختمان ، دودکش ها

۷-۳-۳- تحلیل مقاومت لرزه ای ساختمان های بنایی

در برآورد مقاومت لرزه ای ساختمان های بنایی از روش های ارتجاعی و غیر ارتجاعی (غیر خطی) استفاده می شود . مدل ریاضی برای محاسبه تأثیر نیروی جانبی بر ساختمان های بنایی در هر دو روش ، کم و بیش یکسان است . ولی روش های غیر خطی امکان در نظر گرفتن رفتار واقعی تر ساختمان های بنایی ، هنگامی که در معرض زمین لرزه قرار می گیرند را فراهم می آورند .

۷-۳-۱- مدل ریاضی

ساختمان های بنایی رفتاری مشابه سیستم های دیوار برشی از خود نشان می دهند . بنابراین فرضیات و مدل های ریاضی که برای طراحی لرزه ای این نوع سیستم سازه ای استفاده می شوند ، برای ساختمان های بنایی نیز کاربرد دارند . مدل های ریاضی که برای تحلیل سازه های بتنی مسلح استفاده می شوند را می توان به این

منظور ساده و استفاده نمود. فقط باید در نظر داشت که ساختمان های بنایی، ارتفاع محدودی داشته و اثرات برشی نیروی جانبی بر ساختمان غالب است. دیوارهای برشی بنایی معمولاً به صورت طره های قائم عمل می نمایند. که در پایه، گیردار و در انتها به وسیله کف های ساختمان به یکدیگر متصل می باشند. کف ها به عنوان دیافراگم های صلب افقی، نیروهای جانبی را بین دیوارها به نسبت سختی آن ها توزیع می نمایند. این فرض تا هنگامی به قوت خود باقی است که دیوارهای بنایی طره ای که در یک صفحه قرار گرفته اند، به وسیله دال های انعطاف پذیری به یکدیگر متصل شده باشند. این دال ها لنگر انتقالی بین دیوارها را به حداقل می رساند. (شکل ۷-۱) بازشوهای داخل دیوار باید حتی المقدور کوچک در نظر گرفته شوند تا عمل طره ای دیوار ها را تحت الشعاع قرار ندهند.

در دیوارهای بنایی اغلب در و پنجره هایی قرار دارند که اشکال (۷-۲) و (۷-۳) نظایر آنان را نشان می دهند. در این مورد، فرض عمل طره ای دیوارهای بنایی دیگر صادق نیست. تحت بار جانبی، ستون های کنار پنجره ها شکل (۷-۲) و یا تیرهای عمیق زیر پنجره ها (شکل ۷-۳) از نقاط ضعف دیوارها به شمار می روند.

۲-۳-۷- سختی دیوار

نیروی جانبی زلزله بین دیوارهای یک طبقه به نسبت سختی آن ها توزیع می گردد، و این مسئله به دلیل عمل دیافراگمی کف های صلبی در طبقات است. سختی یک دیوار، به ابعاد آن، مشخصات مکانیکی (مدول برشی و ارتجاعی) و وضعیت تکیه گاه های آن در بالا و پایین بستگی دارد. برای یک ستون یا جزء دیوار، که در بالا و پایین خود گیردار است، سختی ارتجاعی از رابطه ساده زیر محاسبه می گردد:

$$K = \frac{g}{1.2h} \cdot \frac{A}{1 + 0.83 \frac{g}{e} \left[\frac{h}{l} \right]^2} \quad (7-6)$$

برای یک ستون یا دیواره طره، سختی ارتجاعی از رابطه ساده زیر محاسبه می گردد:

$$k = \frac{g}{1.2h} \cdot \frac{A}{1 + 3.33 \frac{g}{e} \left[\frac{h}{l} \right]^2} \quad (7-7)$$

که در آن:

k = سختی ارتجاعی دیوار

A = سطح مقطع افقی دیوار

h = ارتفاع دیوار

l = طول دیوار

e = مدول ارتجاعی دیوار

g = مدول برشی دیوار

۲-۳-۷-۳ مراحل محاسبه

۲-۳-۷-۱- روش ارتجاعی

در روش ارتجاعی معمولاً مراحل محاسباتی زیر انجام می گیرد:

الف) جرم ساختمان به صورت متمرکز در تراز سقف ها تعیین شده و بار قائم دیوارها نیز در آن ملحوظ می گردد.

ب) نیروهای افقی زلزله یا برش پایه مؤثر بر ساختمان در هر یک از امتداد های اصلی به روش های مندرج در آیین نامه ها محاسبه می گردد.

پ) با استفاده از مدل های ریاضی مناسب ، سختی دیوارها ارزیابی می شود .
 ت) برش طبقه بین دیوارها به نسبت سختی آن ها توزیع می شود و نیروهای مقاطع (لنگر های خمشی ، نیروهای برشی و محوری) محاسبه می گردد .

ث) در نهایت ، ظرفیت مقاطع حساب شده و با نیروهای داخلی مقایسه می شود .

۷-۳-۲- روش غیر خطی

روش محاسبه به شرح زیر است :

الف) جرم ساختمان که در تراز سقف ها متمرکز است و بارهای قائم دیوارها محاسبه می شود .
 ب) مقاومت و مشخصات تغییر شکل پذیری دیوارها به شکل منحنی ایده ال شده $H-\delta$ ، با فرض دیوار برشی با ستون های بین پنجره ای ، محاسبه می گردد (شکل ۷-۲ را ببینید) . هر دیوار به صورت گیردار در دو انتها در نظر گرفته می شود .

پ) موقعیت مراکز جرم و سختی طبقات محاسبه شده و زاویه چرخش ساختمان در اثر پیچش به دست می آید .

ت) با افزایش تدریجی تغییر مکان مرکز جرم طبقه ، نمودار نیروی طبقه - تغییر مکان به دست می آید و چنان چه لازم باشد با منحنی های ایده ال شده $H-\delta$ دیوارها تطبیق و زاویه چرخش ساختمان تصحیح می گردد (شکل ۷-۴) .

ث) مقاومت لرزه ای ساختمان به صورت ضریب برش پایه با تقسیم حداکثر نیروی مقاوم جانبی بر وزن ساختمان محاسبه می شود .

۷-۳-۴- مقاومت مصالح بنایی برای طرح لرزه ای

آیین نامه های مختلف تنش های مجاز مختلف را پیشنهاد نموده اند که رابطه آن با نیروهای طرح نیز بیان شده است . به دلیل این که مقاومت مصالح بنایی به طور وسیعی در تمام دنیا متفاوت می باشد ، لازم است که تنش های نهایی بر اساس نتایج آزمایشگاهی و مطابق نمونه های اجرایی رایج در همان کشور تعیین شوند . این رابطه تقریبی مناسب است که تنش های مجاز مصالح بنایی غیر مسلح ، 0.4 برابر مصالح بنایی مسلح در نظر گرفته شوند . نتایج آزمایشگاهی همواره در دسترس نیست تا تنش مجاز تعیین شود . به همین دلیل پرستلی (priestley) رابطه زیر را برای مصالح بنایی با سیمان توصیه کرده است :

$$f'_m = 0.45 a f'_{cb} + 0.675 (1-a) f'_g \quad (۸-۷)$$

که در آن :

f'_m : مقاومت منشوری مصالح بنایی (منظور چند رج آجر چینی به طول و عرض و ارتفاع مطابق با آیین نامه است که بر اساس آزمایش ساخته می شود) .

f'_{cb} : مقاومت فشاری واحد مصالح بتنی .

f'_g : مقاومت ملات

A : نسبت سطح مقطع خالص به سطح مقطع کل برای واحد مصالح بنایی

به طور کلی وقتی که تنش های برشی برای سازه های بنایی غیر مسلح از حد معینی فراتر رود ، مطابق آیین نامه لازم است تمام نیروی برشی توسط میلگردها تحمل می شود .

مصالح بنایی مطابق آیین نامه ubc به مصالحی گفته می شود که سطح مقطع تسلیح چه افقی و چه قائم بیشتر از 0.007 سطح مقطع کل باشد . در ضمن مجموع میلگردهای افقی و قائم نیز بیشتر از 0.002 سطح مقطع مربوطه باشد .

در اینجا جهت تعیین ظرفیت لرزه ای ، پایداری و روش انرژی به جای میزان تنش ، مبنا قرار می گیرد . هیچ یک از دو روش تحلیل مقاومت ارتجاعی و نهایی نمی توانند ظرفیت لرزه ای را پیش بینی کنند و نتایج هر دو

روش محافظه کارانه می باشد. شکل (۵-۷) رابطه نیرو - تغییر مکان را برای دیوار بنایی غیر مسلح تحت بار جانبی استاتیکی نشان می دهد.

رفتار دیوار تا رسیدن به نقطه a به روی منحنی، رفتاری ارتجاعی است و شروع ایجاد ترک در پایه می باشد که بلافاصله پس از آن نیرو F_a به F_b تنزل پیدا می کند. معادله تعادل نیروهای استاتیکی در مقطع ترک خورده برابر است با:

$$F_b = \frac{(p+w)L}{2h} \quad (9-7)$$

سپس نیروی F تا صفر کاهش پیدا می کند. که مطابق با نقطه c بر روی منحنی می باشد. در حالتی که چرخش بسیار کوچکی وجود داشته باشد، تغییر مکان افقی مطابق شکل (۵-۷) مقدار X خواهد بود. در نتیجه با نوشتن تعادل لنگر حول نقطه چرخش:

$$FH = w\left[\frac{L}{2} - \frac{x}{2}\right] + p\left[\frac{L}{2} - x\right] \quad (10-7)$$

که:

$$X = \frac{WL + PL - 2FH}{2P + W} \quad (11-7)$$

از شکل (۵-۷) می توان مشاهده نمود که از نقطه A به بعد، نمو سختی منفی می شود. به طوری که در اثر نیروی F_A که به طور تدریجی اعمال می شود فروریختگی اتفاق می افتد مگر این که نیرو F_A به عناصر سازه ای سخت تری منتقل شود. البته برای یک پالس از شتاب زمین، لزوماً این مطلب صادق نیست. زیرا در اثر این پالس، چرخش اولیه ای به وجود می آید که برای رسیدن به نقطه شکست باید زمان کافی وجود داشته باشد. یعنی این که تداوم آن باید در یک فاصله زمانی حفظ شود. اگر بعد از شروع چرخش دیوار، جهت شتاب زمین سریعاً عوض شود، آن گاه دیوار، دوباره، پایداری خود را به دست می آورد. در اثر بار زلزله، تغییر مکان ایجاد شده ممکن است که حتی از X_E نیز بیشتر شود و طوری که یک پالس قوی در جهت عکس اتفاق بیفتد، دیوار می تواند به حالت پایدار خود برگردد.

شکست خارج از صفحه عموماً در اثر ناپایداری رخ می دهد. شکل (۶-۷) عکس العمل سازه شکل (۵-۷) را تحت اثر بارگذاری رفت و برگشتی نشان می دهد. برای سازه های ساده، بار نهایی می تواند به طور تقریبی با روش انرژی ذخیره شده تعیین شود. در این روش، دیوار را با یک سازه ارتجاعی جایگزین می کنند که عکس العمل این سازه توسط خط چین در شکل (۶-۷) نشان داده شده است. انرژی لازم جهت شکست تقریباً برابر با سازه های واقعی و معادل می باشد.

در عمل، X_B خیلی کوچکتر از X_E می باشد. سختی معادل را می توان به صورت رابطه زیر نوشت:

$$K_E = F_B / X_C$$

$$F_E = \frac{1}{2\mu} \left[\frac{KE}{W + P} \right]^{1/2}$$

با داشتن F_E می توان تغییر مکان ممکن را از روش طیف بازتاب و یا روش های دیگر که قابل اعمال به سازه های ارتجاعی می باشند، محاسبه نمود. معیار پایداری عبارت است از $X > X_C$. برای ساختمان های بنایی چند طبقه مسئله ارزیابی مشکل تر خواهد بود و می توان به مراجعی که از روش های انرژی استفاده کرده اند مراجعه نمود.

۴-۷- یک روش توصیه شده برای ارزیابی مقاومت

۴-۷-۱- محدودیت تنش خمشی

حد مجاز مقاومت جانبی را می توان با معادل قرار دادن تنش فشاری بیشینه، یعنی F_{MAX} از رابطه (۱۴-۷) با مقدار مجاز F_A ، تعیین نمود. به دلیل این که تنش لبه دیوار ترکیبی از هر دو تنش محوری و خمشی است

و این حقیقت که گرادیان تنش درون صفحه اغلب دیوارها خیلی کوچک می باشد. بنابراین به جاست که تنش محوری مجاز کمتر را در مقابل F_B که تنش مجاز بالاتری را پیشنهاد می دهد انتخاب نمود.

$$F_{MAX} = \frac{2P}{3B[\frac{L}{2} - \frac{Hh}{P}]} \quad (۱۴-۷)$$

با جایگزین F_A به جای F_{MAX} و H_A به جای H در رابطه (۱۴-۷) ظرفیت مجاز نیروی جانبی مطابق رابطه ی زیر تعیین می شود.

$$h_A = \frac{P}{3BHFA} [\frac{3BL}{2} FA - 2P] \quad (۱۵-۷)$$

طرفین معادله فوق بر سطح $A (L \times B)$ تقسیم می شوند و بدین ترتیب تنش برشی متوسط (H_A تقسیم بر سطح مقطع کل، BL) به دست می آید.

$$F_{VA} = \frac{HA}{BL} = \frac{P}{3BHFA} [3/2 FA - \frac{2P}{BL}] = \frac{P}{BH} [1/2 - 2/3 \frac{FA}{fA}] \quad (۱۶-۷)$$

و از آنجا:

$$F_{VA} = FA [\frac{L}{H}] [1/2 - 2/3 \frac{FA}{fA}] \quad (۱۷-۷)$$

که در آن F_A تنش قائم اسمی و برابر است با $\frac{P}{BL}$.

جالب توجه است که نسبت L روی H می تواند از بقیه پارامترهای رابطه (۱۷-۷) جدا باشد. (غیر ممزوج باشد) و تنش برشی متوسط و تنش فشاری متوسط قائم برای نسبت های مختلف $\frac{FA}{fA}$ ارتباط خطی خواهند داشت که در شکل (۷-۷) نشان داده شده است.

در این نمودار نسبت ابعاد ظاهری دیوار $1/0$ در نظر گرفته شده است. برای نسبت های دیگر دیوار می توان به سادگی با ضرب مقادیر خوانده شده تنش های برشی در مقدار نسبت ابعاد دیوار، مقادیر نسبی را به دست آورد.

در شکل (۷-۷)، خط انتهایی برای نسبت F_A به F_A برابر $0/5$ می باشد و نشان دهنده حالتی است که یا تنش های خمشی و محوری یکسان هستند و یا تنش کششی خالص وجود ندارد. هر نوع ترکیبی از تنش برشی، F_{VA} و تنش فشاری، F_A ، که نتیجه آن ها نقطه ای زیر این خط باشد، بیانگر حالتی است که آنجائیکه تنش های قائم به اندازه کافی بالاتر از تنش برشی است و بستر دیوار، دارای تنش فشاری خواهد بود. پس این خط، ارائه کننده حد پایینی رابطه (۱۷-۷) می باشد.

همچنین می توان آن را به عنوان نیروی جانبی مجاز که توسط آیین نامه های آمریکا محدود شده بر اساس محدودیت تنش کششی خمشی (در این حالت F_A برابر صفر است) استنباط نمود.

۷-۴-۲- محدودیت تنش برشی

اگر رفتار پس از ترک خوردگی مانند بخش قبل، براساس خمش دیوار باشد، آنگاه محدودیتهایی باید برای در نظر گرفتن کاهش مقاومت برشی توام با ترک خمشی تعیین می شود.

فرض براین است که مقاومت برشی مستقیماً به طول قسمت ترک نخورده دیوار بستگی دارد. توجه شود که فقط تنش برشی صفر از عرض ترکهای خمشی باز می تواند منتقل شود و تنها قسمت ترک نخورده دیوار در مقابل برش مقاومت مؤثر دارند به دلیل اینکه طولانی ترین ترک های خمشی در بستر دیوار واقع شده اند، کاهش در مقاومت برشی در این ناحیه ارزیابی شده است. پس سطح مؤثر دیوار در مقابل برش شامل سطح مستطیلی به فاصله d از طول و ارتفاع H همانند شکل (۷-۸) می باشد. اگر چه این فرض احتمالاً غیر واقعی

است ولی محافظه کارانه می باشد و به مهندس طراح اجازه می دهد که به مقادیر آئین نامه برای تنش برشی مجاز اطمینان داشته باشد .

به منظور ساده سازی مسئله و سازگاری با فرضهای قبلی ، طول قسمت ترک نخورده دیوار d ، برای حالت خاص F_A برابر صفر ، تعیین شده است . اگر نیروی برشی افقی H به اندازه کافی کوچک باشد به طوریکه ترک خوردگی در قسمت بستر به وجود نیاید آنگاه D برابر طول دیوار یعنی L خواهد شد . بدین ترتیب روابط زیر حاصل خواهند شد :

$$D = L \quad \text{آنگاه} \quad H < \frac{PL}{6H} \quad \text{اگر} \quad (18-7 \text{ الف})$$

$$D = \frac{SL}{2} = \frac{3Hh}{P} \quad \text{آنگاه} \quad H \geq \frac{PL}{6H} \quad \text{اگر} \quad (18-7 \text{ ب})$$

اگر نیروها به اندازه ای باشند که دیوار ترک بخورد آنگاه فاصله D قسمتی از طول کلی دیوار مطابق رابطه (18-7 ب) خواهد بود . این رابطه با نوشتن تعادل لنگر حول پنجه دیوار به دست می آید . توزیع تنش فشاری در بستر دیوار نیز مثلثی فرض شده است . طول قسمت ترک نخورده دیوار را با تقسیم طرفین رابطه (

$$18-7 \text{ ب}) \text{ بر } L \text{ و جایگذاری } \frac{Fv}{Fa} \text{ به جای } \frac{H}{P} \text{ می توان به صورت زیر نوشت}$$

$$\frac{D}{L} = \frac{3}{2} - \left[\frac{H}{L} \right] \left[\frac{Fv}{Fa} \right] \quad (19-7)$$

رابطه فوق دال بر ارتباط تنش برشی دیوار در پنجه فشاری یعنی F_{va} نسبت $\frac{Fa}{Fa}$ در رابطه (17-7) می باشد .

اگر فرض شود که خمش بر برش حاکم باشد آنگاه F_{va} برابر F_v خواهد بود و نسبت $\frac{Fv}{Fa}$ از رابطه (17-7) در رابطه (19-7) جایگزین می شود و رابطه (20-7) بدست می آید .

$$\frac{D}{L} = \frac{3}{2} - 3 \left[\frac{H}{L} \right] \left[\frac{L}{H} \right] \left[\frac{1}{2} - \frac{2Fa}{3Fa} \right] \quad (20-7)$$

با ساده کردن رابطه (20-7) می توان طول قسمت ترک نخورده دیوار را مطابق زیر بدست آورد .

$$\frac{D}{L} = 2 \left[\frac{Fa}{Fa} \right] \quad \text{برای} \quad F_a \leq 0.5 Fa \quad (21-7)$$

رابطه فوق تنها به حالاتی که F_a کوچکتر از نصف F_a باشد محدود شده است . برای مقادیر تنشهای فشاری قائم برابر با محدودیت ، دیوار در طول خود دارای تنش فشاری خواهد بود ($D = L$) . نسبت F_a به F_a برابر 0/5 در شکل (7-7) با خط چین نشان داده شده است .

عموماً مقاومت برشی بر حسب حاصل ضرب تنش برشی مجاز F_v در سطح مقطع کل جان مقطع بیان می شود . هر نوع کاهش در سطح برشی مؤثر که ناشی از ترک های خمشی است را می توان بر حسب کاهش معادل در تنش برشی مجاز بیان نمود . بنابراین تنش برشی مجاز F_v بر حسب کسری از تنش برشی مجاز برای یک دیوار سالم و ترک نخورده ، F_{v0} بیان می شود .

پس تنش مجاز متناسب با ترک های دیوار کاهش می یابد بنابراین تخمین ساده ای از تنش برشی مجاز که اثرات ترک های خمشی را در بر می گیرد را می توان از رابطه (22-7) به دست آورد .

$$\frac{Fv}{Fv0} = \frac{D}{L} = 2\left[\frac{Fa}{Fa}\right] \quad \text{برای} \quad Fa \leq 0.5 Fa \quad (22-7)$$

با ضرب ضریبی معادل $2\left[\frac{Fa}{Fa}\right]$ جهت بر شمردن توسعه ترک های خمشی ، مقادیر مجاز تنش برشی آیین نامه $Fv0$ کاهش می یابد .

۷-۴-۳- روش ارزیابی پیشنهادی

با استفاده از رابطه (۷-۱۷) ظرفیت خمشی نهایی جانبی دیوار ترک خورده به راحتی بر حسب تنش فشاری قائم F_a و تنش فشاری مجاز F_a برآورد می شود . ظرفیت به مقدار تنش مجاز برشی آیین نامه $Fv0$ بستگی دارد و وسعت ترک های خمشی با استفاده از رابطه (۷-۲۲) می تواند کنترل شود . برای نشان دادن صحت عمل این روش ، ظرفیت جانبی دیوارهای مورد آزمایش برآورد شده و با مقاومت واقعی آن ها مقایسه شده است . به جای کاربرد تنش های فشاری مجاز در رابطه (۷-۱۷) مقاومت فشاری منشوری در آزمایش به کار رفته است . به طوری که یک ارتباط مستقیم با مقاومت نهایی اندازه گیری شده بتوان به دست آورد . همچنین نتایج اندازه گیری شده آزمایش های برشی غیر مخرب در محل به جای تنش های مجاز برشی در رابطه (۷-۲۲) به کار رفته است . حد فاصل مقاومت های پیش بینی شده از ۸۹٪ تا ۱۰۴٪ مقادیر اندازه گیری شده آزمایش ، تأییدی بر این روش می باشد .