

بررسی مقاوم‌سازی ساختمانهای بتن آرمه

چکیده

زلزله‌های اخیر در کشور آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود را بوضوح نشان دادند. در واقع هر چند سال یکبار بدنال رویداد يك زمین لرزه ویرانگر در نقطه‌ای از کشور خسارت‌های جانی و مالی فراوانی به بار می‌آید. از آنجا که راه‌حل مهندسی و اقتصادی برای جلوگیری از بروز چنین خسارت‌هایی مقاوم‌سازی ساختمانها می باشد، ضرورت بررسی و تحقیق در مورد شیوه‌های مختلف عملی بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمانهای متعارف به شدت احساس می‌شود. در این مقاله سعی شده است تا با بیان کلیاتی در این زمینه و کمک گرفتن از موردی عملی شناخت بیشتری نسبت به این شاخه جدید در مهندسی عمران ایجاد گردد.

کلمات کلیدی: زلزله، مقاوم سازی، پوشش فولادی

۱- مقدمه

تعمیر، ترمیم، بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، در نقاط مختلف جهان معمولاً پس از رویداد زمین لرزه‌های بزرگ بصورت چشمگیری مطرح می‌شود. در کشور ژاپن بر اثر زمین لرزه سال ۱۹۶۸ در توکاجی- اوکی (Tokachi-oki) به تعداد بسیار زیادی از ساختمان‌های کوتاه مرتبه آسیب وارد آمد. تعداد ۱۵۷ مورد از ساختمانهای بتن مسلح با استفاده از روش‌های مقاوم‌سازی نوین در برابر زلزله‌های بعدی تقویت شدند که حدود ۸۵ درصد از این ساختمانها با اضافه کردن دیوار برشی تقویت گردیدند و در ۳۵ درصد از آنها از دورپوش کردن ستون‌ها نیز استفاده شد. به دلیل عدم وجود دستورالعمل‌ها و راهنماهای طراحی و اجرایی برای روش‌های تقویت، مقاوم‌سازی این ساختمانها فقط بر اساس قضاوت مهندسی صورت گرفته و عملاً اولین تجربه-مهندسی ژاپنی برای طراحی و اجرای ترمیم و تقویت ساختمانها در مقیاس وسیع پس از این زلزله، بدست آمد. بعد از زمین لرزه سال ۱۹۷۸ میاگیکن- اوکی (Miyagiken-oki) نیز تعدادی از ساختمانها تقویت شدند. ولی این بار تقویت ساختمانها بر خلاف تجربه گذشته، تنها بر اساس قضاوت‌های مهندسی نبود. بلکه تا آن زمان آزمایشات زیادی صورت گرفته و دستورالعمل‌های مقدماتی مقاوم سازی نیز تهیه گردیده بود، که ژاپنی‌ها از این تجارب در تقویت ساختمان‌های آسیب دیده از زلزله بهره‌مند شدند.

مطالعات نشان داد که پراکندگی گسترده‌ای در میزان مقاومت لرزه‌ای ساختمانهای موجود ژاپن وجود دارد و تعداد بسیار زیادی از ساختمانهای با ارتفاع کوتاه و متوسط که بر مبنای آیین‌نامه‌های قبلی طراحی و اجرا گردیده، نیاز به تقویت دارند.

در ایران پس از رویداد زمین لرزه ۱۳۴۱ بویین زهرا يك فصل در ارتباط با بارهای ناشی از زمین لرزه، در استاندارد ۵۱۹ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران منعکس و برای محاسبات ساختمانها ملاک عمل قرار گرفت. البته این موضوع برای طراحی ساختمانهای جدید الاحداث بوده و پس از آن با برگزاری سمینارهای آموزشی متعدد اثرات زمین لرزه در ساختمانهای متعارف مورد

بررسي قرار گرفت. اين امر منجر به تهيه و تدوين آيين‌نامه طرح ساختمانها در برابر زمين لرزه (آيين نامه ۲۸۰۰) در سال ۱۳۶۶ شد. اين آيين‌نامه تحول چشمگيري در طراحي لرزه‌اي ساختمانها بوجود آورد. بارويداد زمين لرزه رودبار- منجیل در سال ۱۳۶۹ و به بارآمدن خسارت‌هاي مالي و جاني فراوان توجه مهندسان، دانشمندان، مردم و دولت به ضعف لرزه‌اي ساختمانها بيشتتر شد و بر آن شدند تا با ساخت بناهاي مقاوم در برابر زلزله، ترميم و تقويت بناهاي آسيب ديده و مقاومسازي بناهاي موجود از بروز خسارتهاي بعدي جلوگیری به عمل آورند. با وجود تلاشهاي فراوان در اين زمينه و نيز تهيه ويرايش دوم آيين‌نامه ۲۸۰۰ و حتي نشريه ۲۵۱ سازمان مديريت درخصوص بهسازي لرزه‌اي ساختمانها، هنوز يك دستورالعمل مناسب در مورد ترميم و تقويت ساختمانهاي موجود (که داراي سيستم مقاوم لرزه‌اي مناسب نيستند) در برابر زمين لرزه موجود نيست. دليل محدود بودن پروژه‌هاي مقاومسازي تجارب اجرايي فراواني نيز در اين زمينه وجود ندارد، بنابرین مشاهده موردی عملی کمک شایانی به شناخت و آشنایی بهتر با روشهاي مختلف می نماید.

۲- دلايل اصلي ضعف سازه‌اي

اصولاً ضعفهاي سازه‌اي و به دنبال آن نياز به مقاومسازي ساختمانها به دلايل زير صورت مي‌پذيرند.

الف- تغيير کاربري ساختمان: به عنوان مثال استفاده از يك ساختمان مسكوني براي انبار يا افزايش تعداد طبقات ساختمان

ب- تغييرات در آيين‌نامه‌هاي زلزله يا طراحي ساختمانها: اغلب پس از رويداد زمين لرزه‌اي بزرگ يکسري تحقيقات نظري و آزمایشگاهی و يکسري تجربيات حاصل از آن زمين لرزه باعث مي‌شود تا در آيين‌نامه‌ها تجديدنظر صورت گيرد و اين تغييرات معمولاً با افزايش برش پايه ساختمان همراه است. بنابرین ساختمانها بويژه سازه‌هاي مهم در برخي از مواضع مانند اتصالات، بادبندها، ستونها يا تيرها به تقويت احتياج پيدا مي‌کنند.

ج- ضعفهاي اجرايي و عدم برآورده شدن نيازهاي طراحي در حين اجرا: کيفيت پايين بتن، اجراي نامناسب ستونها و مواردی مشابه در این محدوده قرار می گیرند.

۳- هدف بهسازي و مقاومسازي لرزه‌اي

از مهمترين اهداف بهسازي و مقاومسازي لرزه‌اي تحقق موارد زير است:

الف- تأمین مقاومت در برابر زلزله‌هاي خفيف بدون هيچگونه آسيب

ب- تأمین مقاومت در برابر زلزله‌هاي متوسط بدون هيچگونه آسيب سازه‌اي، ولي احتمال برخي خسارتهاي غيرسازه‌اي وجود دارد.

ج- تأمین مقاومت در برابر زلزله‌هاي شديدی که در محل سازه قبلاً رخ داده يا قابليت وقوع دارد، بدون فروريزي، ولي احتمال برخي خسارتهاي سازه‌اي و غيرسازه‌اي وجود دارد.

۴- گام‌هاي کلي در فرآيند بهسازي و مقاومسازي

این گام‌ها برای کلیه ساختمان‌ها اعم از فولادی، بتنی و مصالح بنایی قابل اعمال است و بیشتر جنبه عمومی یا کلی داشته و به هیچ نوع از انواع ساختمان‌ها اختصاص ندارد. بنا دارم در این مقاله به یکی از مهمترین روش که مقاوم سازی است اشاره نمایم.

- روش‌های مقاوم‌سازی

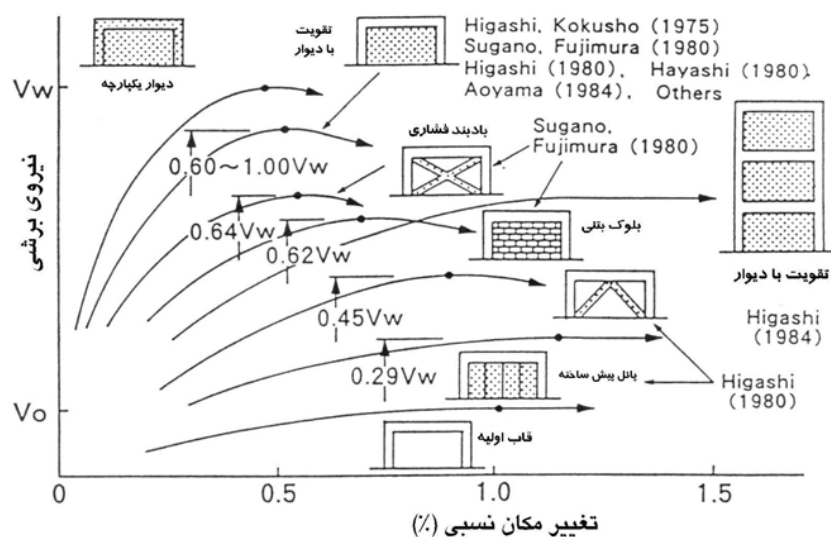
به طور کلی مقاوم‌سازی ساختمان‌ها به دو صورت انجام می‌شود:

۱- اضافه کردن سیستم سازه‌ای جدید

۲- تقویت اعضای سازه‌ای موجود

۱-۱- اضافه کردن سیستم سازه‌ای جدید

ازجمله سیستم‌های سازه‌ای می‌توان به استفاده از بادبندهای فولادی، استفاده از دیوارهای برشی فولادی، بتنی و نیز پرکننده، افزودن روش‌های کنترل غیرفعال مثل جداسازی تکیه‌گاه‌ها، استفاده از میراگرها و ... اشاره کرد.



شکل ۲- نمودارهای بار- تغییر مکان برای شیوه‌های مختلف مقاوم‌سازی

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود تغییرات نیروی برشی در شیوه‌های مختلف تقویت بین دو حالت دیوار یکپارچه و قاب اولیه محدود می‌شود. دیوار برشی در رتبه بعد از دیوار یکپارچه ولی بالاتر از بادبند قطری فشاری نیروی برشی بیشتری را تحمل می‌کند. در این میان تقویت باپانل‌های دیوار پیش ساخته نقش کمتری را ایفا می‌کند.

۱-۲- تقویت اعضای سازه‌ای

یکی از روش‌های تقویت ساختمان، افزایش ابعاد و ظرفیت باربری اعضای سازه‌ای می‌باشد. استفاده از پوشش‌های بتنی در تیرها، ستون‌ها و اتصالات ساختمان‌های بتنی، محصورکردن

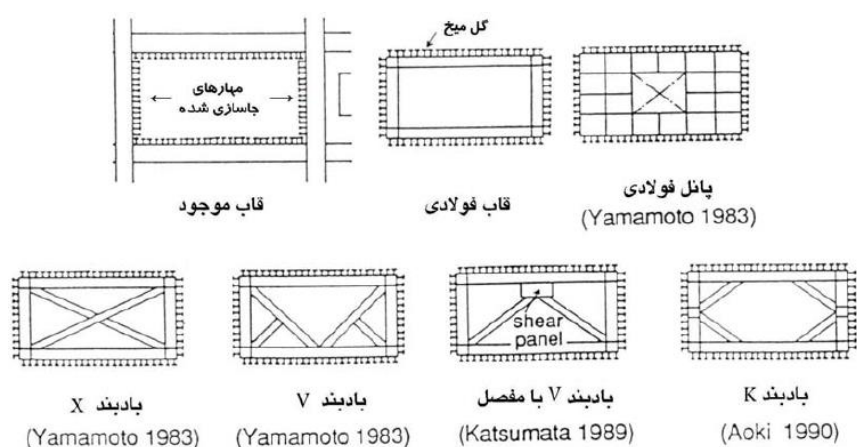
ستونهای بتن مسلح توسط پوشش‌های فلزی و مقاوم‌سازی اعضای بتن مسلح سازه‌ای با استفاده از چسباندن ورق‌های الیاف مسلح پلاستیکی از جمله روش‌هایی هستند که بکار می‌روند.

۲-۲- بادبندهای فولادی

سیستم بادبندهای فولادی يك روش مقاوم‌سازی مطلوب به شمار می‌رود. از جمله مزایای این روش عبارتند از:

۱. افزایش مقاومت و شکل‌پذیری سازه
۲. اعمال وزن کمتر به سازه
۳. امکان استفاده از بازشو و پنجره در قاب بادبندی شده
۴. اجرای نسبتاً آسان
۵. کنترل کیفیت ساده‌تر.

بادبندها به حالت‌های فشاری، کششی، فشاری و کششی و یا پس کشیده طرح و به اشکال X، V و ۸، لوزی شکل و زانویی اجرا می‌گردند (شکل ۳). نوع دیگر استفاده از بادبندها به صورت بادبند خارج از قاب است که ساختمان را همانند کلافی محصور می‌کند. در ساختمان‌های بتنی نحوه اتصال بادبندهای فولادی به قاب بتنی، از جمله موارد مهم و اساسی به شمار می‌رود بطوریکه عملکرد خوب بادبند بستگی به نحوه اتصال آن دارد. طبق تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده ملات بکار رفته بین قاب فولادی و بتنی از اهمیت خاصی برخوردار است و در میزان مقاومت جانبی قاب موثر است.



شکل ۳- انواع بادبند جهت مقاوم‌سازی

مطالعات آزمایشگاهی برای ساختمان‌های بتن مسلح نشان می‌دهد که اتصال پیچ و مهره‌ای بادبند با اتصال به تیر و ستون سختی قاب را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد بطوریکه این روش تقویت برای ساختمان‌های کوتاه تا متوسط مناسب تشخیص داده شده است. در حالیکه اتصال با

استفاده پوشش فولادي و بدون چسب و اپوکسي به دليل لغزش پوشش فولادي عملکرد مناسبی نداشته است. این آزمایشها نشان داده است که بادیند کششی در قاب بتنی مسلح سهم عمده‌ای از بار جانبی را تحمل می‌کند و خرابی قاب با شکست بادیند کششی بعد از شکست کماتشی بادیند فشاری رخ می‌دهد. مشروط بر آنکه اتصالات اعضای بادیند به قاب بتنی به خوبی عمل کند.

۲-۳- پوشش‌های فولادي

محصور کردن ستون‌های بتن مسلح توسط پوشش‌های فلزی یکی از مؤثرترین روش‌های بهسازی ظرفیت مقاومت لرزه‌ای می‌باشد. این روش به عنوان فولاد عرضی، به مقدار زیادی در محصور کردن بتن فشاری مؤثر است و از بیرون زدن پوشش بتن جلوگیری به عمل آورده، شکل‌پذیری و مقاومت برشی را افزایش می‌دهد.

همچنین می‌توان با استفاده از تسمه‌های پس کشیده فلزی، مقاومت و شکل‌پذیری سازه را افزایش داد. تسمه‌هایی که در این روش استفاده می‌شوند به عرض ۳ سانتی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر محدود می‌شوند و با استفاده از دستگاه‌هایی تا کمتر از حد جاری شدن کشیده می‌شوند. اگرچه هدف اصلی این تکنیک افزایش شکل‌پذیری است ولی این روش افزایش مقاومت خمشی، ظرفیت برشی و مقاومت فشاری عضو بتنی را نیز به همراه دارد.

استفاده از پوشش فلزی در منطقه پلاستیکی ستون باعث افزایش قابل ملاحظه شکل‌پذیری ستون می‌گردد و علاوه بر شکل‌پذیری، بخشی از برش ستون به وسیله پوشش تحمل می‌شود. همچنین در ستون‌هایی که پوشش اتصال ناکافی در آرماتورهای طولی آنها وجود دارد می‌توان از پوشش‌های فولادی که توسط بولت‌هایی مهار شده‌اند استفاده نمود. این کار سبب افزایش چسبندگی بین میلگردها و بتن شده و از لغزش آرماتور جلوگیری می‌کند.

از روش‌های دیگر محصور کردن ستون‌های بتن مسلح به کمک گرفتن از سیم‌های فولادی و قفس فولادی می‌توان اشاره کرد (شکل ۴).

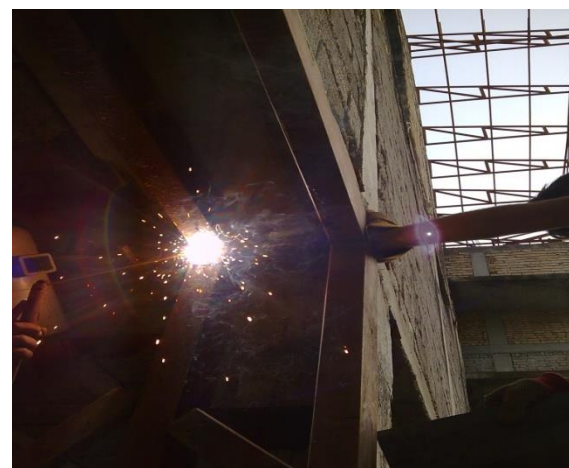


شکل ۴- کاربرد قفس فولادي براي تقويت ستون

در تقويت سازه موجود از هر دو حالت ايجاد اعضاي جديد و تقويت اعضاي فعلي استفاده شده است. در تقويت ستونها از محصورشدگي با نبشي و تسمه و در قابها از پروفيلهاي دابل ناوداني بصورت قابي ثانويه استفاده شد. باديندهاي فشاري نيز به عنوان اعضاي سازه‌اي جديد براي مقابله با بارهاي جانبي مورد توجه قرار گرفتند. از تسمه و بولت براي تقويت قابليت برشي محل اتصالات و برقراري ارتباط بين اعضاي سيستم سازه‌اي جديد در بين طبقات استفاده شد. جهت دستيابي به جوشي مناسب که از انعطاف لازم برخوردار بوده و اهداف تقويت را محقق کند، دستگاه ديزل الکتریک و الکترود E6013 مورد توجه قرار گرفت. جزئیات اجرايي در شکلهاي ذيل نشان داده شده اند.

۵- نتیجه‌گيري

با توجه به اینکه بعضی از پروژه‌هاي ساختماني از ابتدا تا زمان بهره‌برداري دستخوش تغييرات زيادي مي‌شوند که از آن جمله تغيير در کاربري، زيربنا و طبقات را مي‌توان نام برد





از سوي ديگر وجود مصالح غير استاندارد، بعضي ضعفا در اجرا و خطر زلزله خيزي بالا بر مشكلات مي افزايد. مجموع اين موارد نياز به بهسازي و مقاوم سازي را افزايش مي دهد و ارزش افزوده بالاي صنعت ساختمان در منطقه، خود صرفه اقتصادي اين نياز را تضمين مي نمايد. جهت مقاوم سازي از دو روش كلي مي توان استفاده كرد، اولاً اضافه كردن سيستمهاي سازه اي جديد و ثانياً تقويت اعضاي سازه اي موجود. اضافه كردن سيستمهاي سازه اي جديد شامل بادبندهاي فولادي، انواع ديوارهاي برشي فولادي، بتني و پرکننده و سيستمهاي استهلاک انرژی می باشد و از سوي ديگر تقويت اعضاي سازه اي موجود را مي توان توسط اجراي پوششهاي بتني، فولادي و الياف مسلح پلاستيكي به اجرا درآورد. بطور كلي مقاوم سازي مي تواند به بالابردن ضريب امنيت ساختمانهاي موجود در مقابل خسارات زلزله هاي احتمالي آينده کمک نماید.

۷- منابع . مآخذ:

منابع فارسی:

- ۱- زهرائي، سيد مهدي و حاج اسماعيل و مهدي؛ "رفتار ساختمانهاي استانهاي قزوین و همدان در برابر زلزله اول تيرماه ۸۱ چنگوره و روشهاي بازسازي آنها؛ پژوهشنامه پژوهشگاه بين المللي زلزله شناسي و مهندسي زلزله، سال پنجم، شماره سوم، پائيز ۱۳۸۱.
- ۲- شيخي، علي، "مقاوم سازي آزمایشگاهی ستونهاي بتني"، پايان نامه کارشناسي ارشد، دانشگاه آزاد اسلامي واحد تهران جنوب، ۱۳۸۰.
- ۳- نشریه شماره ۳۶۰، "دستورالعمل بهسازی لرزه اي ساختمانهاي موجود"، سازمان مدیریت و برنامه ريزي کشور، ۱۳۸۵.

منابع لاتین:

- 4- Sugano, S., "Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan", International Institute of Seismology and Earthquake Engineering Building Research Institute Ministry of Construction, 1992.
- 5- Penelis, G.G., Kappos, A.j., "Earthquake Resistant Concrete Structures", Tomson Press Ltd., 1997.
- 6- Hirosawa, M., Sugano, S. and kaminosono, T., "Essentials of Current Evaluation Retroficing for Existing and Damaged Building in Japan", Japan International Cooperation Agency, 1997.

7- Frangou, M., Pilakoutas, k., "Novel Techniques for the Repair and Strengthening of R.C. Columns", Proceeding of Fifth US National Conference on Earthquake Engineering, Oakland, California, 1994.

8- FEMA-273, "Seismic Rehabilitation Guidelines", Federal Emergency Management Agency, September 1996.