



## ارائه روشی مبتنی بر مبانی تحقیقاتی و بررسی های تجربی برای مقاوم سازی ساختمان های بنایی

جواد رزاقی<sup>۱</sup>، مرتضی گودرزی دهریزی<sup>۲</sup>

۱- استاد یار دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران [javad.r@guilan.ac.ir](mailto:javad.r@guilan.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران [morteza791215@yahoo.com](mailto:morteza791215@yahoo.com)

[morteza791215@yahoo.com](mailto:morteza791215@yahoo.com)

### خلاصه

این مقاله به ارائه یک روش مقاوم سازی برای ساختمان های بنایی می پردازد در این روش با در نظر گرفتن رفتار نامناسب دیوارهای بنایی در بارهای لرزه ای که اغلب باعث انهدام کلی ساختمان و تلفات جانی و مالی زیادی در زلزله های گذشته شده است، با تعبیه عناصر فلزی در جاهای مناسب ساختمان، دیوارهای بنایی نقش خود را با میانقاب ها در قاب های تشکیل شده عوض می کنند و به این ترتیب می توان از رفتار نسبتاً مناسب قاب های مرکب در طرح لرزه ای ساختمان استفاده نمود. در این مقاله سعی شده است مراحل مختلف محاسباتی و اجرایی این روش با ارائه یک مثال واقعی توضیح داده شود.

کلمات کلیدی: ساختمان بنایی، مقاوم سازی، قاب های مرکب، میانقاب

### مقدمه

آمار و ارقام حاکی از تعداد زیاد ساختمان های بنایی در مناطق شهری و روستایی می باشد، از طرف دیگر تجربه زلزله های گذشته موید این مطلب است که ساختمان های بنایی آسیب پذیرترین سازه ها در بار های لرزه ای می باشد. در این میان روش های مختلفی برای مقاوم سازی آن ها ارائه شده است، روش ارائه شده در این مقاله حاصل حضور، بررسی و اصلاح طرح های مقاوم سازی ارائه شده در پروژه مقاوم سازی شهرستان بروجرد می باشد. این پروژه که به دنبال زلزله فروردین ماه ۱۳۸۵ استان لرستان انجام شده، محک جدی برای طرح های مقاوم سازی به شمار می رود. در روش ارائه شده ضمن ایجاد یک سیستم ثانویه مطمئن (متشکل از عناصر باربر فلزی) در جاهای مناسب ساختمان، علاوه بر افزایش تعداد مسیر های انتقال بار و درجات نامعینی، بارهای ثقلی ساختمان به طور مناسبی مهار می گردند و به این ترتیب حاشیه ایمنی مطلوبی برای جلوگیری از انهدام کلی ساختمان بنایی که در زلزله های نسبتاً شدید احتمال وقوع آن وجود دارد، فراهم می آید. از طرف دیگر قاب های فلزی در اطراف دیوار های آجری تشکیل می شود که ضمن مسلح کردن ساختمان بنایی و افزایش شکل پذیری، رفتار نامناسب دیوار های آجری را با رفتار مناسب قاب های مرکب جایگزین نموده و می توان از ظرفیت قاب های مرکب برای طرح لرزه ای ساختمان استفاده نمود. از خصوصیات این روش مقاوم سازی می توان به سطح ایمنی بالا، تطابق کامل مراحل طرح و اجرا با شرایط بومی ساخت و ساز در ایران، امکان انجام تغییرات معماری و احداث یک طبقه جدید در ساختمان می باشد که می توانند به عنوان مشوق هایی برای استقبال مردم از مقاوم سازی ساختمان های بنایی باشند. کلیه مراحل این روش در قالب ارائه طرح مقاوم سازی یک نمونه واقعی ساختمان بنایی توضیح داده می شود. در پایان تصاویری از مراحل اجرایی آن ارائه می شود.

<sup>۱</sup> استاد یار دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد سازه، دانشگاه گیلان



## روش های مقاوم سازی موجود

دستورالعمل های داخلی مهم و معتبر در زمینه مقاوم سازی ساختمان های بنایی شامل آیین نامه ۲۸۰۰، دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود و دستورالعمل تحلیل آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای ساختمان های بنایی غیر مسلح موجود، هر کدام استراتژی متفاوتی نسبت به ساختمان های بنایی دارند. فصل سوم آیین ۲۸۰۰ که تنها مرجع داخلی در زمینه طرح و اجرای ساختمان های بنایی می باشد، ضوابط و معیارهای ارزیابی برای ساختمان های بنایی دارد که تجربیات زلزله های گذشته حاکی از آن است که ساختمان هایی که به طور کامل این ضوابط را رعایت نموده اند رفتار مناسبی در مقابل زلزله از خود نشان داده اند. فصل هفتم دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود در نگرشی متفاوت نسبت به سایر فصول خود، در مورد ساختمان های بنایی مقدار برش پایه و مقاومت برشی دیوارهای بنایی را برای ارزیابی کمی این ساختمان ها ارائه داده است، سپس ضمن دسته بندی نواقص ساختمان های بنایی در هفت دسته مختلف ضوابطی را برای ارزیابی این نواقص ارائه داده است که در اغلب آنها ملاک عمل ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ می باشد. علی رغم ارائه روش ساده بهسازی در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود که شامل مشخص کردن نقص و ارائه راهکار برای برطرف کردن نقص است، دستورالعمل تحلیل آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای ساختمان های بنایی غیر مسلح موجود در روشی متفاوت فرآیندی نسبتاً پیچیده را برای تحلیل پایه های بنایی ارائه داده است که از بحث درباره آن خودداری می شود.

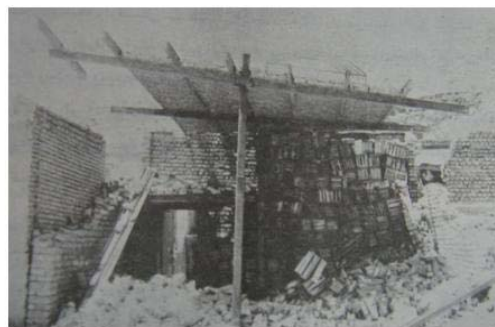
## رفتار ساختمان های بنایی در زلزله های گذشته

تجربه ی زلزله های گذشته نشان دهنده خسارت زیاد ساختمان های بنایی در زلزله های مخرب و نیمه مخرب است. به طوری که تکرار این تجارب تلخ موجب پدید آمدن این گمان شده است که ساختمان های بنایی اصولاً فاقد مقاومت اند. آزمایش های مقاومت برشی که از طرف پژوهشگران روی پایه های بنایی انجام می شود و بعضاً مقاومت های بالایی را نیز نشان می دهد، در مقابل این مشاهدات از درجه اعتبار ساقط می شود و ما را به این مطلب رهنمون می سازد که این بررسی ها هر چه باشد نمی تواند این واقعیت که ساختمان های آجری غیر مسلح آسیب پذیر ترین سازه ها در مقابل زلزله اند، را تغییر دهد. پس معضل ناپایداری را باید در ماهیت نیروهای زلزله و نحوه پاسخ ساختمان های آجری به آن دانست.

ساختمان های بنایی به دلیل قدمت زیاد و ضعف مقاومت برشی دیوارهای آنها که عناصر اصلی لرزه بر می باشند از مقاومت برشی نسبتاً کمی برخوردارند، از طرف دیگر به دلیل عدم شکل پذیری ساختمان های بنایی غیر مسلح، نیروی طلب زلزله در آنها بسیار بیشتر از ساختمان های شکل پذیر فلزی می باشد و به این دلایل این ساختمان ها در مقابل زلزله به شدت آسیب پذیر می باشند. پایه های بنایی که مهم ترین عناصر مقاوم در برابر بارهای جانبی می باشند، در بارهای لرزه ای نسبتاً شدید تحت حرکت رفت و برگشتی به نام تلو قرار می گیرند و مرتب روی پنجه و پاشنه جابجا می شود و در صورت تداوم زلزله حرکت تلو سبب سست شدن پایه ها و در نتیجه کاهش دوره تناوب می شود که به نوبه خود سبب افزایش شتاب پاسخ و یا نیروهای زلزله می شود، بنابراین از یک سو مقاومت ساختمان کم می شود و از سوی دیگر نیروهای زلزله افزایش می یابند و بیش از پیش ساختمان در معرض انهدام قرار می گیرد [۱]. بنابراین روش مقاوم سازی که در مورد این ساختمان ها بایستی پیاده شود، حتی المقدور سطح ایمنی نسبتاً مناسبی را فراهم آورده که در زلزله های آتی تلفات مالی و جانی به حداقل ممکن رسیده و به این ترتیب قدمی در راه حفظ سرمایه های ملی برداشته شود.

## روش مقاوم سازی پیش نهادی

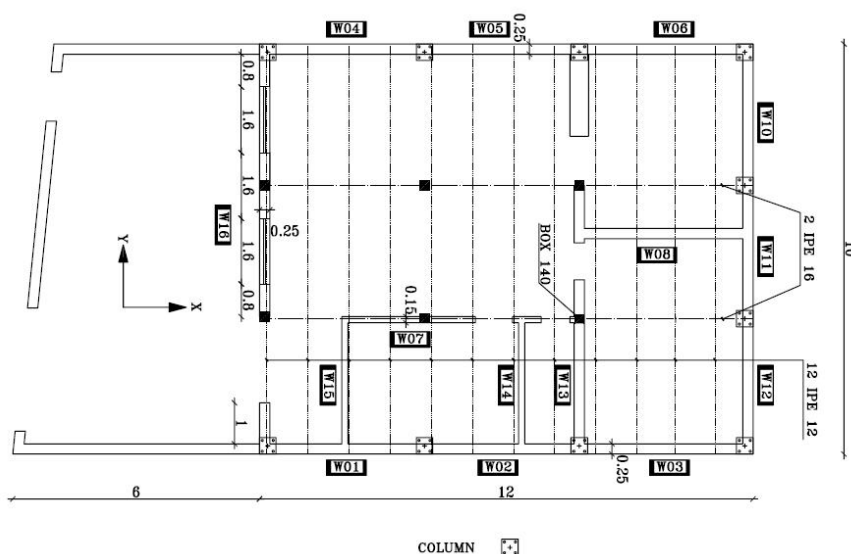
پروژه مقاوم سازی شهرستان بروجرد را می توان محکی جدی برای طرح های مقاوم سازی مشاوران و دستورالعمل های مقاوم سازی مرتبط دانست. چراکه در یک پروژه واقعی تمامی نقاط ضعف و قوت آنها مشخص شده و راه برای اصلاحات آتی هموار می شود. در این پروژه دتایل های مختلفی برای برطرف کردن نواقص این ساختمان ها ارائه شده بود و از طرف دیگر کلیت طرح ها از تامین میزان برش طبقات توسط رویه های بتنی و استفاده از ظرفیت برشی دیوار های باربر می باشد خارج نبوده است. اما روش ارائه شده در این مقاله بر پایه مشاهدات زلزله های گذشته و رفتار واقعی ساختمان های بنایی در بارهای لرزه ای می باشد. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود در این ساختمان مختلط ستون های فلزی علی رغم اینکه ممکن است به لحاظ اتصالات و فونداسیون به درستی طرح و اجرا نشده باشند، همچنان پایداری خود را حفظ نموده اند اما دیوارهای باربر کناری علی رغم ضخامت زیاد دچار ناپایداری شده اند و از آنجا که سیستم ثانویه کمکی برای آنها وجود نداشته است باعث تخریب کامل بنا شده اند. در این روش سعی شده است که با در نظر گرفتن بسیاری از جوانب از قبیل مشاهدات زلزله های گذشته، دستورالعمل های موجود و تجاربی که به لحاظ اجرایی از پروژه انجام شده حاصل شده است روشی ارائه گردد که کلیت آن به اینصورت است که با تعبیه ستون های فلزی در جاهای مناسب سعی می شود تا حد امکان بارهای ثقلی را مهار نموده و بار ثقلی سقف را از روی دیوارهای باربر برداشته و روی تیرهایی انداخته شود که مابین ستون های تعبیه شده اجرا شده است. به این ترتیب سعی می شود که کل بار ثقلی به این عناصر منتقل شده و دیوارها نقش باربری خود را با نقش میانقاب عوض نموده و با توجه به قاب فلزی تشکیل شده پیرامون این دیوار ها از خواص قاب های مرکب در طرح لرزه ای ساختمان استفاده می شود. در ادامه گام به گام این روش با ارائه یک مثال واقعی آمده است.



شکل (۱) تصاویری از انهدام دیوارهای بنایی

### ارزیابی کیفی آسیب پذیری

اولین مرحله از ارزیابی کیفی آسیب پذیری تهیه نقشه های چون ساخت ساختمان مورد نظر می باشد. در این نقشه ها می بایست کلیه موارد مهم از قبیل ابعاد و ضخامت دیوارها، جای طاقچه ها، معماری موجود، ارتفاع طبقات، مشخصات ثبتي ساختمان به لحاظ معماری و جای ستون های احتمالی و تیرریزی سقف ها و نوع پروفیل سقف به لحاظ سازه ای مشخص شود. ساختمان مورد نظر یک ساختمان یک طبقه با ارتفاع ۳/۵ متر از تراز زمین می باشد. یک ساختمان مختلط با قدمت حدود ۲۵ سال که در زلزله مورد نظر آسیب هایی به دیوارهای باربر و اجزای غیر سازه ای آن وارد شده است. نقشه سازه ای آن به صورت زیر تهیه شده است. در زیر نقشه معماری ساختمان به طور دقیق برداشت شده و محل تیرها و ستون های موجود روی آن مشخص شده است. در ادامه همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود برای هر کدام از دیوارهای ساختمان یک کد تعریف شده است، از این کد در محاسبات وزن ساختمان، محاسبات طرح لرزه ای و در صورت لزوم ارائه راهکار ترمیم یا تقویت استفاده می شود.



شکل (۲) نقشه ساختمان مورد نظر

### ارائه طرح بهسازی

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود برای مقاوم سازی این ساختمان ستون هایی در جاهای مناسب تعبیه شده است که به کمک آنها بتوان ضمن کامل نمودن مدل سازه ای ساختمان، با اجرای تیرهای فلزی مابین این ستون ها بار ثقلی سقف را مهار نمود. این ستون ها با علامت خاصی روی نقشه مشخص شده است. با تهیه جزئیات دیوارها و بام حدود بار مرده بام و دیوارها در وضع موجود تعیین می شود. توسط یکی از نرم افزارهای مهندسی (مانند ETABS) مدل سازه ای ساختمان تهیه می شود و عناصر باربر موجود (تیر و ستون های موجود) رسم و عناصر باربری که برای تکمیل مدل سازه ای لازم است در آن مدل تعبیه می شود، در جاهایی که تیرریزی ساختمان به نحوی است که نیازی به تیرچه فلزی برای تحمل بار ثقلی نداریم و حداقل میزان شناژ افقی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ لازم می باشد، از عملیات نبشی کشی استفاده می شود. عملیات نبشی کشی شامل نصب نبشی نمره ۱۰ در گوشه بالای سقف در نقطه عطف بین دیوار و سقف می باشد که این نبشی از طرفی به دو ستون کناری طرفین جوش می شود. و از طرف دیگر در فواصل مناسب مابین دو ستون، به دیوار آجری توسط دتایل اتصال خاصی وصل می شود. که ضمن کمک به حفظ انسجام ساختمان در هنگام

زلزله، تکیه گاه مناسبی برای طاق های آجری انتهایی که احتمالاً فاقد تیرچه ی انتهایی می باشند، ایجاد می نماید. از طرف دیگر کمکی نیز در جهت مهار نیروی خارج از صفحه دیوار بنایی می کند.

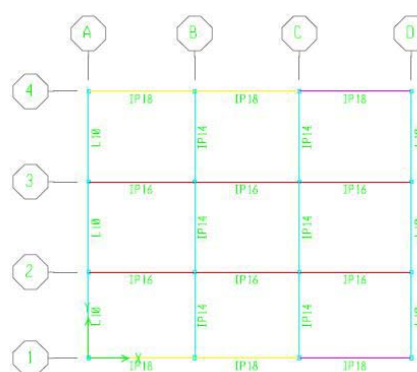
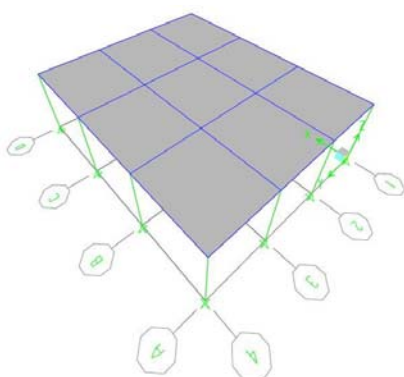
این مدل تحت بار ثقلی به تنهایی تحلیل و طراحی می شود (شکل (۳))، در صورتی که عناصر موجود دارای ضعف باشند، طرح تقویت مناسب برای آنها تهیه می شود و برای عناصر جدید هم مقطع مناسب طرح می شود. به عنوان نمونه برای ساختمان مورد نظر برای ستون های تعبیه شده پروفیل BOX 14 استفاده شده است و برای تیرهای جدید مقاطع مناسبی طرح شده است. چنانچه تیرهای موجود ساختمان ضعیف باشند با روش های مناسب تقویت تیرها از قبیل اتصال ورق یا پروفیل کمکی و یا اجرای پوشش بتن مسلح روی پروفیل های بام همانند سقف های کامپوزیت برای افزایش ظرفیت خمشی تیرها، ضعف پروفیل های موجود را می توان جبران نمود.

### طرح لرزه ای

پس از محاسبه میزان برش پایه و توزیع آن در طبقات می بایست مقاومت مورد نظر در جهات مختلف ساختمان تامین شود. برای تامین نیروی برشی مقاوم در برابر نیروی زلزله در ساختمان های بنایی روش های مختلفی وجود دارد، طبق توصیه دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود میزان تنش مجاز دیوارهای بنایی را می توان طبق رابطه (۱) به دست آورد [۲].

$$v_a = 0.1 v_l + 0.15 \sigma_c \quad (1)$$

که در آن  $v_l$  مقاومت برشی ملات دیوار بنایی و  $\sigma_c$  تنش فشاری روی دیوار است که با توجه به ضعف اکثر ملات های بنایی در صورتی که از ترم اول آن صرف نظر شود، میزان تنش برشی مجاز از رابطه  $v_a = 0.15 \sigma_c$  به دست می آید. یکی دیگر از روش های تامین مقاومت برشی اجرای رویه های بتنی روی دیوار های بنایی می باشد که رفتار آنها توسط محققین زیادی بررسی شده است، در روشی که در این مقاله ارائه شده است از آنجا که سعی بر آن است که بارهای ثقلی از روی دیوار های بنایی حذف شوند، بنابراین نمی توان از رابطه (۱) استفاده کرد و در اینجا به دلیل تشکیل قاب فلزی اطراف دیوار بنایی از خواص لرزه بری قاب های مرکب استفاده می شود و چنانچه در هر جهتی از ساختمان مقاومت برشی با قاب های مرکب تامین نشد، آن کمبود مقاومت توسط اجرای رویه های بتنی تامین می شود. در ادامه رفتار قاب های مرکب و چگونگی و میزان لرزه بری قاب های مرکب بررسی شده است.



شکل (۳) مدل سازه ای ساختمان

### رفتار قاب مرکب

با بکار بردن دیوارهای آجری که خود به تنهایی دارای رفتار برشی می باشند (شبهه یک تیر طره) در داخل یک قاب که خود به تنهایی دارای رفتار خمشی است، مجموعه ی حاصل دارای رفتار خریپائی می باشد و به صورت یک قاب بادبندی شده عمل می نماید. خرابی این قاب مرکب در مراحل زیر همراه با افزایش نیروی جانبی رخ می دهد:

- ۱- (ایجاد ترک های مرزی) بین قاب و میانقاب جدائی ایجاد می شود و مرز بین قاب و میانقاب مشخص می گردد.
  - ۲- (ایجاد ترک های قطری یا ضربدری) این ترک ها معمولاً در اثر برش در دیوار ایجاد میگردند و با ایجاد آنها رفتار خطی و ارتجاعی دیوار پایان می یابد.
  - ۳- (شکست گوشه) بعلت تمرکز تنش در گوشه های فشاری میانقاب در نقاط گوشه مصالح میانقاب خرد می شوند.
  - ۴- (شکست نهائی دیوار) پس از شکست گوشه با افزایش ترک های قطری مقاومت قاب مرکب به حالت حدی خود می رسد.
  - ۵- (پرتاب میانقاب به بیرون صفحه) این حالت در اثر مولفه نیروی زلزله عمود برصفحه میانقاب رخ می دهد.
- پس از ایجاد شکست گوشه در میانقاب سختی قاب مرکب به شدت کاهش می یابد اما هنوز تا مرحله شکست نهائی راه زیادی مانده است. در جهت اطمینان می توان مقاومت نهایی قاب مرکب را معادل مقاومت شکست گوشه در نظر گرفت، این مقاومت تابعی از مقاومت قاب و مقاومت میانقاب می



باشد. با افزایش مقاومت قاب علاوه بر کاهش جابجائی جانبی، توزیع تنش ها به طور گسترده تری بر روی میانقاب ایجاد می شود و باعث افزایش مقاومت شکست گوشه می گردد. از طرف دیگر افزایش مقاومت فشاری مصالح میانقاب و یا افزایش ضخامت دیوار باعث می گردد که خرد شدن دیوار دیرتر رخ داده و مقاومت قاب مرکب افزایش یابد.

مقاومت شکست گوشه را می توان از رابطه زیر بدست آورد: [۱] و [۳]

$$H_c = m.f_c.t.h \quad (2)$$

در آن  $h$  ارتفاع قاب مرکب،  $t$  ضخامت دیوار آجری میانقاب،  $f_c$  مقاومت فشاری مصالح میانقاب و  $m$  یک ضریب بدون بعد می باشد که با توجه به مقاومت خمشی تیرها، ستون ها، اتصالات و مقاومت فشاری میانقاب بر اساس حالت های زیر محاسبه می گردد ( $m$  حداقل بدست آمده از روابط ۳ تا ۶ می باشد).

۱- میانقاب قوی است و قاب ضعیف است که در این حالت در تیرها و ستون ها مفصل پلاستیک تشکیل می گردد.  
۱-الف- ستون از تیر ضعیف تر است و مفصل پلاستیک در ستون تشکیل می گردد.

$$m = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pc})}{f_c.t.h^2}} \quad (3)$$

۱-ب- تیر ضعیف تر از ستون است و مفصل پلاستیک در تیر تشکیل می گردد.

$$m = \frac{1}{\tan \theta} \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pb})}{f_c.t.h^2}} \quad \tan \theta = \frac{h}{L} \quad (4)$$

۲- میانقاب ضعیف است و قاب قوی است که در این حالت در هیچکدام از تیرها و ستون ها مفصل پلاستیک تشکیل نمی گردد و فقط در گره ها (اتصالات) تشکیل می گردد.

۲-الف- با در نظر گرفتن نیروی اندرکنش ستون ها

$$m = \frac{1}{6} + \frac{4M_{pj}}{f_c.t.h^2} \quad (5)$$

۲-ب- با در نظر گرفتن نیروی اندرکنش تیرها

$$m = \frac{1}{6 \tan^2 \theta} + \frac{4M_{pj}}{f_c.t.h^2} \quad (6)$$

در این روابط  $M_{pb}$  و  $M_{pc}$  به ترتیب لنگر پلاستیک تیر و ستون و  $M_{pj}$  ظرفیت خمشی نهایی اتصال تیر به ستون  $M_u$  می باشد و  $h$  ارتفاع و  $L$  دهانه قاب مرکب می باشد. به دلیل رفت و برگشتی بودن نیروی زلزله و رفتار هیستریسیس میانقاب معمولاً مقاومت نهایی را معادل ۷۰ درصد مقاومت شکست گوشه در نظر می گیرند [۲].

### محاسبات طرح لرزه ای ساختمان مورد نظر

جدول (۱) محاسبه نیروی زلزله برای ساختمان مورد نظر

محاسبه وزن ساختمان						محاسبه نیروی زلزله						
مساحت طبقه $m^2$	بار مرده $kg/m^2$	بار زنده $kg/m^2$	وزن سقف $kg$	وزن دیوارها $kg$	وزن کل ساختمان $kg$	A	B	I	R	ضریب پیشنهادی	C	نیروی زلزله برای جهت $kg$
۱۲۰	۵۵۰	۱۵۰	۶۹۶۰۰	۸۸۳۴۰	۱۱۳۷۷۰	۰/۳۵	۲/۷۵	۱	۴	۱/۲	۰/۲۴	۲۷۳۰۰

در هر جهت مقاومت جانبی قاب های مرکب محاسبه می شود و با نیروی زلزله در آن جهت مقایسه می شود و در صورت کمبود مقاومت، رویه های بتنی برای تامین این کمبود مقاومت طرح می شوند. برای ساختمان مورد نظر در جهت X به دلیل تعداد زیاد قاب های مرکب و عدم وجود بازشو در این قاب ها مقاومت جانبی محاسبه شده حدود ۹۰ تن می باشد که با توجه به نیروی زلزله که ۲۷ تن می باشد مقدار قابل ملاحظه ای است اما در جهت Y

این قاب ها تنها ۲۶ تن از مقاومت مورد نیاز را تامین می کنند و برای این جهت رویه بتنی طرح شده است که بهتر است برای کم کردن پیچش ساختمان این رویه را در میان پنجره های جلوی ساختمان اجرا کرد. محاسبات قاب های مرکب در مورد این ساختمان با فرض اجرای اتصالات مفصلی انجام شده است، اما در صورت افزایش تعداد طبقات و به تبع آن افزایش میزان برش پایه و برش طبقات می توان اتصالات تیر و ستون را به صورت گیردار یا نیمه گیردار طراحی و اجرا نمود، به طوری که نتایج تحقیقات نشان می دهد یکی از روش های بسیار موثر و کم هزینه جهت افزایش مقاومت جانبی قاب های مرکب، افزایش ظرفیت خمشی اتصال تیر به ستون می باشد که در بعضی از حالات تا ۴۰ درصد می تواند ظرفیت باربری جانبی قاب مرکب را افزایش دهد [۴]، در اکثر موارد افزایش مقطع تیر و ستون و به طبع آن افزایش لنگر پلاستیک تیر و ستون تاثیر چندانی بر افزایش مقاومت جانبی قاب مرکب نداشته و یک کار غیراقتصادی است در صورتیکه افزایش ظرفیت خمشی اتصال در همه موارد باعث افزایش مقاومت جانبی قاب مرکب می گردد و یک کار کاملاً اقتصادی است. در ادامه برخی از تصاویر اجرایی این روش مقاوم سازی آمده است.

## ۱۱- تصاویر اجرایی

در شکل (۴) از تصاویری که در حین عملیات مقاوم سازی تهیه شده است، دیده می شود. این تصاویر مراحل مقاوم سازی ساختمان های بنایی را به کمک این روش نشان می دهد. تصاویر به گونه ای انتخاب شده است که کلیه مراحل اجرایی طرح به طور واضح نشان داده شود.

اجرای شمع بندی برای مهار بار ثقلی و ایجاد یک سیستم ایمن برای تامین امنیت اجرایی



اجرای فونداسون های طراحی شده در محل های مشخص



خالی کردن جای ستون ها درون دیوارهای بنایی



شکل (۴) مراحل اجرایی عملیات مقاوم سازی

## اجرای ستون های فلزی طرح شده در قسمت های مناسب



اجرای تیرهای فلزی با مقطع طراحی شده در محل های مناسب. اجرای این تیرها از مهم ترین مراحل کار به حساب می آید زیرا در این مرحله می بایست کیله بار ثقلی از دیوارها به این تیرها منتقل شود و این کار می بایست در نهایت ایمنی و با استفاده از نیروی کار ماهر صورت گیرد.



اجرای اتصالات تیرها و ستون های فلزی: در این مرحله می توان با اجرای اتصالات به صورت گیردار یا نیمه گیردار ظرفیت قاب های مرکب را افزایش داد



تعبیه اتصالات برشی بین ستون ها و دیوارها برای اطمینان از عملکرد مشترک قاب و دیوار



ادامه شکل (۴) مراحل اجرایی عملیات مقاوم سازی

پر کردن فضای های خالی بین ستون ها و دیوارها با بتن یا ملات مناسب



اجرای نبشی کشی در مواردی که صرفاً نیاز به تعبیه شناژ افقی می باشد و این شناژ نقشی در باربری ثقلی ندارد



اجرای روبه های بتنی برای جبران کمبود مقاومت برشی



ادامه شکل (۴) مراحل اجرایی عملیات مقاوم سازی

### نتیجه گیری

با توجه به گستردگی حجم ساختمان های بنایی و تلفات زیادی که در زلزله های گذشته از آنها به جا مانده است، در صورتی که عزمی ملی برای مقاوم سازی این ساختمان ها شکل گیرد، می بایست با اتخاذ روش های مناسب برای مقاوم سازی این ساختمان ها هرچه بیشتر در راه حفظ سرمایه های ملی گام برداشت. در این مقاله سعی شده است مراحل مختلف یکی از این روش ها به لحاظ آیین نامه ای، علمی و اجرایی ارائه شود، امید است که این مقاله قدم کوچکی در پی گیری این اهداف باشد.

### مراجع

- [۱] - مقدم، حسن؛ طرح لرزه ای ساختمان های آجری، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۳
- [۲] - دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود، دفتر تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۱
- [3] ATC-43 Project, Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, FEMA 306, May1999.
- [۴] - محمد علی هادیان فرد. بکارگیری قاب های فولادی نیمه صلب جهت افزایش مقاومت جانبی دیوارهای آجری، پنجمین کنفرانس زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۶