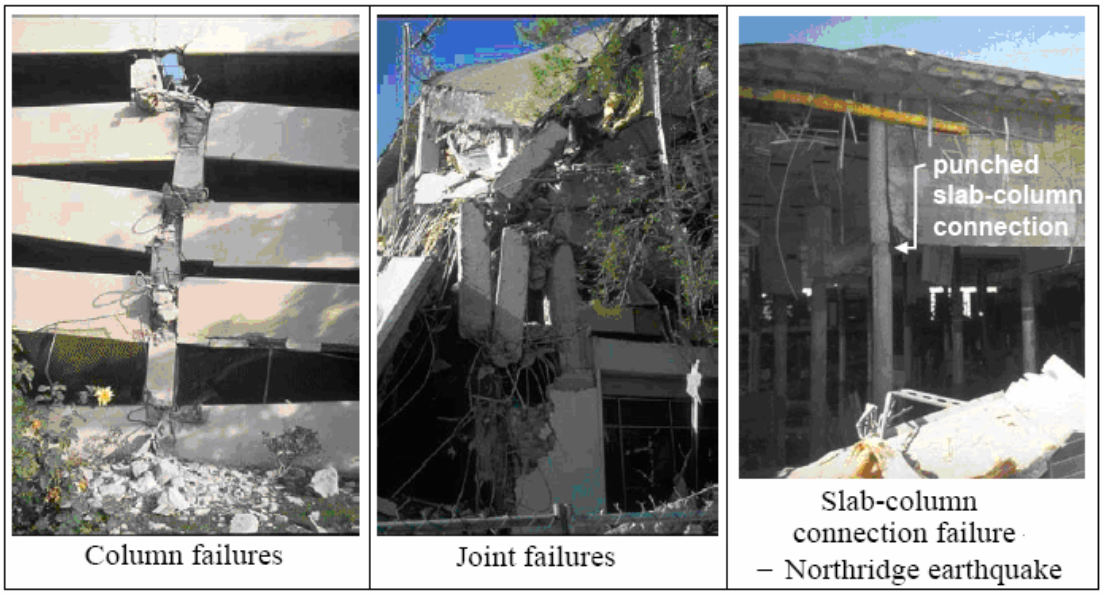
راهکارهای مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های بتن آرمه

Seismic Rehabilitation and Strengthening of RC Buildings

ایمان الیاسیان-کارشناس ارشد سازه
Iman.Elyasian@gmail.com

چکیده

پس از زلزله ۱۹۷۱ سانفرناندو در کالیفرنیا و زلزله ۱۹۸۹ لوما پریتا در سانفرانسیسکو و زلزله نورثریج در سال ۱۹۹۴ و زلزله ۱۹۹۵ کوبه تغییرات عدیده ای در آیین نامه طراحی لرزه ای به خصوص در مناطق با لرزه خیزی زیاد بوجود آمد. سازه های بتن آرمه موجود برای بارهای گرانشی و بارهای جانبی کمتر از آیین نامه های اخیر طراحی شده بودند و مشکلاتی چون عدم هم پوشانی و پیوستگی آرماتورهای طولی تیرها و ستونها ، فواصل زیاد آرماتورهای عرضی و سنجاقی ها و خاموتهای باز با خم ۹۰ درجه ، کیفیت اجرای نامطلوب اعضای بار بر، ازدحام آرماتور در محل اتصالات ، عدم تآمین پوشش کافی، فقدان محصور شدگی در ناحیه مفصل خمشی و . . . در پیکربندی و جزئیات سازه های طراحی شده قبل از سال ۱۹۷۰ به وضوح دیده می شد تا این که در دهه ۹۰ میلادی ادراه فدرال مدیریت شرایط اضطراری FEMA براثر تحقیقات انجام شده اقدام به ارزیابی لرزه ای و روشهای تقویت و بازسازی سازه های موجود نمود و نتایج این تحقیقات را در قالب آیین نامه هایی ارائه داده است.



Column failures | Joint failures | Slab-column connection failure – Northridge earthquake

کلید واژه‌ها: بهسازی و مقاوم سازی لرزه‌ای، آسیب پذیری، سازه بتن آرمه

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

مقدمه

بسیاری از سازه‌های بتن آرمه به دلایل ۱- خطاهای محاسباتی، ۲- اشتباه در ساخت و ضعفهای اجرایی و عدم برآورده شدن نیازهای طراحی در حین اجرا، ۳- ضعف آیین نامه های قدیمی و تغییر در آیین نامه های زلزله یا طراحی ساختمانها، ۴- تغییر کاربری و عملکرد، ۵- تغییر بارهای بهره برداری، ۶- خوردگی وزنگ زدن آرماتورها و ۷- عدم توجه به تغییر مشخصه مصالح در طول زمان و . . . نیاز به مقاوم سازی، بهسازی یا تعمیر دارند. مقاوم سازی به مجموعه عملیاتی گفته می شود که روی بخشی یا کل سازه انجام می شود تا سازه بتواند بارها و سربارهای بیشتری نسبت به حالت اولیه تحمل کند و خصوصیات رفتاری بهتری از خود نشان دهد. [۱۱]

قبل از UBC سال ۱۹۷۶ اعضای باربر سازه ای تنها بر اساس نیرو و کنترل مقاومت طراحی می شدند تا این که در این آیین نامه به مفاهیمی چون شکل پذیری توجه شد و در ضوابط جدید FEMA[1] به مفاهیمی چون عملکرد و توجه به طراحی سازه براساس عملکرد مطلوب با توجه به سطح خطر انتخابی شده است.

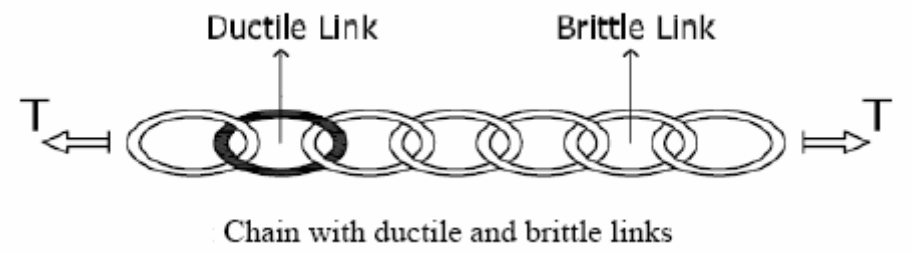
۱-معیارهای مقاوم سازی لرزه‌ای

به طور کلی در بازسازی و مقاوم‌سازی سازه ها بایستی به پارامترهای زیر توجه داشت:

۱- افزایش مقاومت ۲- افزیش سختی ۳-کاهش تغییر مکان ۴-افزایش شکل پذیری ۵-افزایش زوال و استهلاک انرژی آزاد شده زلزله

۲- کنترل رفتار اعضای سازه‌ای

هرسازه به مثابه یک زنجیر می‌باشد که اعضای تشکیل دهنده آن شبیه حلقه‌های زنجیر هستند که این اعضا می توانند شکل‌پذیر یا ترد و نیمه شکل پذیر باشند و اگر آنها را به ۲ دسته شکل پذیر و شکننده تقسیم کنیم اعضایی که ترد هستند براساس فلسفه طراحی بر اساس عملکرد بایستی اعضای شکل پذیر را براساس کنترل تغییر شکل واعضای ترد وشکننده را براساس کنترل نیروطراحی کنیم.

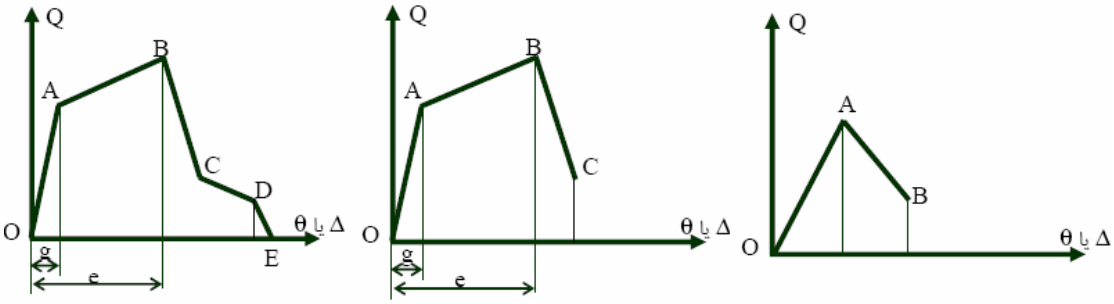


شکل۲- رفتار زنجیر مانند اعضای سازه

درشکل زیرمنحنی ایده آل رفتار اعضای سازه ای براساس پوش هیسترزیس را به ترتیب از سمت چپ به راست برای عضو شکل پذیر، نیمه شکل پذیر، ترد و شکننده نشان داده است.

1- Federal Emergency Management Agency
FEMA356- The Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



بایستی توجه داشت که برای اعضای شکل پذیر با نسبت $\frac{e}{g} \geq 2$. می توان عضو را براساس کنترل تغییر شکل طراحی کنیم. در ناحیه OA ارتجاعی، ناحیه AB غیر ارتجاعی با سخت شدگی کرنشی، ناحیه BC زوال مقاومت شدید ، ناحیه CD رفتار نرم وشکل پذیر در قلمرو غیر ارتجاعی، ناحیه DE مرحله فروریزی است [۱۲].

۳- هدف بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای

۱- تأمین مقاومت در برابر زلزله های خفیف بدون هیچ گونه آسیب دیدگی

۲- تأمین مقاومت در برابر زلزله های متوسط بدون هیچ گونه آسیب سازه ای ولی احتمال برخی خسارت های غیر سازه‌ای

۳-تأمین مقاومت در برابر زلزله‌ی شدیدی که در محل سازه قبلاً رخ داده و یا قابلیت وقوع دارد بدون فروریزی ولی با احتمال خسارت‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای

۴-گامهای کلی در فرآیند بهسازی و مقاوم‌سازی

۱- مبانی بهسازی و مقاوم سازی و تعیین سطوح عملکرد

۲- انتخاب روش تحلیل

۳- انتخاب روش مقاوم سازی

۴-۱ مبانی بهسازی و مقاوم سازی و تعیین سطوح عملکرد

۴-۱-۱ تعیین مشخصات ساختمان

پیکر بندی سازه از نظر معماری و از نظر سازه ای بررسی شود وخواص مهندسی مصالح بکاررفته و نحوه استقرار اعضای سازه ای و اتصال آنها به یکدیگر ارزیابی شود

۴-۱-۲ تعیین مشخصات ساختگاه

وضعیت ساختگاه از نظر شرایط زیر سطحی وسطحی چون نوع خاک و طبقه بندی لایه خاک و وضعیت شالوده و سرعت امواج طولی و برشی و ... در آنها از طریق بررسی های میدانی و آزمایشهای لازم مشخص گردد.

۴-۱-۳ بررسی ساختمانهای مجاور

احتمال برخورد سازه های مجاور با سازه هدف در هنگام وقوع زلزله بررسی شود.

۴-۲ تعیین سطح عملکرد مورد انتظار

سطوح عملکرد بر اساس سطح آسیب و سطح خطر لرزه‌ای (۲ جز اصلی آن) انتخاب می‌گردد و برای عملکرد هر ساختمان هنگام زلزله باید سطح خطر را دانست و متناسب با آن آسیب انتظار داشت، بنابراین سطح هر آسیب باید

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

متناظر با سطح خطر باشد و عملکرد لرزه‌ای عبارت است از تعیین حداقل خسارت مجاز (سطح عملکرد) برای پذیرش خطر لرزه‌ای معین (حرکت زمین ناشی از زلزله) که ۴ سطح عملکرد اصلی و ۲ سطح میانی داریم

سطوح عملکرد اصلی عبارتند از:

۱- قابلیت استفاده بی وقفه Fully Operational \ Immediate Occupancy

۲- ایمنی جانی Life Safety \ Operational

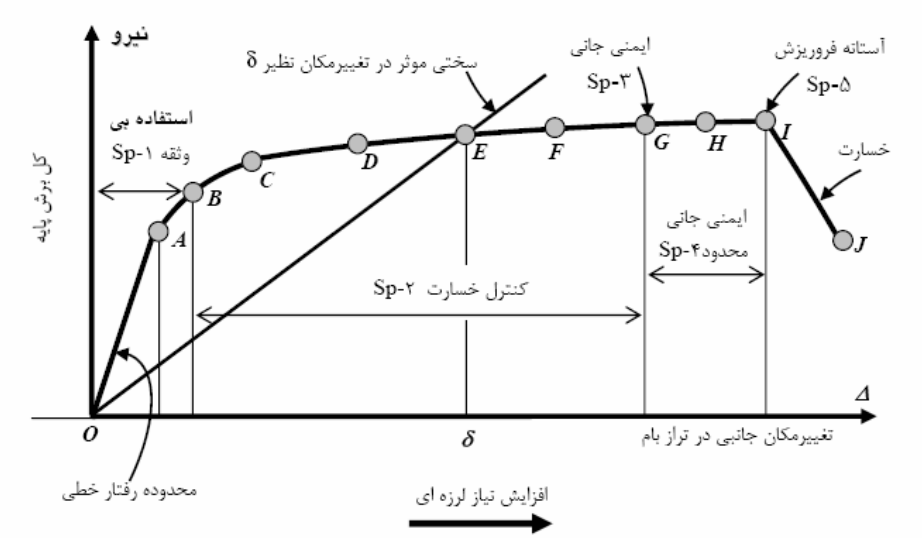
۳- آستانه فروریزش Near Collapse

۴- لحاظ نشده (تعیین نشده)

سطوح عملکرد میانی عبارتند از:

۱- خرابی محدود Limited Collapse

۲- ایمنی جانی محدود Limited Life Safety



شکل ۴- منحنی ظرفیت در حالت کلی و نمایش سطوح عملکرد

سطح عملکرد هدف به ۲ دسته تقسیم می شود

۱- سطح عملکرد سازه‌ای Structural Performance Level

۲- سطح عملکرد غیر سازه‌ای Non-Structural Performance Level

سطوح مختلف خطر زلزله که ناشی از نوع حرکت زمین است عبارت است از

سطح خطر -۱ مترادف با زلزله سطح طراحی DBE (Design Base Earthquake)

بر مبنای سطحی از لرزشهای زمین است که احتمال وقوع زلزله‌ای بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۱۰ درصد می باشد و دوره بازگشت آن ۴۷۵ سال می باشد و مترادف با زلزله استاندارد ۲۸۰۰ می باشد.

سطح خطر-۲ مترادف با بیشینه زلزله محتمل MPE (Maximum Probable Earthquake)

این سطح خطر بر اساس ۲ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال تعریف می شود که دوره بازگشت متوسط آن ۲۴۷۵ سال است

سطح خطر انتخابی معرف زلزله ای با هر احتمال رویداد در ۵۰ سال می باشد.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

زلزله سطح بهره‌برداری SE (Serviceability Earthquake)

زلزله‌ای خفیف یا متوسط است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال بزرگتر از ۵۰ درصد می باشد و دوره بازگشت زلزله سطح بهره برداری تقریباً ۷۵ سال است. این زلزله عموماً در حدود نصف زلزله سطح طراحی است.

زلزله بیشینه ME -(Maximum Earthquake)

بیانگر سطحی از لرزشهای زمین است که احتمال وقوع زلزله بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۵۰ درصد است.

طیف طرح استاندارد

مترادف با سطح خطر ۱ با میرایی ۵٪ در استاندارد ۲۸۰۰ ایران برای ۴ نوع زمین به عنوان طیف طرح استاندارد ارائه شده است.

طیف طرح ویژه ساختگاه

بر مبنای تحلیل خطر ویژه برای بهسازی ویژه مورد استفاده قرار می گیرد؛ به چند عامل که عبارتند از شرایط ساختگاه ، بزرگای زلزله ، فاصله گسل تا ساختگاه ، نوع خاک و رابطه کاهندگی مربوط به روش برآورد سطح خطربستگی دارد. برای تحلیل خطر ویژه باید گسلهای فعال در اطراف ساختگاه و تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری تعیین گردند.

سطوح مقاوم سازی به ۴ دسته تقسیم می شود:

۱- **بهسازی و مقاوم سازی محدود:** مقاوم سازی تحت اثر زلزله‌ای خفیف‌تر از سطح خطر۱ باشد به طوری که ایمنی جانی ساکنین تأمین گردد.

۲-**بهسازی و مقاوم سازی مبنا:** مقاوم سازی تحت اثر زلزله سطح خطر۱ است و ایمنی جانی ساکنین تأمین گردد.

۳- **بهسازی و مقاوم سازی مطلوب:** هدف مقاوم سازی مطلوب تأمین شود، ثانیاً ساختمان مقاوم شده تحت اثر زلزله فرو نریزد.

۴-**بهسازی و مقاوم سازی ویژه:** در این سطح سازه می‌بایست عملکرد بهتری نسبت به سطح بهسازی مطلوب داشته باشد.

۴-۳ مبانی و روشهای تحلیلی

۱-روش استاتیکی خطی

۲-روش دینامیکی خطی

۳-روش استاتیکی غیر خطی

۴-روش دینامیکی غیرخطی

۴-۴ انتخاب روش مقاوم سازی

عوامل متعددی در انتخاب تکنیک مقاوم سازی تأثیر دارند که در زیر به بخشی از آنها می پردازیم [۱]

۱ – ارزش سازه در مقابل اهمیت سازه Cost versus importance of structures

۲ – نیروی انسانی موجود Available workmanship

۳ – طول مدت اجرا یا زمان عدم استفاده Duration of work / disruption of use

٤ – تکمیل و تقویت براسا س عملکرد موردنظر کارفرما Fulfillment of the performance goals of owner

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

۵ – توجه به تناسب زیبا شناسی (معماری) ونقش سازه ای و تکمیل سازه موجود

Functionally and aesthetically compatible and complementary to the existing structures

۶- تداخل برگشت پذیری Reversibility of intervention

۷- کنترل کیفی سطح عملکرد Performance level of quality control

۸- اهمیت تاریخی و سیاسی سازه Political and historical significance

۹- سازگاری روش مقاوم سازی با سیستم سازه ای موجود

Structural compatibility with the existing structural system

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

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

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

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

۵- مراحل مقاوم سازی:

۱- گرد آوری اطلاعات در مورد مشخصات سازه

۲- تحلیل سازه ای ساختمان آسیب پذیر

۳- طراحی تقویت سازه در صورت نیاز

۴- تهیه نقشه های طرح تقویت

۵- برآورد هزینه

۵-۱ گرد آوری اطلاعات در مورد مشخصات سازه

الف- یکسری نقشه شامل جزئیات لازم در مورد سیستم سازه ای و نحوه آرماتورگذاری

ب- نحوه ساخت و اطمینان از مطابقت نقشه های طراحی با اجرا

ج- کنترل کیفیت مصالح به کمک آزمایشهای مخرب و غیر مخرب چون چکش اسمیت ، مغزه گیری و اولتراسونیک

د- جزئیات و نحوه آسیب دیدگی در پلان و ارتفاع به تفصیل

ه-کنترل طراحی و محاسبات اولیه

و- کنترل اعضای مهم سازه ای نظیر دیوار برشی و ستونها از نظر قابلیت تحمل در برابر بارهای وارده

۵-۲ تحلیل سازه آسیب پذیر

الف- تخمین اطلاعات سازه‌ای:

به عنوان مثال سختی اعضا و سازه آسیب دیده کاهش می یابد و به واسطه مقاوم سازی ضریب رفتار سازه تغییر می کند

ب- تعیین پارامترهای لرزه ای

به عنوان مثال تعیین PGA یا حداکثر شتاب زمین حین وقوع زمین لرزه

ج- تحلیل سیستم سازه‌ای آسیب دیده به عنوان مثال استفاده از تحلیل طیفی

د- برآورد مقاومت لرزه‌ای سازه: به طور کلی باید $S_d \leq R_d$ که S_d اثرات عملکرد سازه ای روی المان سازه R_d مقاومت طراحی همان المان سازه ای است که دریک ضریب کاهنده ضرب می شود.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

ه- تصمیم نهایی برای ترمیم یا تقویت: چنانچه شاخص مقاومت $R = \frac{R_d}{S_d}$ برای عضوی بزرگتر از ۰٫۸ باشد ،آن عضو فقط یکسری ترمیم لازم خواهد داشت و اعضایی که در آنها شاخص مقاومت کمتر از ۰٫۸ می باشد باید تقویت گردند. تصمیم در مورد تقویت کل سازه ، مثلاً اضافه کردن یکسری المان دیگر برمبنای درصد اعضایی که به تقویت نیاز دارند یا بر اساس نسبت برش باقیمانده به برش پایه ای که سازه باید تحمل کند با توجه به آیین نامه‌های مختلف تعیین می گردد.

۵-۳ طراحی تقویت سازه

الف- طراحی اولیه

- انتخاب بهسازی ومصالح مورد نیاز و محل اعضایی که باید تعمیر، تقویت ویا به سازه اضافه شوند
- تخمین اولیه ابعاد قسمتهای اضافه شده
- تخمین اولیه سختی اعضای تقویت شده
- تخمین اولیه از ضریب رفتار برحسب انعطاف پذیری موضعی وکلی

ب- طراحی مجدد سازه

- تعیین مشخصات بارهای غیر لرزه‌ای
- تعیین مشخصات بارهای لرزه‌ای
- تعیین اثرات بارهای اعمالی (محاسبه تنشها- تغییر مکانها) با در نظر گیری سختی اصلاح شده و باز توزیع نامناسب احتمالی اثرات بار در نتیجه تخریبهای گسترده وسنگین

ج- ضریب اطمینان

- انتخاب مدل رفتاری اعضای ترمیم یا تقویت شده
- انتخاب ضریب ایمنی مصالح مصرفی
- محاسبه مقاومت طراحی
- نامساوی $S_d \leq R_d$ برای بارگذاری لرزه ای و غیر لرزه ای در۲ حالت حدنهایی و بهره‌برداری

۵-۴ تهیه نقشه‌های طرح تقویت

باید کلیه اعضای جدید و اعضایی که احتیاج به ترمیم و تقویت دارند، با جزئیات کامل ترسیم شوند و میزان ومحل آسیب باید در نقشه های طرح تقویت مشخص شده و محلهای تقویت و شیوه انجام تقویت توضیح داده شود.

۵-۵ برآورد هزینه

کاری بسیار پیچیده و مشکلتر از متره و برآورد احداث ساختمان جدید است.

۶-معیارهای حاکم بر مقاوم سازی

۶-۱ معیارهای عمومی

۱. قیمت اولیه ساختمان و قیمت طرح ترمیم یا تقویت

۲. قابلیت دوام اعضای جدید و قدیم ونیز سازگاری فیزیکی ، شیمیایی و مکانیکی مصالح جدید وقدیم

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

۳. فراهم بودن تجهیزات، امکانات و نیروی کار

۴. امکان کنترل کیفیت

۵. پر یا خالی از سکنه بودن ساختمان

۶. مدت زمان انجام کار ترمیم یا تقویت

۷. زیبایی طرح

۸. حفظ هویت معماری، برای ساختمانهای باستانی

۶-۲. معیارهای فنی

۱. برای ساختمانهای بسیار نامنظم ، باید تا حد امکان به یک منظمی در رفتار سازه رسید

۲. تا حد امکان بخشی از سازه را که پتانسیل رفتار غیر الاستیک دارد، در کل سازه توزیع کرد.

۳. بعد از تقویت باید تمامی موارد آیین نامه‌ای مگر در موارد محدودی که اجازه داده می شود، رعایت گردد.

۴. در نواحی بحرانی، تا حد امکان باید انعطاف پذیری موضعی را بالا برد.

۵. یک حداقل افزایش سختی موضعی را در قسمتهای مختلف سازه بوجود آورد

۷ - شیوه‌های مقاوم‌سازی سازه‌های بتن آرمه

روشهای زیادی برای مقاوم سازی ارائه شده‌اند که در اینجا به تعدادی از آنها اشاره می کنیم: [۱۳]

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 وپی 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، هیسترزیس و ویسکو الاستیک Frictional-Hysteretic and Viscoelastic Dampers

۱۰- استفاده از روشهای ترکیبی فوق

۱۱- محدود نمودن در استفاده از سازه یا تغییر کاربری

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

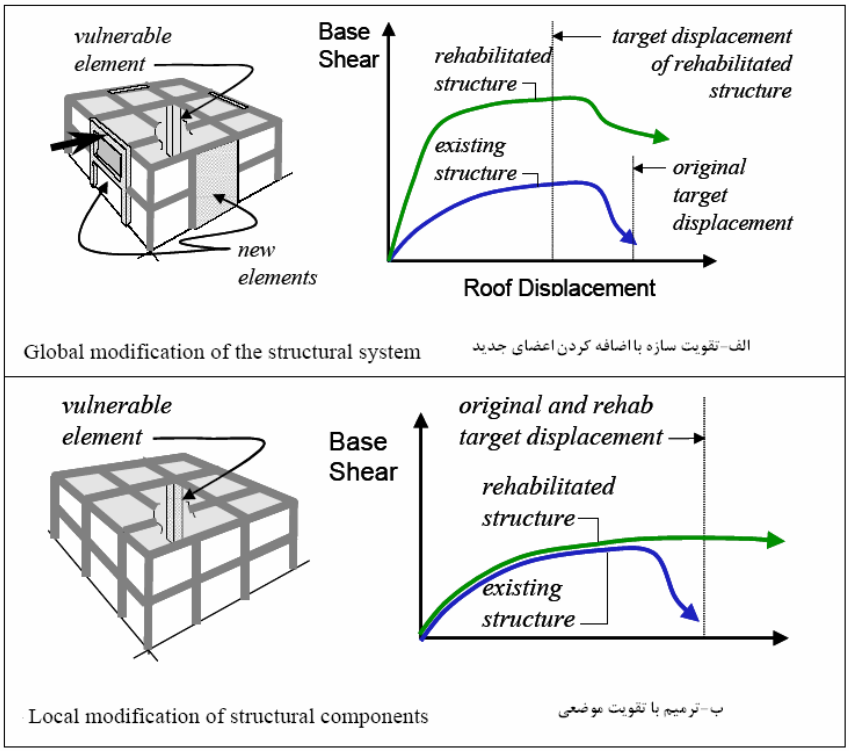
Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

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

۱۴- سبک سازی و کاهش وزن ساختمان

۱۵- جابجایی کامل اعضای به شدت آسیب دیده یا اعضای نا مناسب

با توجه به شکل ۵ می بینیم که یا کل سازه با اضافه کردن اعضای جدید چون دیوار برشی فولادی یا بتنی ، مهاربند فولادی ، دیوارهای پرکننده ، کابلهای پس تنیده و یا جداگر پایه ، میراگرها و . . . تقویت شده و گاهی اوقات با ترمیم و تقویت اعضای موجود چون استفاده از زره پوش بتنی ، ژاکت FRP و فولادی و . . . برای تقویت موضعی تیرها و ستونهای بتن آرمه آسیب پذیر بوده و در آنها نسبت تنش موجود یا تقاضا به ظرفیت (Demand to Capacity Ratio) بیشتر از یک بوده و نیازمند تقویت هستند، استفاده می گردد. به طور کلی در اعضای ناکارآمد به دنبال افزایش ظرفیت تغییر شکل نهایی آنها با تقویت موضعی هستیم و در تقویت کلی به دنبال افزایش مقاومت جانبی سازه موجود هستیم. [۲]



شکل ۵ – الف-تقویت سازه با اضافه کردن اعضای جدید ب- ترمیم با تقویت موضعی [۳]

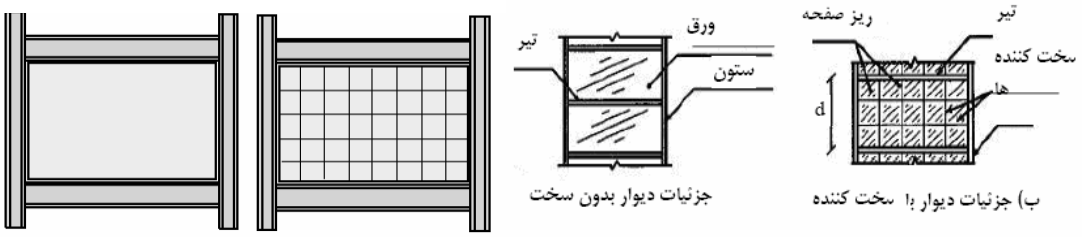
به طور کلی روش منحصر به فردی برای رسیدن به پاسخ سازه ای قانع کننده وجود ندارد و الگوهای مقاوم‌سازی متفاوتی می توان برای تقویت یک سازه خاص بکار برد ولی آنچه مسلم است تکنیکی که تغییر نسبی طبقات را بهتر کنترل می کند، کارآمدتر و به سایر روشها ترجیح دارد.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

۷-۱ تقویت سازه با اضافه کردن اعضای جدید

اضافه کردن دیوار برشی بتنی: با این روش تغییر شکل جانبی و نسبی طبقات را با روش تقویت کلی به خوبی کنترل کرده و خسارت را در اعضای قاب سازه‌ای کاهش می دهیم و با توجه به وزن بالایی که به سازه موجود تحمیل می کند و حجم بالایی که دارد برای مقاوم سازی ساختمانهای کوتاه مرتبه توصیه می شوند [۲] تمایل به سخت کردن سازه موجود دارد و برش پایه را افزایش می دهد وافزایش فشار بر روی فونداسیون سازه موجود را دارد که تقویت فونداسیون سازه موجود زیر دیوار برشی اضافه شده، هزینه بالایی را در پی دارد.

اضافه کردن دیوار برشی فولادی: از لحاظ اقتصادی مزایای فراوانی این روش دارد، زمان نصب و ساخت کوتاه برای تقویت را در بر دارد و هزینه تقویت سایر المانهای ساختمان نظیر فونداسیون را چندان تحت تأثیر نمی گذارد ، شکل پذیری واستهلاک انرژی بالادر ناحیه تشکیل مفاصل پلاستیک، رفتار پایدارهیسترزیس، افزایش سختی اولیه ، وزن کمتری در مقایسه با دیوارهای برشی بتنی به سازه تحمیل می‌کند و نیروهای اینرسی یا لختی کمتری همراه با وزن کمتر وارده به فونداسیون در پی خواهد داشت. اما یکی از معایب این دیوارها کمانش موضعی یا کلی در نواحی فشاری است که مقاومت برشی، سختی و ظرفیت استهلاک انرژی را کاهش می دهد؛ برای جلوگیری از کمانش سخت کننده به آن اضافه می‌کند که باعث افزایش هزینه‌های ساخت می‌گردد.



شکل ۶ دیوار برشی فولادی با و بدون سخت کننده [۱۵]

به دلیل تحمل تغییر شکل غیر الاستیک بزرگ پانل دیوار برشی فولادی و اتصال آن با قاب مرزی منجر به تحمل دورانهای غیر الاستیک بزرگ و تغییر شکلهای نسبی طبقات ساختمان می‌گردد. با اتصال دیوار برشی فولادی شکل پذیر با قاب بتنی ترد به کمک یقه‌های فولادی که ستون بتنی را محصور کرده‌اند ، می توان شکل پذیری کلی را افزایش داد.

اضافه کردن پانلهای فلزی، دیوارهای پرکننده با مصالح بنایی، پانلهای بتنی پیش ساخته، دیوارهای کناری: برای جلوگیری از پیدایش پیچش در دیوارها چه در ارتفاع و چه در پلان بایستی به صورت منظم و متقارن قرار گیرند و واردکردن وزن زیاد به سازه اولیه به واسطه اضافه کردن دیوارتنها در قابهای با ظرفیت برشی ضعیف کاربرد دارد. پانلهای پیش ساخته بتنی در مقایسه با دیوارهای بتنی در بارهای سیکلی وتناوبی افت سختی بیشتری داشته و پس از چند سیکل بارگذاری گسیخته می‌شوند وتنها رفتار شکل‌پذیر خوبی دارند.

استفاده از بادبندهای فولادی: بادبندهای هم محور و برون محور فولادی با اضافه شدن به دهانه انتخاب شده قابهای بتنی منجر به افزایش مقاومت جانبی قاب شده و بادبندها به حالتهای فشاری، کششی، فشاری و کششی یا پس‌کشیده و به اشکال X Chevron و Anti Chevron، لوزی شکل و زانویی اجرا می‌گردند. اصولاً بادبندهای کششی نسبت به

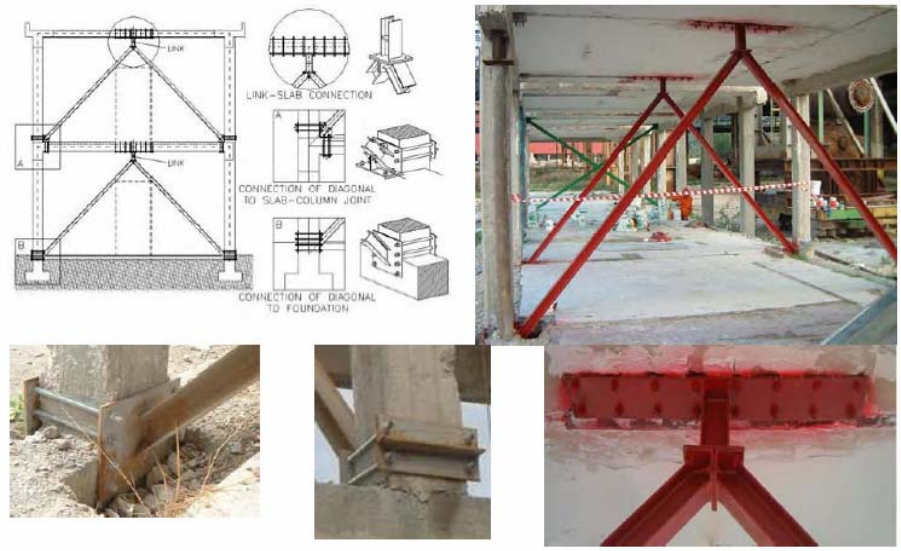
Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

بادبندهای فشاری در سیکلهای متناوب بارگذاری رفتار لرزه‌ای بهتری داشته و حلقه‌های هیسترزیس آنها باریک شدگی کمتری داشته و افت سختی کمتری دارند. بادبندها خارج از قاب و بین دو یا چند طبقه مانند کلافی محصور کننده عمل می‌نمایند.

مهمترین مزیت این تکنیک در عدم نیاز به تقویت فونداسیون به دلیل نصب مهاربند بین اعضای موجود می‌باشد، هرچند که افزایش بار در فونداسیون موجود در محل قرارگیری مهاربند محتمل بوده و فونداسیون بایستی ارزیابی مجدد گردد. عیب این روش عدم اتصال مناسب بین بادبند فولادی و قاب بتن آرمه است که اتصال را حین زلزله آسیب پذیر می‌سازد. ملات بکار رفته بین بتن و فولاد از اهمیت خاصی برخوردار است و در میزان مقاومت جانبی قاب مؤثر است و مزایای این روش، افزایش مقاومت، سختی و استهلاک انرژی و داشتن رفتار شکل پذیر در بارگذاری تناوبی وسیکلی بدون گسیختگی زود هنگام می باشد.

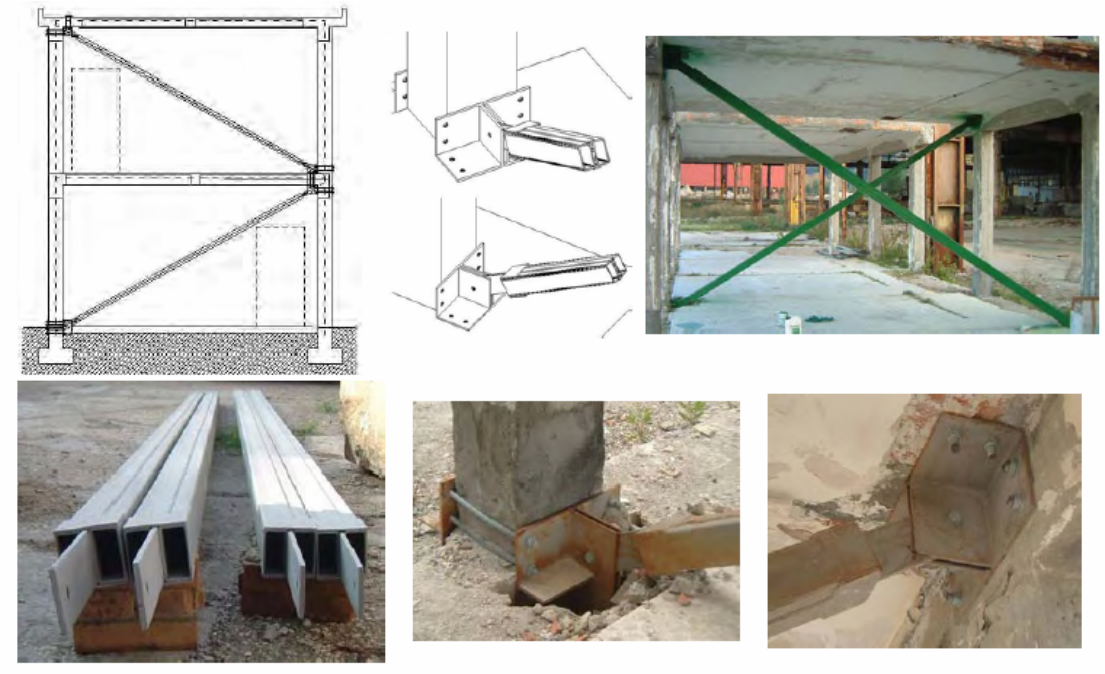
مزایای این روش عبارتند از:

۱- افزایش مقاومت و شکل پذیری سازه ۲- اعمال وزن کمتری به سازه ۳- امکان استفاده از بازشو و پنجره در قاب بادبندی شده ۴- اجرای نسبتاً آسان ۵-کنترل کیفیت ساده‌تر

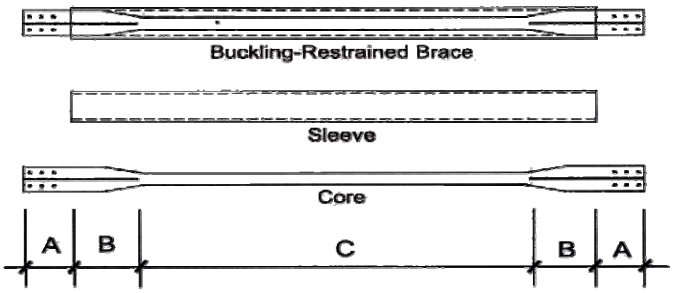


شکل ۸ *- کاربرد مهاربند برون محور (EB) همراه لینک قائم در مقاوم سازی قاب بتن آرمه [۱۷]*

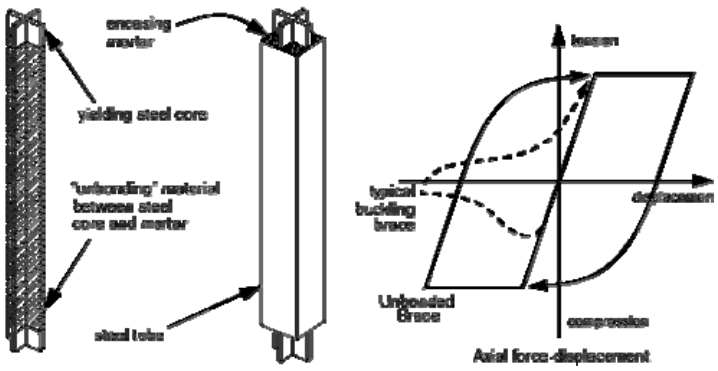
Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



شکل ۹- کاربرد بادبند هم محور مقاوم در برابر کمانش *(Buckling Restrained Concentric)*



هسته میانی از سه بخش تشکیل یافته است: ۱- ناحیه جاری شونده که نسبت به سایر قسمتها سطح مقطع کمتری دارد و بوسیله غلاف محافظت می‌شود (ناحیه C). ۲- ناحیه انتقال که سطح مقطع بیشتری دارد و باز توسط غلاف پوشیده شده است. این بخش در دو سوی بیرونی غلاف واقع می‌شود (ناحیه B). ۳- ناحیه اتصال که خارج از غلاف قرار دارد، این بخش برای اتصال بادبند به اجزای اصلی قاب بکار می‌رود. واسط این بخش با قاب همان ورق اتصال خواهد بود (ناحیه A).



Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

شکل ۱۲-کاربرد آلیاژ حافظه دار شکلی *Shape Memory Alloy (SMA)*[۱۷]

استفاده از جداگر لرزه‌ای: اساس این روش بر جدایی ساختمان از زمین استوار شده است. در این روش بار اعمالی به دلیل جدایی بین سازه و جابجایی زمین، در حین زلزله کاهش می‌یابد با ایجاد انعطاف پذیری در پایه سازه یا در طبقات و استقرار عناصر مستهلک کننده انرژی جداسازی پی صورت می‌گیرد و لایه جداگر معمولاً پریود طبیعی بالاتری نسبت به پریود طبیعی تکیه گاه ثابت دارد که این افزایش پریود منجر به کاهش شتاب طیف لرزه‌ای می‌شود و نوعی از بالشتکهای لرزه‌ای استوانه‌ای کوتاه با یک حفره یا بیشتر و ورقهای فولادی با لاستیک سخت بین آنها (المانهای لغزشی) در جداگرهای لرزه‌ای معمول هستند و به دلیل این که جداگرهای لرزه‌ای انرژی را مستهلک می‌کنند و کاربرد این روش در ساختمانهای سخت با فرکانس بالا و کوتاه با بارهای سنگین می‌باشد ولی دراین تکنیک بایستی توجه داشت کاربرد جداگر لرزه‌ای در خاکهای نرم به دلیل امکان همسان شدن پریود و پدیده تشدید یا رزنانس توصیه نمی‌گردد و پریود انتخابی حتی المقدور بایستی ازتناوب حرکت زمین دور باشد.

مزایای این روش عبارتنداز:

۱- ایجاد انعطاف پذیری مناسب در سازه

۲- کاهش تغییر مکان نسبی کف‌ها و پایین آمدن میزان خرابی سازه‌ای و غیر سازه‌ای

۳- کاهش فرکانس ارتعاش سازه و کاهش نیروهای طراحی زلزله

۴- اشغال مساحت کمتری از ساختمان برای اجرای این طرح تقویت

۵- مزاحمت کمتر برای ساکنان و عدم نیاز به تخلیه ساختمان

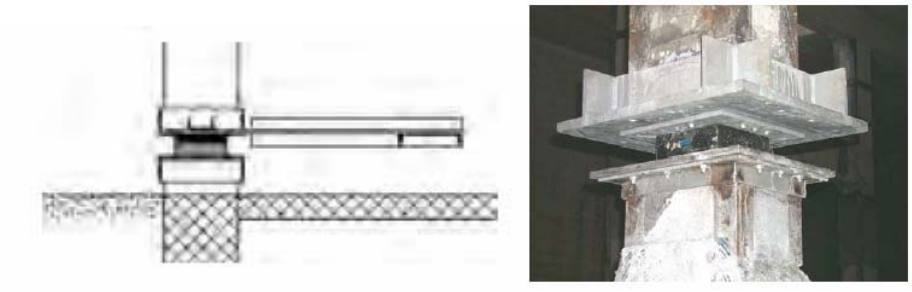
۶- محفوظ نمودن نمای ساختمان

با توجه مزایای برشمرده، کاربرد این روش در ساختمانهای کوتاه و متوسط مرتبه، پلها، نیروگاههای هسته‌ای و بسیاری از ساختمانهای صنعتی می‌باشد.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

سیستم جداگر لرزه‌ای دارای ۳ جز اساسی است: ۱- تکیه‌گاه انعطاف پذیر ۲- میراکننده یا مستهلک کننده انرژی ۳- تأمین کننده سختی در برابر بارهای جانبی کم؛ برای تأمین انعطاف پذیری از وسایلی نظیر غلتکها، صفحات لغزشی اصطکاکی، کابلهای تعلیق، پایه‌های مهره ماسوله‌ای و پی‌های گهواره‌ای استفاده می‌شود. برای تأمین استهلاک انرژی می توان از الاستومرهای سربی- لاستیکی و میراگرهای هیدرولیکی در پلها وسازه‌های ویژه استفاده نمود، و برای تأمین سختی از تکیه‌گاههای سربی-لاستیکی یا سایر اتلاف کننده های انرژی مکانیکی استفاده می‌شود.

سیستم جداگر لرزه ای سربی- لاستیکی بدین شکل است که بین دو صفحه نگهدارنده لایه‌های لاستکیی با ورقهای سخت شده بین آنها و هسته سربی می‌باشد و ازآلیاژهای نیکل وتیتانیوم به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و تحمل تغییرشکلهای حرارتی بالا استفاده می‌شود.

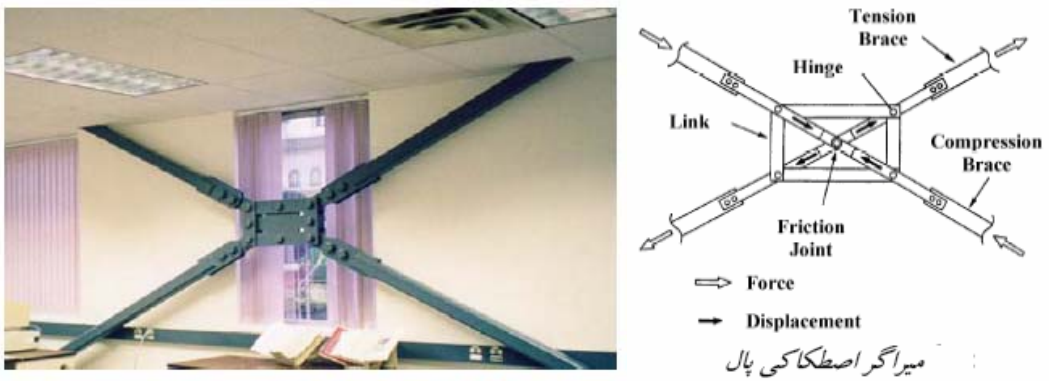


شکل ۱۳ - *جداگر لرزه‌ای یا ایزولاتور*

ایزولاتورها زیر یا روی فونداسیون یا در زیر و پای ستون یا در وسط ستون بکار برده می‌شوند.

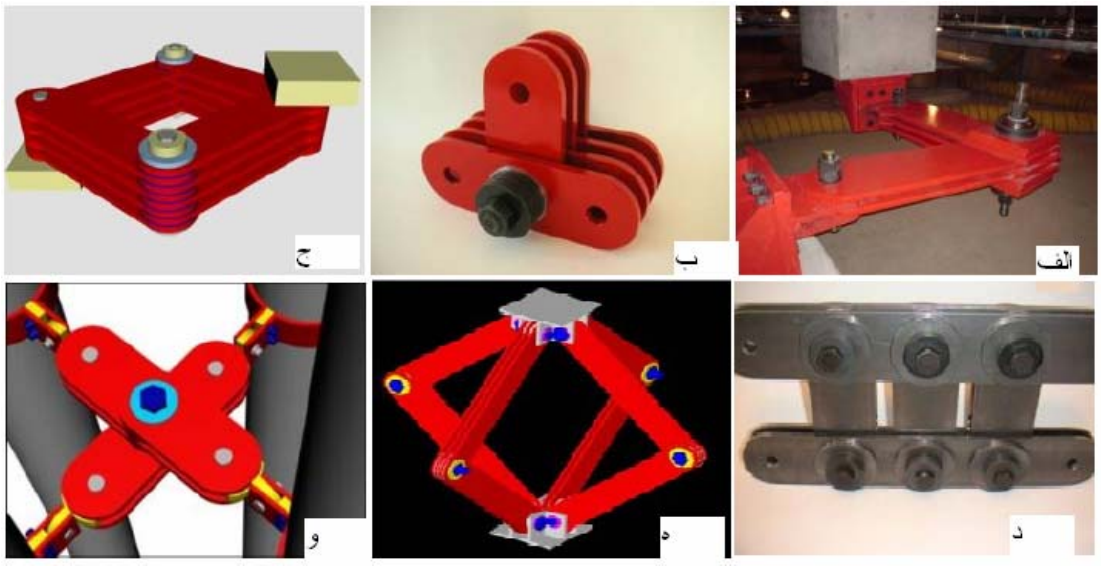
استفاده از مستهلک کننده انرژی: اساس روش بر پایه افزایش میرایی و کاهش دامنه نوسان و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه‌ای استوار است.

انواع میراگرها عبارتند از اصطکاکی یا پال، هیسترزیس، متالیک، مایع لزج، ویسکو الاستیک و ... که مزیت اصلی همگی آنها سهولت نصب می باشد.

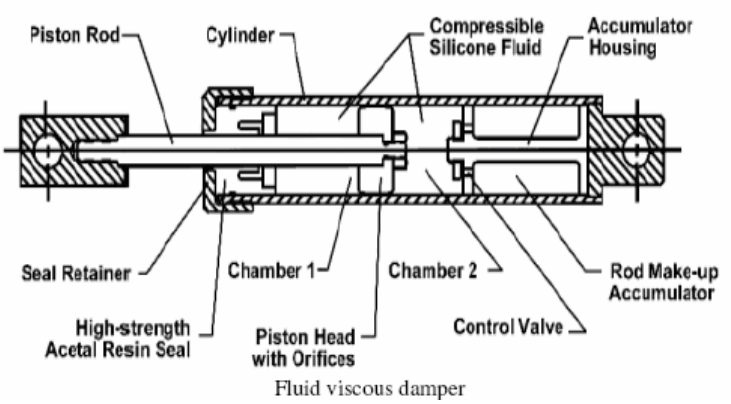


شکل ۱۴ - *میراگر اصطکاکی پال*

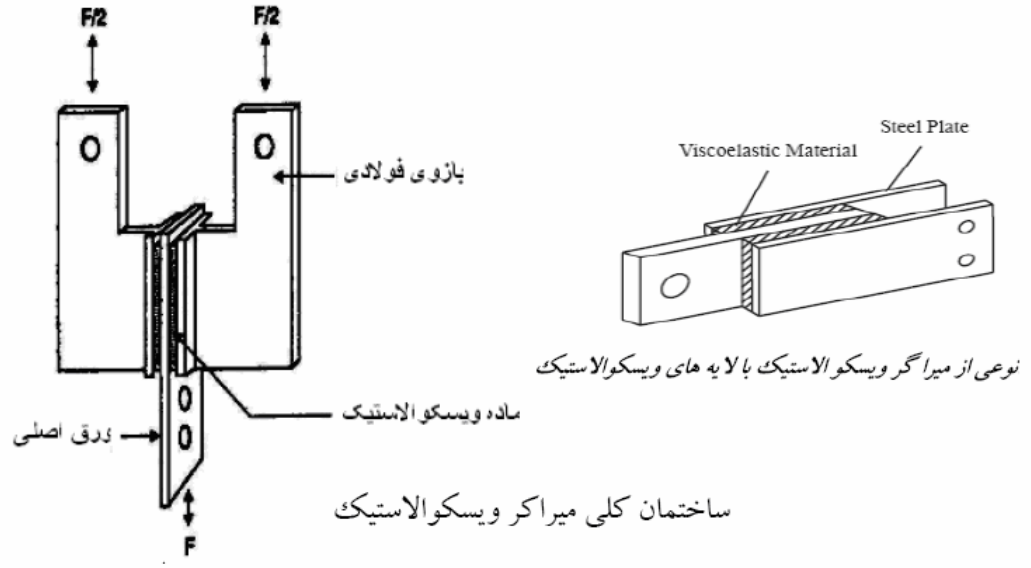
Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



شکل ۱۵ – انواع میراگر اصطکاکی

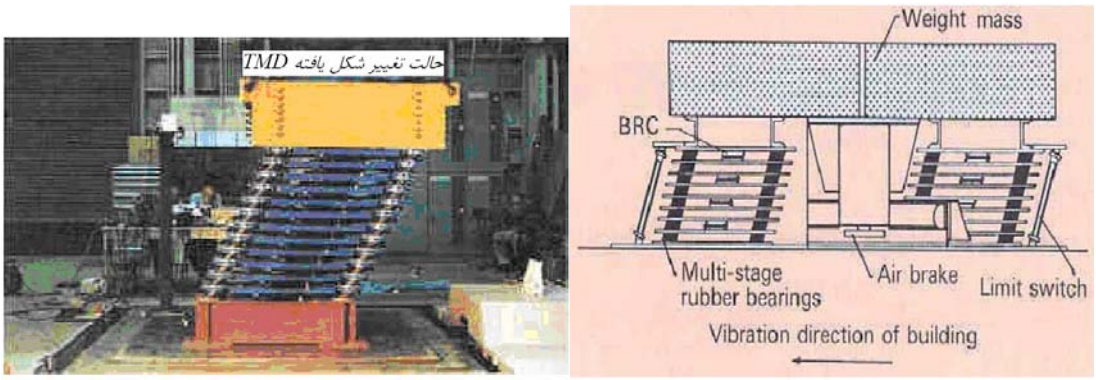


شکل ۱۶ – میراگر مایع لزج [۱۸]

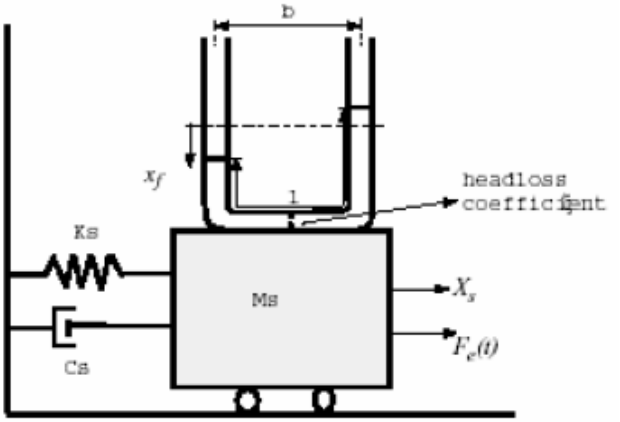


شکل ۱۷ – میراگر ویسکوالاستیک

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

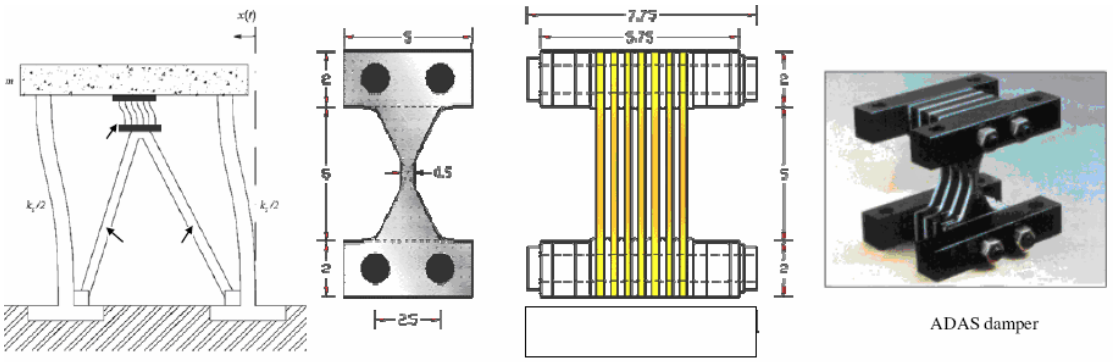


شکل ۱۸- میراگرجرم تنظیم شده *Tuned Mass Damper*



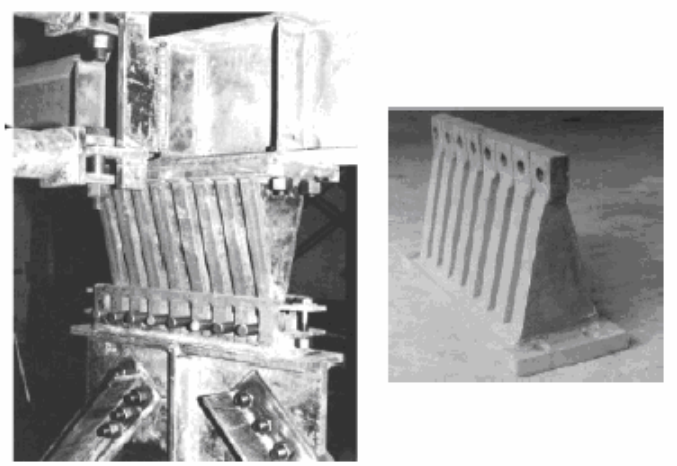
شکل ۱۹- شماتیک میراگر ستون مایع تنظیم شده *Tuned Liquid Column Damper*

در سالهای اخیر استفاده از صفحات فولادی TADAS قابهای واگرا (EBF) ، سیستمهای پانل برشی (SPS) از محبوبیت بیشتری در کاربردهای ساختمانی برخوردار شده‌اند، معمولاً میراگرها روی بادبندها، بین بادبند، تیر، بین دیوارها یا بین دیوار وتیر نصب می‌شوند.

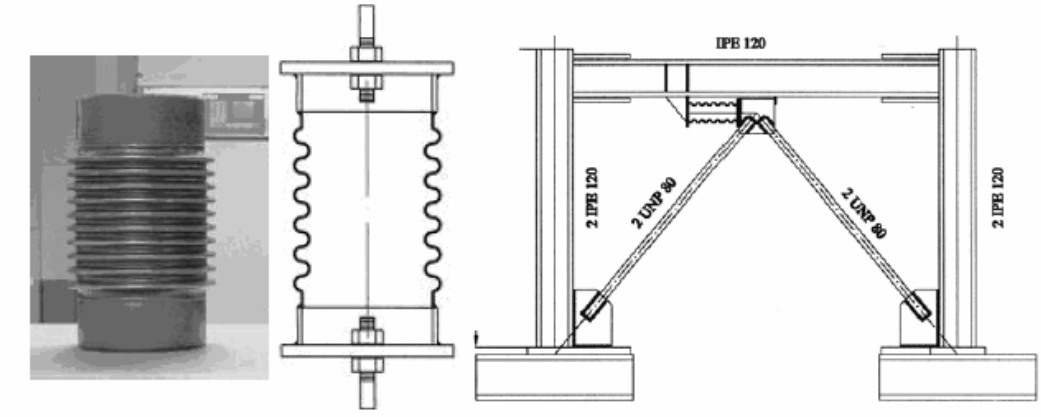


شکل ۲۰- میراگر ADAS *(Added Damping and Stiffness)*

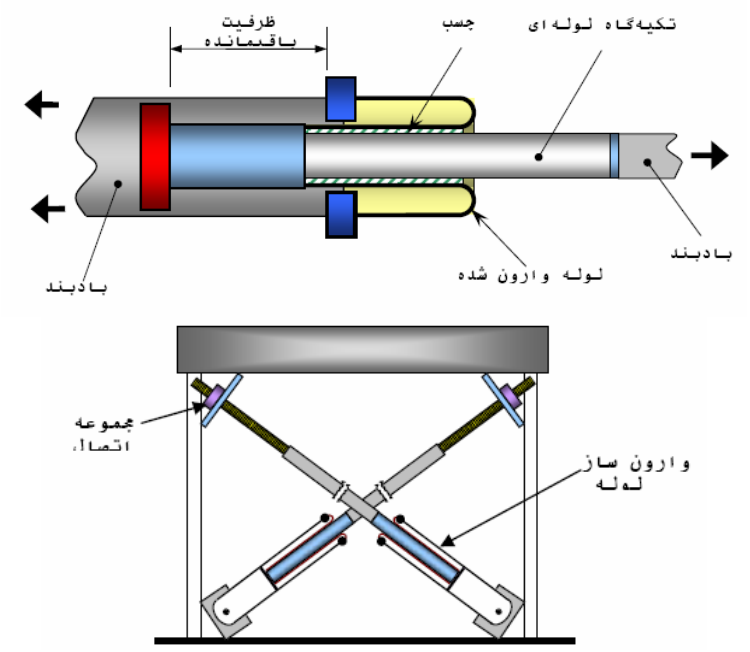
Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



شکل ۲۱- میراگر TADAS *(Triangle Added Damping and Stiffness) [۱۴]*



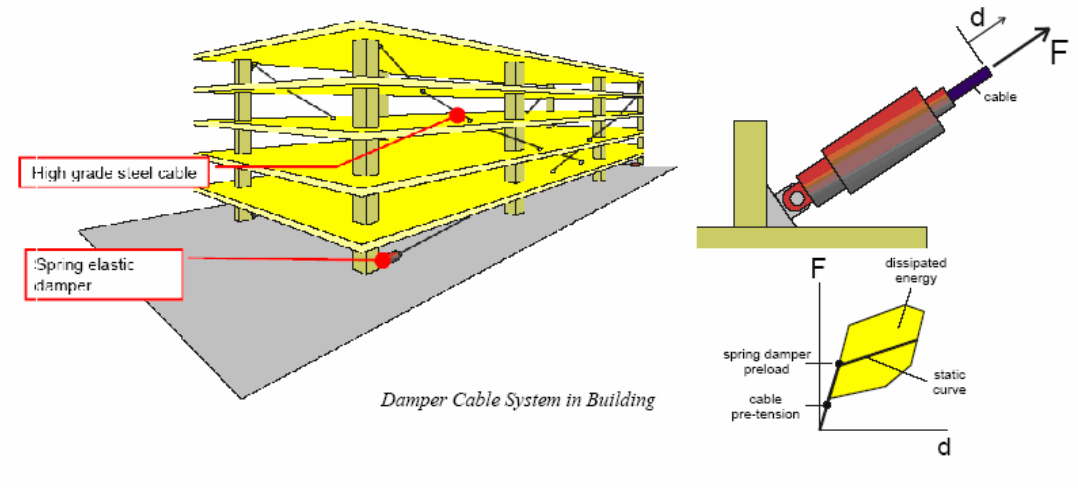
شکل ۲۲ - میراگر فلزی آکاردئونی *[۱۴]*



شکل ۲۳ - نوعی دیگر از میراگر *[۱۵]*

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

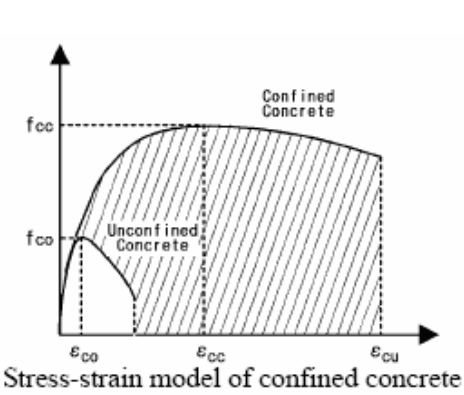
استفاده از سیستم ترکیبی کابلهای پیش تنیده و میراگر



۲-۷ ترمیم با تقویت موضعی

ناحیه بحرانی در قابهای بتن آرمه، اتصال تیر به ستون می‌باشد که گسیختگی برشی در پانل اتصال به دلیل کمبود آرماتور عرضی رخ می‌دهد. زره پوش بتنی یا فولادی، استفاده از ژاکت FRP ، تاندونهای پیش تنیده و . . . ازجمله روشهای ترمیم و تقویت موضعی اعضای بتن آرمه می‌باشد.

ژاکت کردن ستون: شکست برشی ستون بتن آرمه در تغییر شکلهای محدود توأم با افت مقاومت بار جانبی به خاطر این است که مقاومت برشی ستون نسبت به مقاومت خمشی آن در بار جانبی سیکلی و متناوب تمایل بیشتری به کاهش سریعتر دارد و ژاکت ستون هم در افزایش مقاومت برشی و هم مقاومت خمشی مؤثر است و هم منجر به افزایش محصور شدگی و تأثیرات آن بر افزایش کرنش نهایی بتن می گردد.

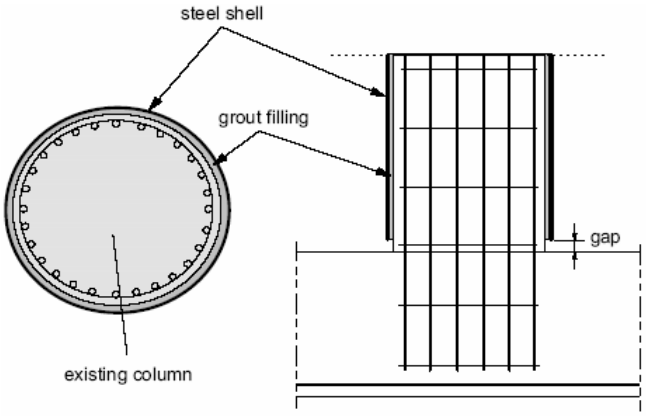


Stress-strain model of confined concrete

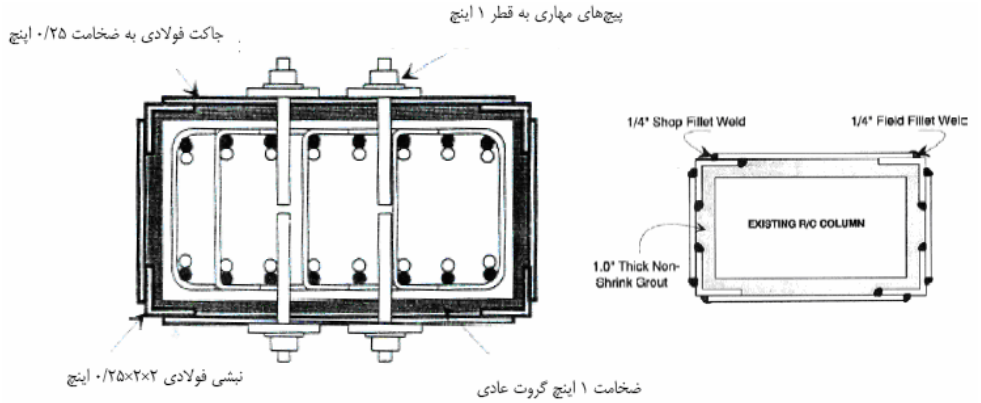
قفس فولادی از مقاطع نبشی به صورت طولی و تسمه‌های فولادی عرضی ساخته می‌شود. در عمل تسمه‌های عرضی به صورت جانبی تنیده می شوند و برای اینکار از آچارهای مخصوص یا پیش گرمایش عضو استفاده می شود. فضای خالی بین قفس فولادی و بتن موجود معمولاً با ملات‌های مقاوم ضد انقباض پر می‌شود؛ بایستی توجه داشت که ملات مذکور ماسه سیمان معمولی نباشد چون براثر انقباض ملات، لغزش زود هنگام بین سطح ملات و بتن رخ می‌دهد

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

که افزایش باربری ناشی از محصور سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در جایی که محافظت فولاد در برابر خوردگی و آتش مطرح است از بتن پاشی و شاتکریت استفاده می‌شود [۴].



Steel jacketing (encasing) of a circular section column



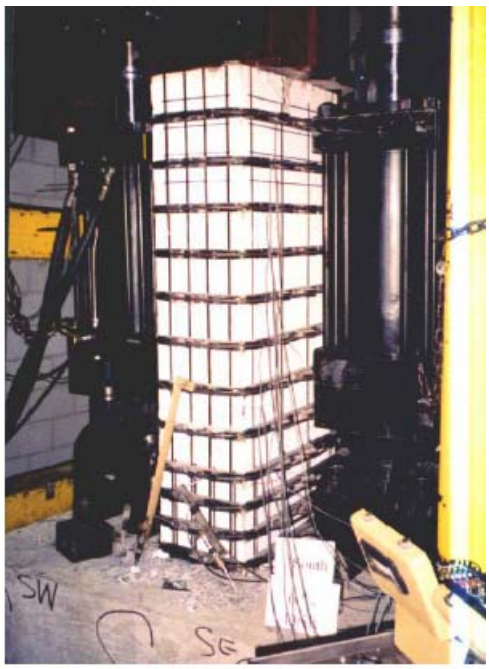
با دقت در شکل فوق شکاف موجود بین لوله شالوده در حدود 5 cm بوده که برای جلوگیری از امکان باربری محوری ژاکت فولاد در تغییر شکلهای جانبی بزرگ و جلوگیری از کمانش موضعی آن است [۴]. محصور سازی ستون با ورقهای نازک فولادی نیز انجام می‌شود و این ورقها با فاصله کمی از سطح ستون قرار می‌گیرند و فضای بین آنها با ملات ضد انقباض پر می‌شود. در هر دو روش قفس و ورق فولادی افزایش سطح مقطع ناچیز بوده و نسبت به روش پوشش بتنی که پرکاربردترین روش در دنیا است و در کاربری فضا اختلال کمتری ایجاد می‌کند [۸]

بایستی توجه داشت ژاکتهای فولادی با لوله‌ها و یا قوطی‌های فولادی پر شده با بتن(Concrete Filled Tube) تفاوت دارند اولاً کهCFT را با عملکرد و اندرکنش توأم بتن و فولاد طراحی می‌کنند ولی در ژاکتهای فولادی بین ورق فولادی و بتن درزی است که با ماده پرکننده ضد افت و انقباض مثل گروت سیمان خالص پر می‌کنند و به صورت غیر فعال بعداً از خاصیت محصور شدگی بتن استفاده می‌شود در صورتی که در CFT به محض بارگذاری بتن وارد فاز محصور شدگی می‌گردد.

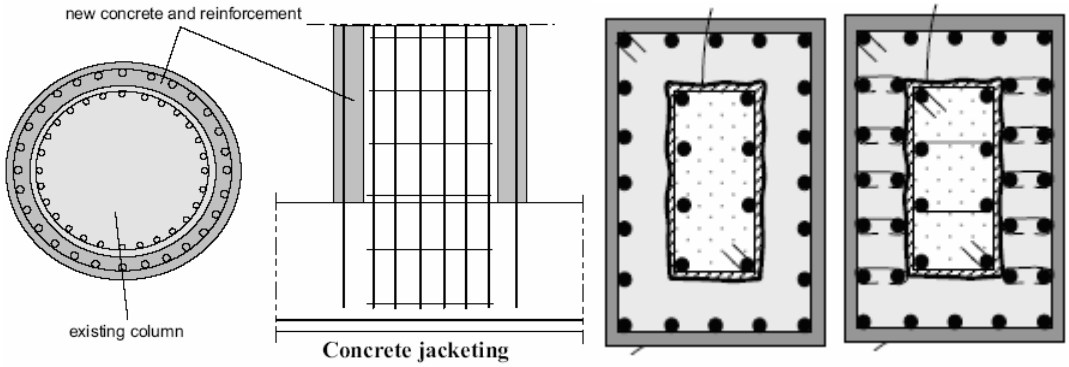
استفاده ازسیمهای فولادی در تقویت فوری آن یا تسمه‌های پس کشیده فولاد به همراه فولاد عرضی نیز از جمله روشهای تقویت ستون می‌باشد.

از پوشش بتنی و پلاستر مسلح که بسیار شبیه به ژاکت یا زره پوش بتنی است نیز می‌توان استفاده کرد با این تفاوت که از شاتکریت یا پلاستر معمولی ساخته می‌شوند.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

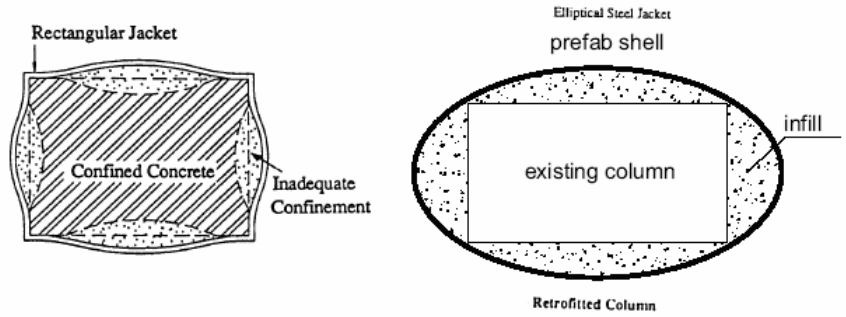


تقویت لرزه ای ستون بتن آرمه ، کمبود آرماتور انتظار از طریق پیش تنیدگی خارجی [۲۰]

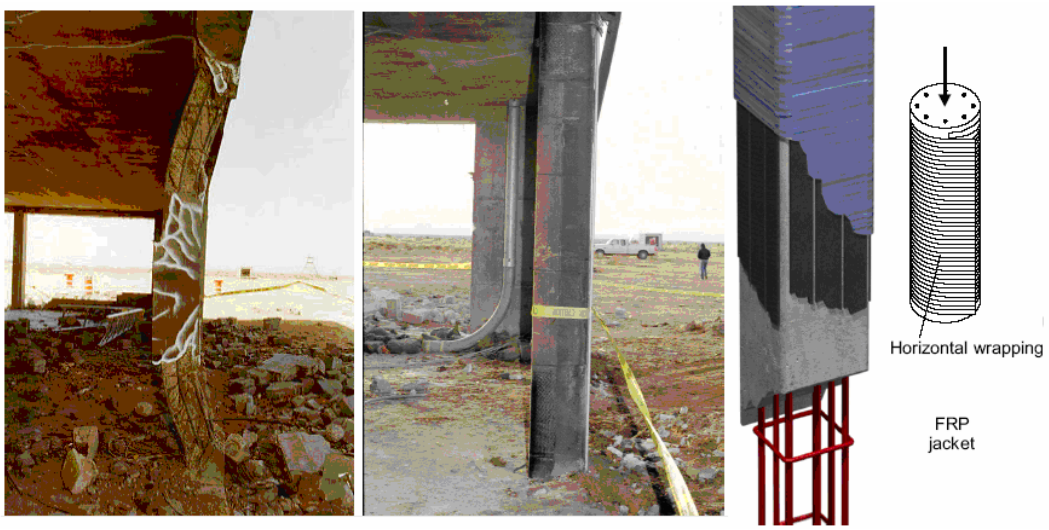


سیستمهای یقه‌های فولادی علاوه بر این که محصور شدگی را برای ستون تأمین می‌کند، نسبت به تنگهای بسته متداول مزایای بیشتری دارند از جمله: ۱- محصور شدگی و احاطه کردن بتن پوشش و افزایش سطح مؤثر و هسته مرکزی بتن در مقاومت نهایی، ۲- ایجاد کردن سختی خمشی بزرگتر و تأمین مکانیزم محصورشدگی مناسب در مقایسه با تنگ بسته، ۳- داشتن عرض کافی در تماس مستقیم با ستون بتنی که امکان افزایش فاصله بین یقه‌های فولادی را افزایش می‌دهد و ۴- در نهایت با افزایش سطح مقطع عرضی نسبت به تنگهای بسته مقاومت برشی ستون بتن آرمه را افزایش می‌دهد. با توجه به تحقیقات انجام شده، تأثیر محصور شدگی در ستونهای دایروی و بیضوی بیشتر از ستونهای مربعی یا مستطیلی معادل می‌باشد، از اینرو برای ژاکت کردن ستونهای مربع مستطیل برای افزایش تأثیر محصور شدگی توصیه شده است از ژاکت دایروی یا بیضوی استفاده شود و بین غلاف وستون بتن‌آرمه با یک ماده پرکننده ضد انقباض پر شود. [۴]

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



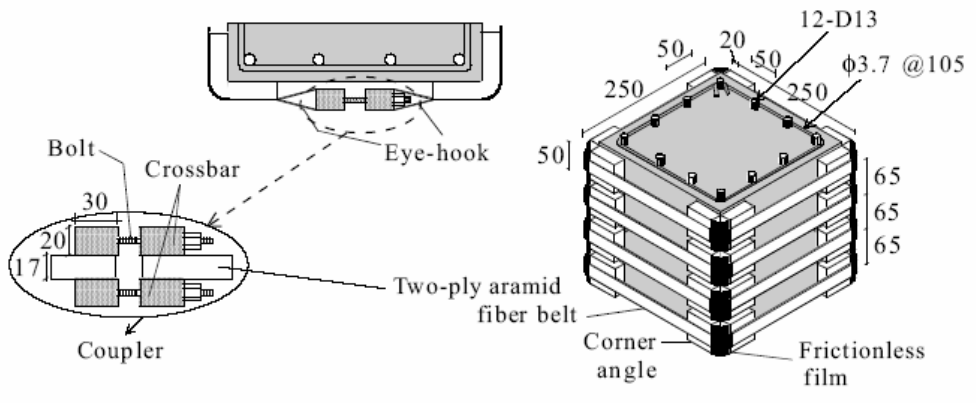
ژاکتهای FRP دارای مزیت کاربرد و نصب سریع در زمان کوتاه، وزن سبک با مقاومت مناسب در برابر خوردگی . . . می‌باشد بایستی توجه داشت که اگر تیر با لمینیت FRP به صورت کامل دورپیچ شده باشد، امکان مد گسیختگی زودهنگام Debonding ضعیف بوده و این مد گسیختگی در حالت U شکل و نوارهای جانبی و چسبیده به بدنه تیر رخ می‌دهد و مهار انتهایی FRP در افزایش مقاومت کامل مؤثر است و ژاکتهای کامپوزیتی پیش ساخته که معمولاً با چسب اپوکسی به سطح ستون بتن آرمه چسبانده می‌شوند وآماده سازی سطح برای درگیری بیشتر لایه بتن و چسب حائز اهمیت بوده وعیب این روش، کاهش شکل پذیری حاصل می‌باشد.



شکل ۲۹–*ستون تقویت شده با کامپوزیت FRP و آسیب دیده*

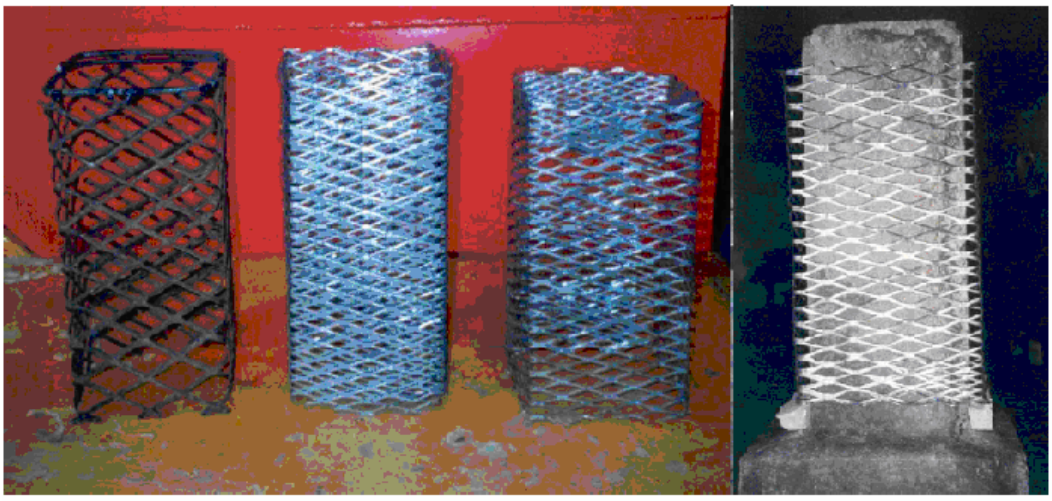
روشی که اخیراً برای افزایش مقاومت برشی و لرزه‌ای ستونها بکار برده می شود، افزایش فشار جانبی فعال و غیرفعال برای غلبه بر انبساط و اتساع جانبی بتن تحت فشار به دلیل پدیده پواسون و نیرو در محل گیره‌ها برای افزایش چسبندگی بتن و فولاد اعمال می‌شود. علاوه بر تسمه‌های فولادی امروزه از کمربند کامپوزیتی فیبر آرامیدی که پیش‌تنیده یا پس‌تنیده می‌باشند برای افزایش تأثیر محصور شدگی استفاده می‌شود.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



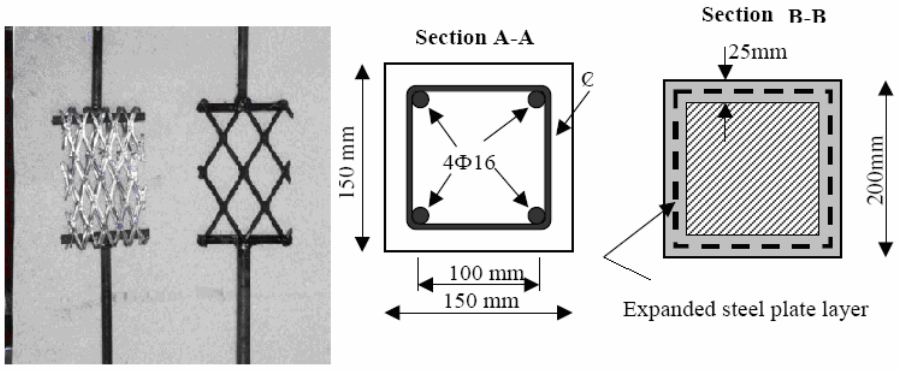
شکل ۳۰ – ستون تقویت شده با تسمه پیش تنیده کامپوزیت AFRP [۱۹]

در تحقیقات اخیر بجای استفاده از کامپوزیتهای الیافی FRP ورقهای فولادی و انواع دیگر ژاکتهای ستون چون قفس فولادی، تسمه فولادی و زره‌پوش بتنی می‌توان از شبکه‌های سیمی فولادی برای افزایش شکل‌پذیری و خصوصاً شکست ترد برشی در ستونهای کوتاه تحت بارگذاری سیکلی استفاده کرد؛ مزیت این روش نسبت به پوشش ضخیم بتن مسلح با شبکه میلگرد وتنگ بسته که تأثیر مثبت روی سختی و مقاومت برشی دارد و تأثیر منفی روی شکل‌پذیری، این است که در این روش با مصرف حجمی معادل فولاد و پوشش تقویتی نازک با ملات مسلح (فروسیمان) می‌توان به شکل پذیری بالاتری رسید. [۱۶]



با توجه به شکل می‌بینیم که ورقهای گسترده فولادی لوزی‌شکل بوده و شبیه به الیاف کامپوزیتی FRP رفتار ارتوتروپیک داشته و در امتداد قطر بزرگتر لوزی سختی و مقاومت بالایی دارد و جهت قرارگیری آن با محور عضو حائز اهمیت می‌باشد. چسبندگی و پیوستگی ورق گسترده با بتن و ملات بسیار خوب بوده و نوع نورد و مسطح شده آن، ازاین نظر که نیروهای عمود برصفحه، نمی‌تواند منجر به کنده شدن پوشش بتنی روی ورق شود، عملکرد بهتری دارد. [۱۶]

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



۳-۷ سیستم هیبریدی جدید

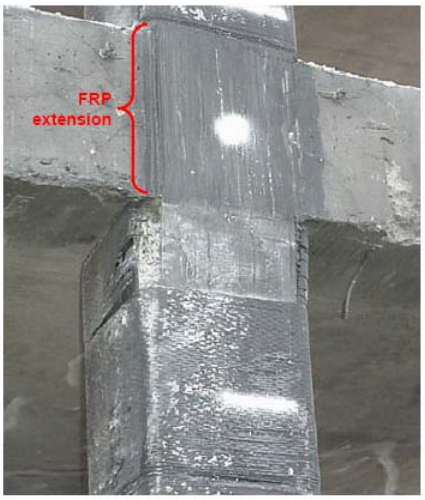
اخیراً پروفسور J.G.Teng مدل ستون FRP Concrete-Steel Double Skin را مطابق شکل ۳۱ ارائه داده است که متشکل از یک لوله فولاد داخلی و یک غلاف خارجی FRP است که فضای بین آن دو با بتن پر شده است. با دقت به عملکرد چنین ستونی می‌بینیم که این ستون معایب لوله‌های فولادی چون کمانش تحت بار فشاری را به دلیل احاطه شدن با غلاف بتنی نداشته و از طرفی بتن موجود به وسیله پوشش FRP کاملاً محصور شده و ظرفیت بار نهایی و کرنش نهایی آن تحت بار محوری به شدت افزایش می‌یابد.

شکل ۳۱ *- سیستم مرکب FCSDS/۱۳/*

تقویت اتصال دال- ستون: در این گونه اتصالات خسارت سازه‌ای بحرانی به صورت گسیختگی برش پانچ یا دو طرفه به دلیل ممان نامتعادل است؛ استفاده از کتیبه یا پدستال بتنی، ورقهای فولادی و FRP دوطرف دال برای افزایش ظرفیت برشی روشهای تقویت اتصال دال- ستون می‌باشد.

تقویت اتصال تیر- ستون: زره پوش یا غلاف بتنی و ورقهای فولادی پیچ شده یا موجدار، ژاکتهای فولادی، لمینیتهای FRP ازجمله روشهای تقویت اتصال تیر- ستون می‌باشند و افزایش مقاومت برشی و شکل‌پذیری را در پی دارند و مشکل اساسی آنها که در تقویت اتصال می‌باشد عدم تأمین محصورشدگی مؤثر است و برای جلوگیری از شکم دادن و برآمدگی ورقه‌های فولادی مسطح که در تقویت استفاده می شوند، استفاده از مهار مکانیکی مناسب توصیه می‌شود. مهار انتهایی ورقه‌های FRP در تقویت اتصال برای تأمین محصور شدگی حائز اهمیت است.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

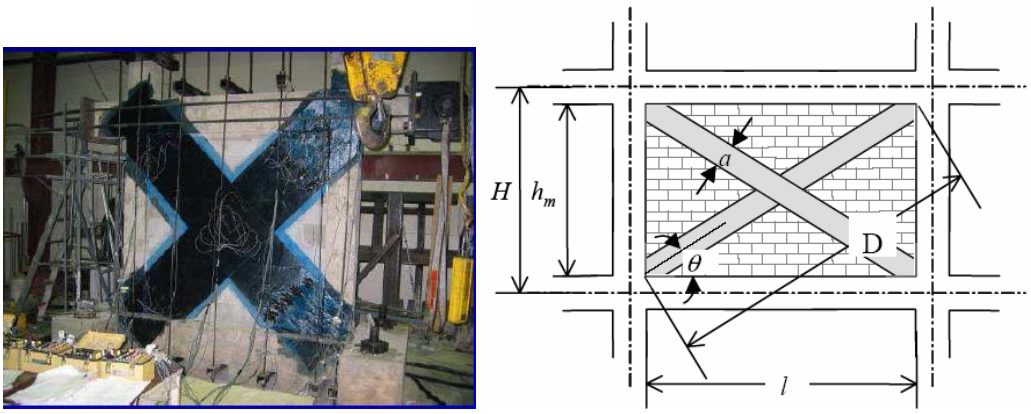


تقویت دیوارهای بتنی و مصالح بنایی: استفاده از نوارهای فولادی در ساختمانهای مصالح بنایی و دیوارهای بتنی برای افزایش شکل‌پذیری و مقاومت توصیه می‌گردد. امروزه از نوارهای FRP به دلیل مزایای بی‌شمار چون سبک بودن و بالا بودن مقاومت نسبت به وزن، مدول الاستیسیته بالا، مقاومت بالا در کشش و برش، مقاومت در برابر رطوبت و شرایط محیطی (عدم زنگ‌زدگی و پوسیدگی)، انعطاف پذیری بالا، دوام و پایداری بالا و ... در تقویت دیوارهای مصالح بنایی و بتنی استفاده می‌شوند.

نقاط ضعف سازه‌های بنایی در برابر زلزله عبارتند از: کامل نبودن مسیر انتقال بارجانبی در دیوارهای باربر، کافی نبودن مقاومت برشی دیوار، عدم وجود سیستم مقاوم کمکی کلاف و گسترش بالای دیوار به طرف خارج، نامنظمی در ارتفاع، عدم وجود پی مناسب، نامنظمی در پلان، زیاد بودن وزن دال و عدم یکپارچگی و وجود بازشو و خسارتها عبارتند از ایجاد ترکهای افقی بین دیوارها و سقفها، ایجاد ترکهای قائم در محل تقاطع دیوارها، جداشدن دیوارهای خارجی از یکدیگر و سقف، فروریختگی خارج از صفحه دیوارهای خارجی و فروریختن سقف، حرکت گهواره‌ای دیوار در صفحه خود، ایجاد ترک در زیر پنجره‌ها و خرد شدن پنجه دیوار در اثر حرکت گهواره‌ای و در نتیجه کاهش سختی و مقاومت سازه، ایجاد ترکهای قطری در پای دیوارها و کناربازشوها، جدا شدن یا ضربه زدن متقابل در گوشه دیوارهای متعامد، فروریختگی جزئی و کلی دیوارها [9]

اکثر دیوارهای آجری غیر مسلح (Un-Reinforced Masonry) عدم توانایی تحمل نیروهای رفت وبرگشتی را دارند وعمدتاً برای تحمل بار ثقلی و گرانشی طراحی شده‌اند و قادر به تحمل نیروهای برشی درون صفحه‌ای و خمشی خارج از صفحه نمی‌باشند. مقاومت خمشی دیوارهای URM بستگی به مقاومت کششی ملات آن دارد و چسباندن ورقه FRP به سطح بیرونی دیوار برای تحمل نیروهای کششی به همراه مقاومت فشاری آجر تأثیر بسزایی در افزایش مقاومت خمشی دیوار دارد.

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



شکل- ۳۵ دیوار آجری تقویت شده با *FRP*

نتیجه‌گیری:

با بررسی امکان‌سنجی کلی در تقویت کلی یا موضعی سازه بتن‌آرمه و کارآمدی و مؤثر بودن تکنیک مقاوم‌سازی و سهولت روش اجرایی و کاربردی با در نظر گرفتن سطح عملکرد مورد انتظار با توجه به سطح خطر و توجیه اقتصادی آن، با توجه به پارامترهای مؤثر یکی از روشهای مقاوم‌سازی را انتخاب می‌کنیم که مدل‌های تجربی و آزمایشگاهی متعددی در زمینه مقاوم‌سازی سازه‌های بتن آرمه ارائه شده است ولی ارزیابی عددی و تئوری به دلیل پیچیدگیهای روشهای حل غیرخطی محدود می باشد که تحقیقات توأم آزمایشگاهی و تئوری برای درک رفتار سازه قبل و بعد از تقویت را می‌طلبد.

منابع:

[1] Jong Wha Bai "Seismic Retrofit for Reinforced Concrete Building Structures" Consequence-Based Engineering (CEB)-Institute Final Report –Texas University-August 2003

[2] Jianhua Liu "Rehabilitation of Seismically Deficient Reinforced Concrete Structures-State of the art" university of Alberta; An Interdisciplinary Journal 2006

[3] Jack P.Moehle "State of Research on Seismic Retrofit of Concrete Building Structures in the US" Pacific Earthquake Engineering Research Center University of California، Berkley; US-Japan Symposium and Workshop on Seismic Retrofit of Concrete Structures-State of Research and Practice

[4]Giorgio Monti "Seismic Upgrade of Reinforced Concrete Columns with FRP" University Spienza Roma، Italy

[5] Michael N.Fardis "Seismic Assessment and Retrofitting of Existing Buildings According to Euro code 8" Dept of Civil Engineering of Patras، Greece ، Fifth National Conference on Earthquake Engineering 26-30 May 2003، Istanbul، Turkey

[6] Tetsuo Yamkawa، Mehdi Banazadeh ، Shogo Fujikawa " Emergency Retrofit of Damaged RC Columns Right after Seismic Attack Using Pre-Tensioned Aramid Fiber Belts" 1st Conference on Application of FRP Composite in Construction and Rehabilitation of Structures May 4،2004، Tehran، Iran

[7] - Ghassan K.Al.Chaar and Georgy E.Lamb "Design of Fiber-Reinforced Polymer Materials for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures "- December 2002 - US Army Corps of Engineering-Research and Development Center

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

[۸] فریبرز ناطقی الهی « روشهای مقاوم سازی و بازسازی ستونهای بتن مسلح آسیب دیده » فصلنامه علمی- کاربردی مهندس اسوه سال اول /شماره اول/ بهار۱۳۸۴

[۹] دیوید کی؛ « طراحی کاربردی ساختمانهای مقاوم در برابر زمین لرزه » ترجمه دکتر فریبرز ناطقی‌الهی، مهرتاش معتمدی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

[۱۰] مینوروا کابایشی « ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله » ترجمه دکتر محمد مهدی سعادتپور، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان

[۱۱] سید مهدی زهرایی، جزوه آموزشی « آسیب پذیری ساختمانها و راههای مقابله با آنها »، مرکز تحقیات ساختمان و مسکن، اسفند ۱۳۸۵

[۱۲] عباسعلی تسنیمی، «بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای سازه های بتن آرمه»، دانشگاه تربیت مدرس ، پیش نویس - دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود

[۱۳] ایمان الیاسیان «روشهای مقاوم سازی سازه های بتن آرمه و آشنایی با روش تقویت با ورقه FRP» فصلنامه علمی- کاربردی مهندس اسوه سال اول /شماره سوم/ بهار ۱۳۸۵ و پنجره، نشریه علمی-تخصصی سازمان نظام مهندسی استان قم،سال دوم ،شماره چهارم بهار ۱۳۸۵ صفحه ۲۴-۲۷ و مجموعه مقالات چهارمین همایش سراسری باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی کاشان در ۲ و ۳ شهریور ۸۴ و سایت مرکز عمران ایران (Iran Civil Center)

[۱۴] مجموعه مقالات هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ، تهران ، دانشگاه تربیت مدرس اردیبهشت ۱۳۸۵

[۱۵] مجموعه مقالات اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تهران، دانشگاه امیرکبیر، اردیبهشت ۱۳۸۵

[۱۶] رضا مرشد، محمدتقی کاظمی « تقویت برشی ستونهای کوتاه بتنی با ورقهای گسترده فولادی » چهارمین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، اردیبهشت ۱۳۸۲

[17] F.M.Mazzolani; G.Della Corte; B.Faggiano "Full Scale Testing and Analysis of Innovative Techniques for Seismic Upgrading of RC Buildings "

[18] Ali Sehat Tabatabaei "Energy Dissipation Systems for Seismic Resistance" Iran Civil Center Website (ICC82.com)

[19] T.Yamakawa،K.Nasrollahzadeh Nesheli، H.Satoh "Seismic Retrofitting of RC Columns Using Prestressed Aramid Fiber Belts" Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology 12-14 May 2003 Tehran، Iran

[20] M.Sadoughi Yarandi،M.Saatcioglu "Seismic Retrofit of Rectangular Concrete Column with Splice Deficiences by External Prestressing" Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology 12-14 May 2003 Tehran، Iran

Copyright © 2003-2007 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.