

به نام نگارنده هستی
دانشگاه علم و فرهنگ
دانشکده فنی و مهندسی

سمینار کارشناسی ارشد
رشته مهندسی عمران - گرایش سازه

راهکار های مقاوم سازی سازه های بتن آرمه با تمرکز روی ستون ها

استاد درس : جناب آقای دکتر پرستش

دانشجو : محمد مهدی صالحی

نیمسال اول ۸۸ - ۸۷



با تشکر و قدردانی از زحمات استاد محترم :
جناب آقای دکتر پرستش



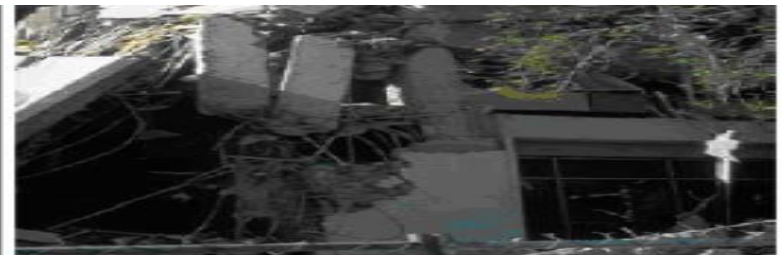


- ۱ چکیده
- ۲ کلیاتی در مورد مقاوم سازی
- ۳ مروری بر کار هایی که در زمینه مقاوم سازی انجام گرفته
- ۴ مقاوم سازی ستون ها
- ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات

□ 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 بخصوص در مناطق با لرزه خیزی زیاد به وجود 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 خاموت های باز با خم ۹۰ درجه، کیفیت اجرای نامطلوب اعضای باربر، ازدحام آرماتور در محل اتصالات، عدم تأمین پوشش کافی، فقدان محصور شدگی در ناحیه مفصل خمشی و... در پیکر بندی و جزئیات سازه های طراحی شده قبل از سال ۱۹۷۰ به وضوح دیده می شد تا اینکه در دهه ۹۰ میلادی اداره فدرال مدیریت شرایط اضطراری FEMA بر اثر تحقیقات انجام شده اقدام به ارزیابی لرزه ای و روش های تقویت و بازسازی سازه های موجود نمود و نتایج این تحقیقات را در قالب آیین نامه هایی ارائه داده است.



Column failures



Joint failures

مقدمه:

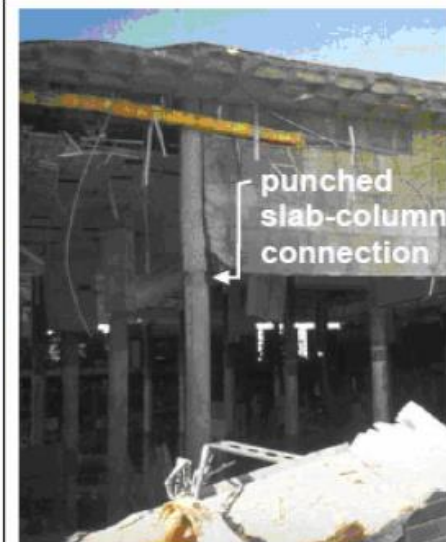
بسیاری از سازه های بتن آرمه به دلایل ۱ - خطاهای محاسباتی ۲ - اشتباه در ساخت و ضعف های اجرایی و عدم برآورده شدن نیازهای طراحی در حین اجرا ۳ - ضعف آیین نامه های قدیمی و تغییر در آیین نامه های زلزله یا طراحی ساختمانها ۴ - تغییر کاربری و عملکرد ۵ - تغییر بارهای بهره برداری ۶ - خوردگی و زنگ زدن آرماتورها 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].



Column failures



Joint failures



Slab-column
connection failure
- Northridge earthquake

مقدمه:

علت شکست 6 سازه از 7 سازه پل که در سال ۱۹۹۴ در زمین لرزه نورتریج اتفاق افتاد مرتبط با شکست برشی ستون ها گزارش شده است [۲۱]. ستون های پل ها قبل از زلزله سان فرناندو سال ۱۹۷۱ طوری طراحی شده بود که آرماتور برشی (خاموتهای) بسیار کمی در بر داشت که اغلب شامل سه عدد میلگرد به قطر ۹٫۵ میلیمتر یا ۴ میلگرد به قطر ۱۲٫۷ میلیمتر به فواصل ۳۰۵ میلیمتر مرکز به مرکز را بدون توجه به ابعاد مقطع یا نیروی برشی شامل می شد.

قبل از UBC سال ۱۹۷۶ اعضای باربر سازه ای تنها بر اساس نیرو و کنترل مقاومت طراحی می شدند تا اینکه در این آیین نامه به مفاهیمی چون شکل پذیری توجه شد و در ضوابط جدید FEMA^۱ به مفاهیمی چون عملکرد و توجه به طراحی سازه بر اساس عملکرد مطلوب با توجه به سطح خطر انتخابی شده است .

پیوستگی بین بتن و میلگردهای ستون ها بوسیله خم ۹۰ درجه در هر انتها بدون توجه به گیرائی کامل و خرد شدگی بتن در قسمت پوشش بتنی در نظر گرفتن شده اند . این تجربه به ایجاد ستون های برشی ناقص تحت نیرو های جانبی که توسط زمین لرزه های قوی ایجاد گردیده بود منجر شد . لذا، طراحی جاری ستون های مشابه به طوری نسبی نسبت به طراحی های قبل از سال ۱۹۷۱ ، ۸ برابر فولاد آرماتور برشی نیاز داشت [۲۲]



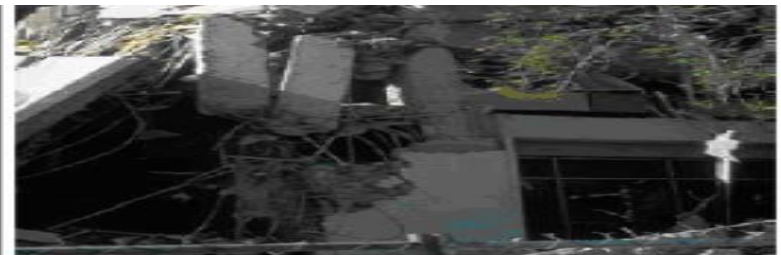
معیارهای مقاوم سازی لرزه‌ای

به طور کلی در باز سازی و مقاوم سازی سازه ها بایستی به پارامتر های زیر توجه داشت :

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



Column failures



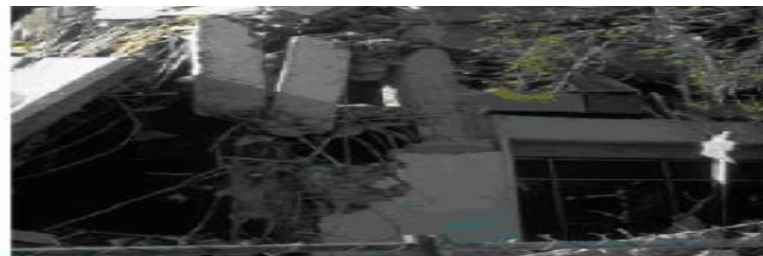
Joint failures

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



Column failures



Joint failures

کلیاتی در مورد مقاوم سازی

گامهای کلی در فرآیند بهسازی و مقاوم سازی

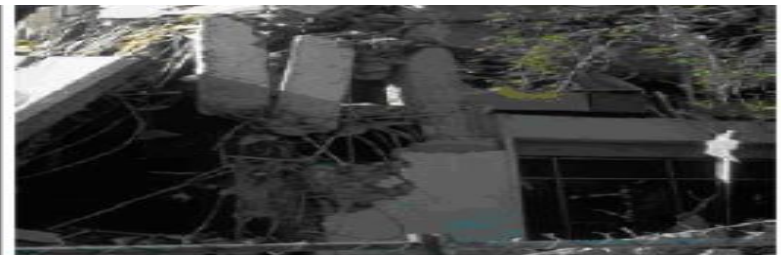
۱. مبانی بهسازی و مقاوم سازی و تعیین سطوح عملکرد

۲. انتخاب روش تحلیل

۳. انتخاب روش مقاوم سازی



Column failures



Joint failures

کلیاتی در مورد مقاوم سازی

مبانی بهسازی و مقاوم سازی و تعیین سطوح عملکرد

۱ تعیین مشخصات ساختمان

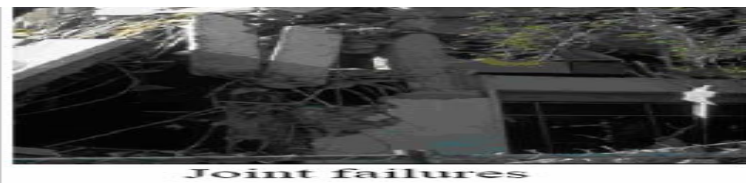
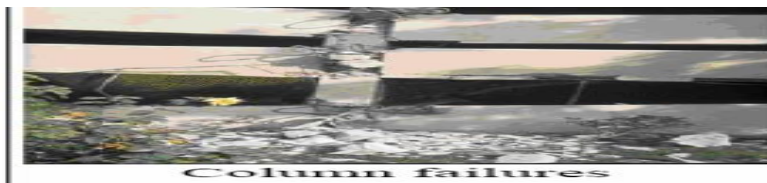
پیکربندی سازه از نظر معماری و از نظر سازه ای بررسی شود و خواص مهندسی مصالح به کار رفته و نحوه ی استقرار اعضای سازه ای و اتصال آنها به یکدیگر ارزیابی شود

۲ تعیین مشخصات ساختگاه

وضعیت ساختگاه از نظر شرایط زیر سطحی و سطحی چون نوع خاک و طبقه بندی لایه ی خاک و وضعیت شالوده و سرعت امواج طولی و برشی و ... در آنها از طریق بررسی های میدانی و آزمایش های لازم مشخص گردد، وجود مخاطرت ژئوتکنیکی ساختگاهی می تواند برای ساختمان به هنگام وقوع زلزله بسیار آسیب پذیر گردد

۳ بررسی ساختمانهای مجاور

احتمال برخورد سازه های مجاور با سازه هدف در هنگام وقوع زلزله بررسی شود . با بررسی احتمال برخورد دو ساختمان با یکدیگر امکان آسیب رسیدن به ساختمان ها بایستی بررسی گردد



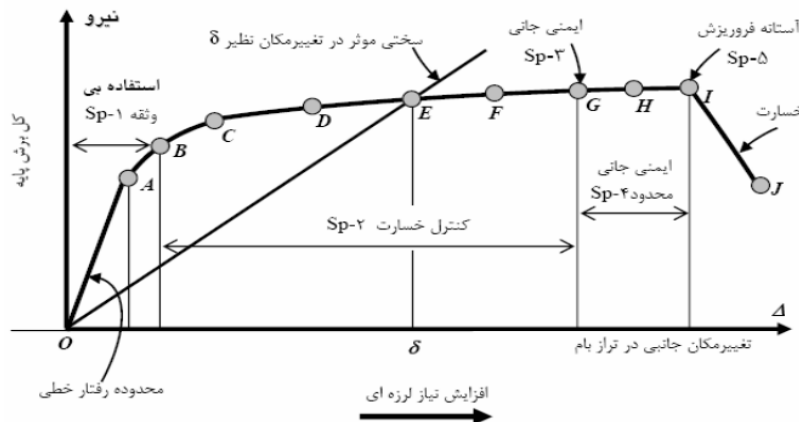
کلیاتی در مورد مقاوم سازی

تعیین سطح عملکرد مورد انتظار

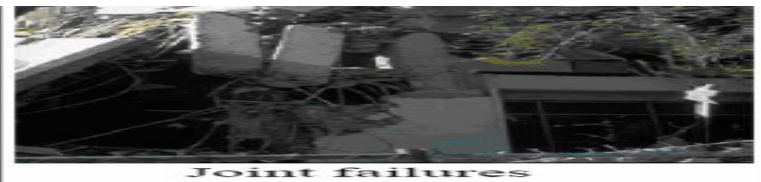
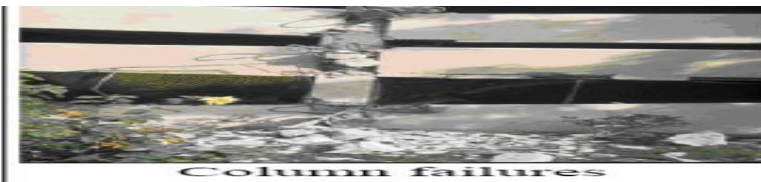
سطوح عملکرد بر اساس سطح آسیب و سطح خطر لرزه ای (دو جزء اصلی آن) انتخاب می گردد و برای عملکرد هر ساختمان هنگام زلزله باید سطح خطر را دانست و متناسب با آن آسیب انتظار داشت، بنابراین سطح هر آسیب باید متناظر با سطح خطر باشد و عملکرد لرزه ای عبارت است از تعیین حداقل خسارت مجاز (سطح عملکرد) برای پذیرش خطر لرزه ای معین (حرکت زمین ناشی از زلزله)

سطوح عملکرد اصلی عبارتند از:

- قابلیت استفاده بی وقفه
- ایمنی جانی
- آستانه فرو ریزش
- لحاظ نشده (تعیین نشده)



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



کلیاتی در مورد مقاوم سازی

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

بر مبنای سطحی از لرزه‌های زمین است که احتمال وقوع زلزله‌ای بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۱۰ درصد می‌باشد و دوره بازگشت آن ۴۷۵ سال می‌باشد و مترادف با زلزله‌ی استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد.

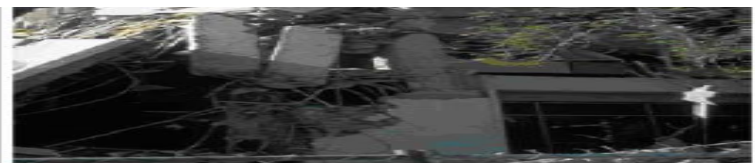
سطح خطر ۲- مترادف با بیشینه زلزله محتمل MPE (Maximum Probable Earthquake)

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

سطح خطر انتخابی معرف زلزله‌ای با هر احتمال رویداد در ۵۰ سال می‌باشد



Column failures



Joint failures

سطوح مقاوم سازی به ۴ دسته تقسیم می شوند

۱- بهسازی و مقاوم سازی محدود:

مقاوم سازی تحت اثر زلزله ای خفیف تر از سطح خطر ۱ باشد به طوری که ایمنی جانی ساکنین تامین

۲- بهسازی و مقاوم سازی مینا:

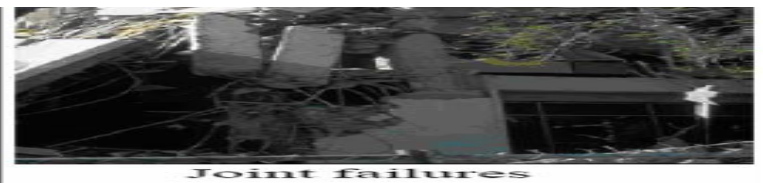
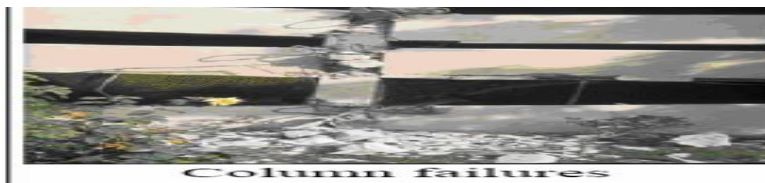
مقاوم سازی تحت اثر زلزله ی سطح خطر ۱ است و ایمنی جانی ساکنین تامین گردد

۳- بهسازی و مقاوم سازی مطلوب:

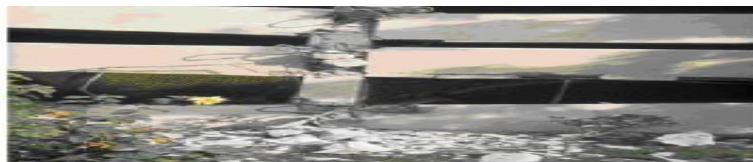
هدف مقاوم سازی مطلوب تامین شود ، ثانيا ساختمان مقاوم شده تحت اثر زلزله فرو نریزد

۴- بهسازی و مقاوم سازی ویژه:

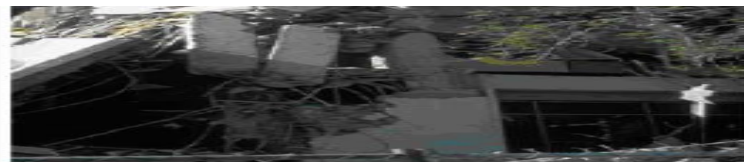
در این سطح سازه می بایست عملکرد بهتری نسبت به سطح بهسازی مطلوب داشته باشد.



روش استاتیکی خطی
روش دینامیکی خطی
روش استاتیکی غیر خطی
روش دینامیکی غیر خطی



Column failures



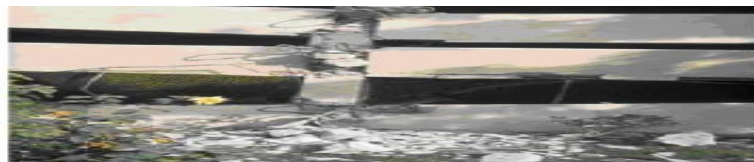
Joint failures

کلیاتی در مورد مقاوم سازی

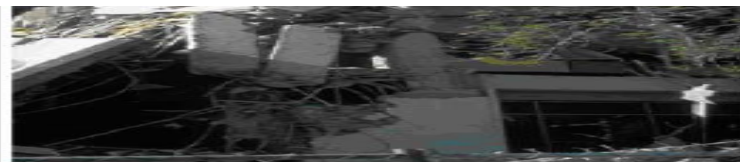
انتخاب روش مقاوم سازی

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

۱. ارزش سازه در مقابل اهمیت سازه
۲. نیروی انسانی موجود
۳. طول مدت اجرا یا زمان
۴. تکمیل و تقویت بر اساس عملکرد مورد نظر کارفرما
۵. توجه به تناسب زیبا شناسی (معماری) و نقش سازه ای و تکمیل سازه موجود
۶. تداخل برگشت پذیری
۷. کنترل کیفی سطح عملکرد
۸. اهمیت تاریخی و سیاسی سازه
۹. سازگاری روش مقاوم سازی با سیستم سازه ای موجود
۱۰. نا منظمی در سختی ، مقاومت و شکل پذیری
۱۱. کنترل آسیب وارده به اجزای غیر سازه ای
۱۲. ظرفیت مناسب باربری سیستم فونداسیون
۱۳. مواد ترمیمی و روش موجود و ممکن مقاوم سازی



Column failures

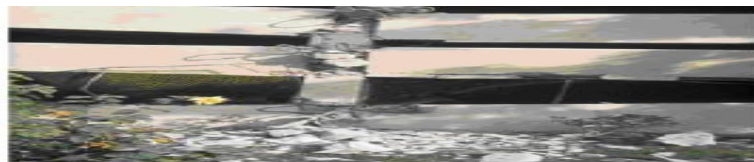


Joint failures

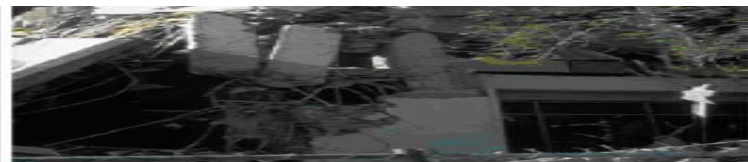
کلیاتی در مورد مقاوم سازی

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



Column failures



Joint failures

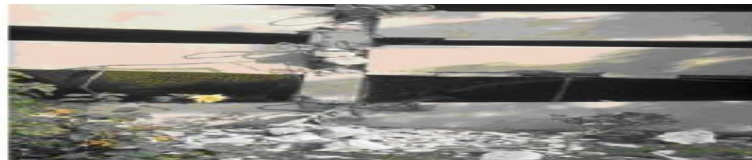


کلیاتی در مورد مقاوم سازی

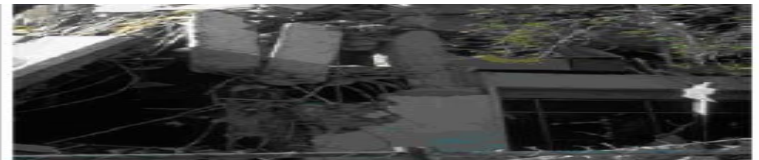
معیارهای حاکم بر مقاوم سازی

معیارهای عمومی

۱. قیمت اولیه ساختمان و قیمت طرح ترمیم یا تقویت
۲. قابلیت دوام اعضای جدید و قدیم و نیز سازگاری فیزیکی ، شیمیائی و مکانیکی مصالح جدید و قدیم
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 ساختمان های باستانی



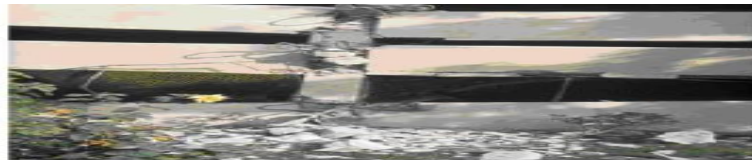
Column failures



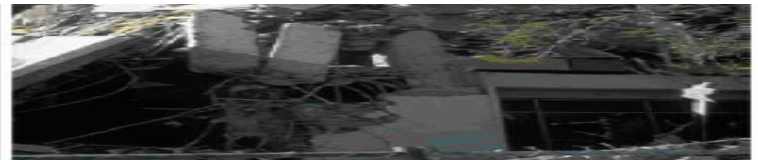
Joint failures

معیارهای فنی

۱. برای ساختمان های 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 نامه ای 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 و یک حداقل افزایش سختی را بوجود آورد



Column failures



Joint failures



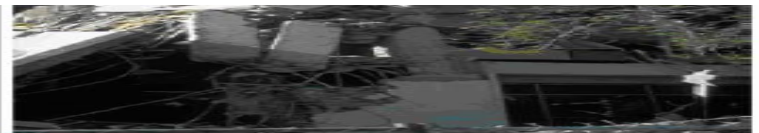
مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:

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

۱. استفاده از بادبندهای هم محور یا برون محور فولادی
۲. استفاده از کابل های پس تنیده و استفاده از باز توزیع نیروها
۳. استفاده از دیوار برشی
۴. استفاده از میانقاب با مصالح بنایی
۵. استفاده از جداگرهای پایه و پی های لغزشی
۶. استفاده از پوشش و غلاف فولادی
۷. استفاده از ورق های پوششی با غلاف FRP
۸. استفاده از لایه پوشش بتنی با ملات مسلح (زره پوش بتنی)
۹. استفاده از میراگرهای اصطکاکی، هیستریزیس و ویسکوالاستیک
۱۰. استفاده از روش های ترکیبی فوق
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 پریرود طبیعی ساختمان
۱۴. سبک سازی و کاهش وزن ساختمان
۱۵. جابه جایی کامل اعضای به شدت آسیب دیده یا اعضای نا مناسب



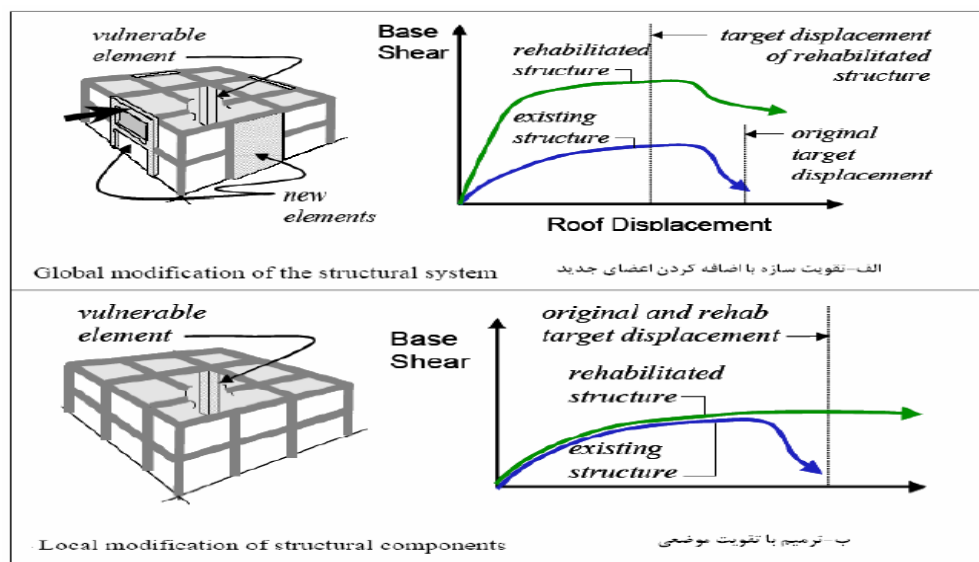
Column failures



Joint failures

مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:

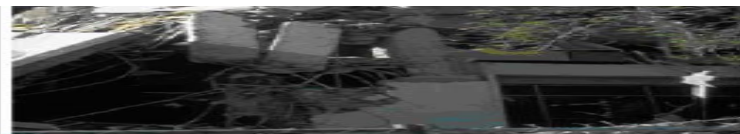
با توجه به شکل می بینیم که یا کل سازه با اضافه کردن اعضای جدید چون دیوار برشی فولادی یا بتنی ، مهاربندی فولادی ، دیوارهای پرکننده ، کابل های پس تنیده و یا جداگر پایه ، میراگرها و... تقویت شده تقویت اعضای موجود چون استفاده از زره پوش بتنی ، ژاکت FRP و فولادی و ... برای تقویت موضعی تیرها و ستونهای بتن آرمه آسیب پذیر بوده و در آنها نسبت تنش موجود یا تقاضا به ظرفیت 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]



Column failures



Joint failures

مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:

تقویت سازه با اضافه کردن اعضای جدید

اضافه کردن دیوار برشی بتنی

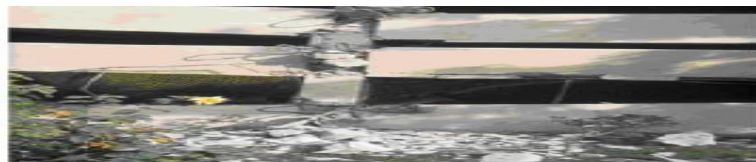
اضافه کردن دیوار برشی فولادی

اضافه کردن پانل های فلزی ، دیوارهای پرکننده با مصالح بنایی ، پانل های بتنی پیش ساخته ،

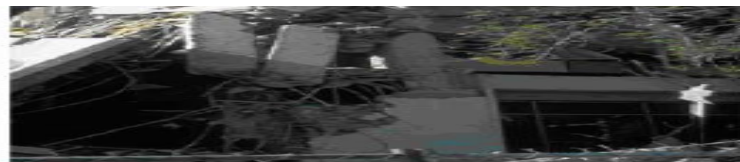
اضافه کردن پانلهای برشی فولادی با نقطه تسلیم پایین برای

استفاده از بادبندهای فولادی

استفاده از جداگر های لرزه ای

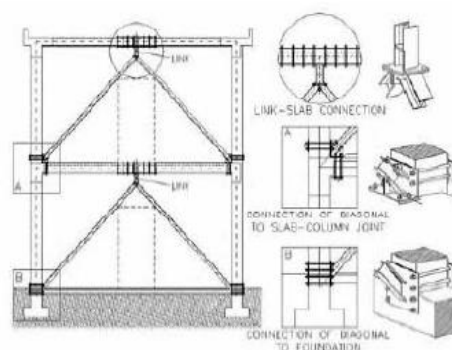


Column failures

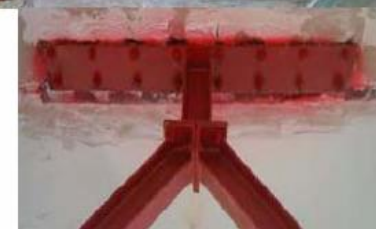


Joint failures

مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:



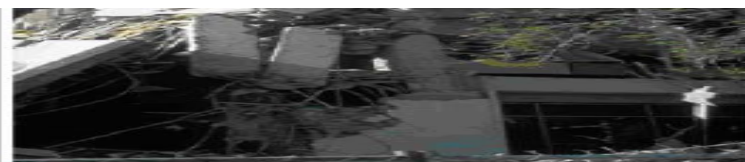
- مدل های قاب بتن آرمه تقویت شده با بادبند ضربدری و بادبند زانویی



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

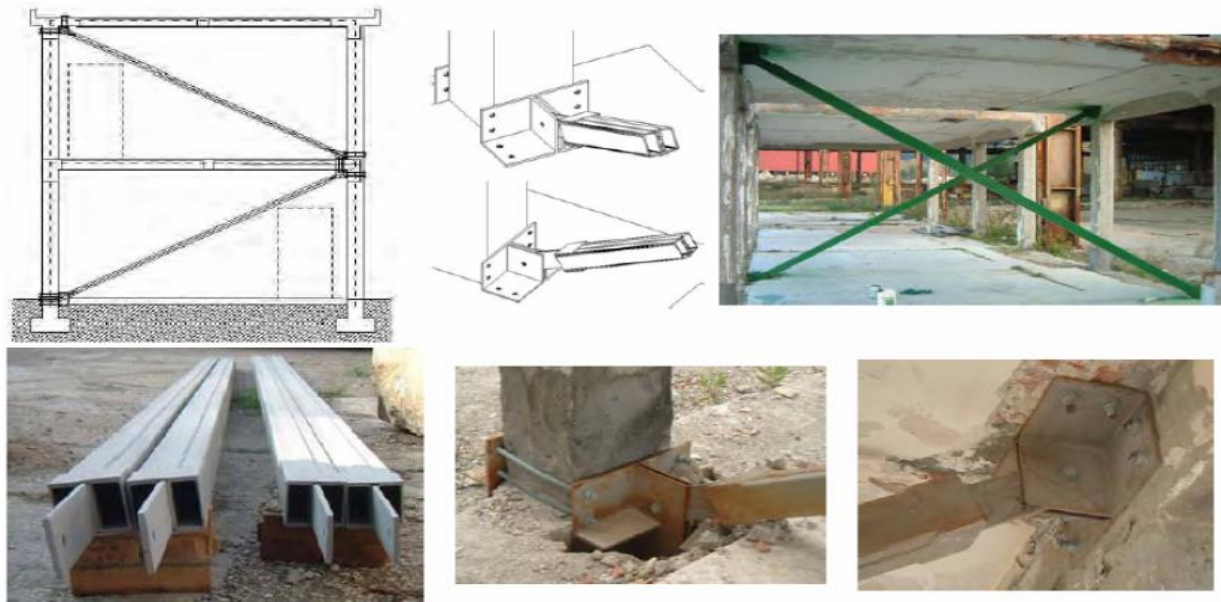


Column failures

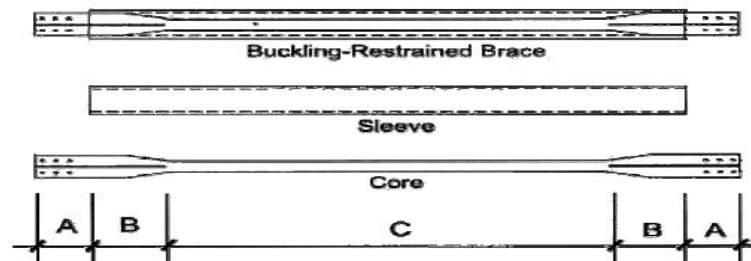


Joint failures

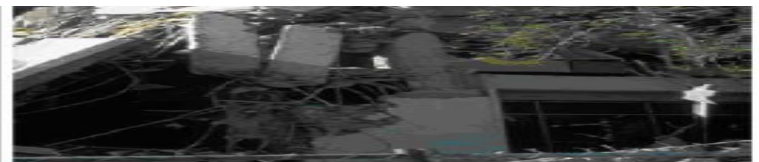
مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:



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

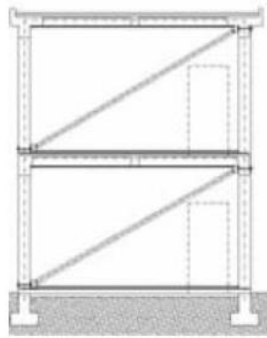


Column failures

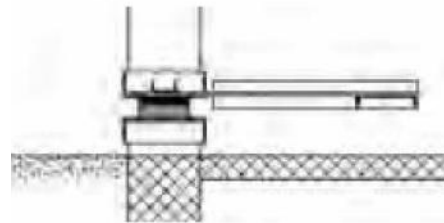


Joint failures

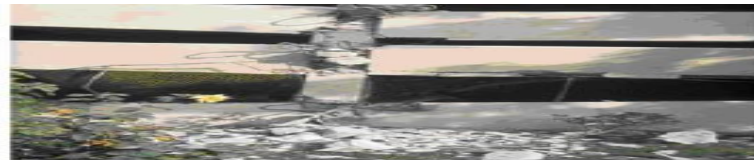
مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:



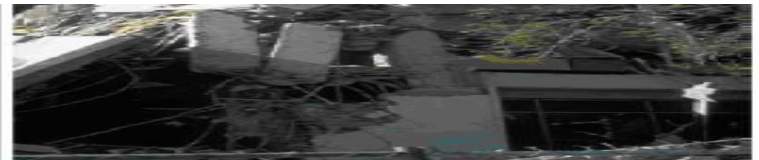
شکل ۱۲- کاربرد آلیاژ حافظه دار شکلی (SMA) Shape Memory Alloy [۱۷]



شکل ۱۳- جداگر لرزه ای یا ایزولاتور

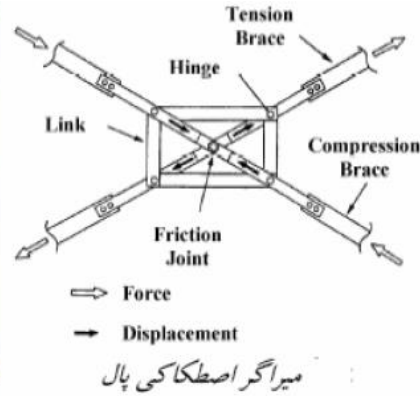


Column failures

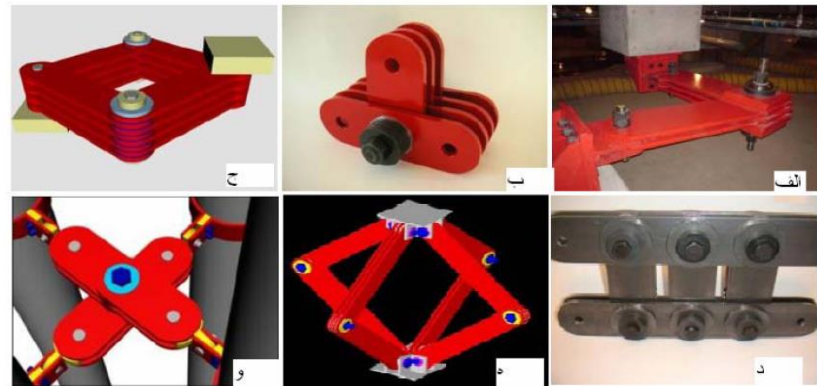


Joint failures

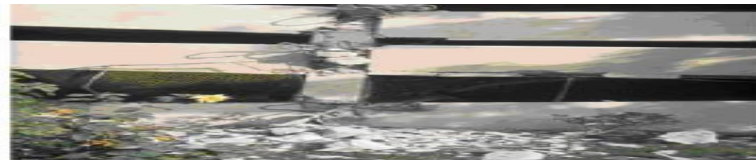
مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:



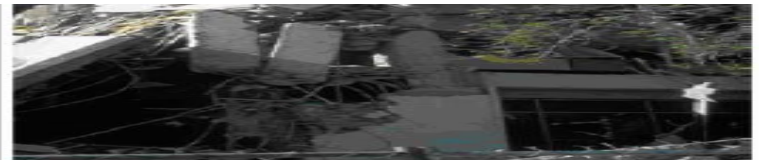
شکل ۱۴- میراگر اصطکاکی پال



شکل ۱۵- انواع میراگر اصطکاکی



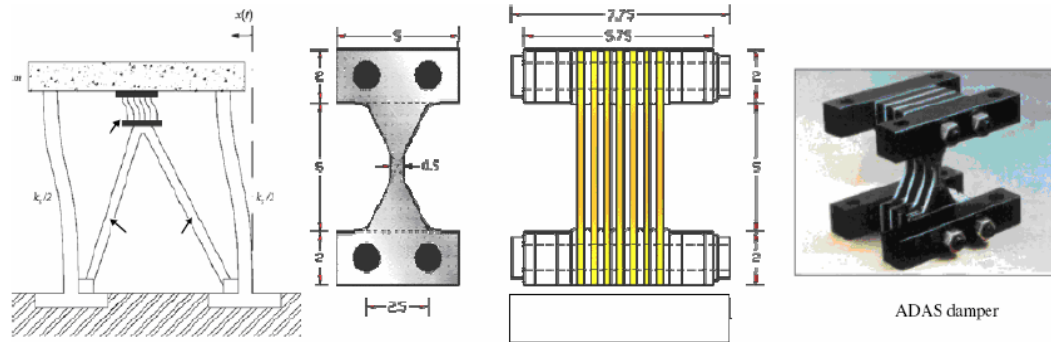
Column failures



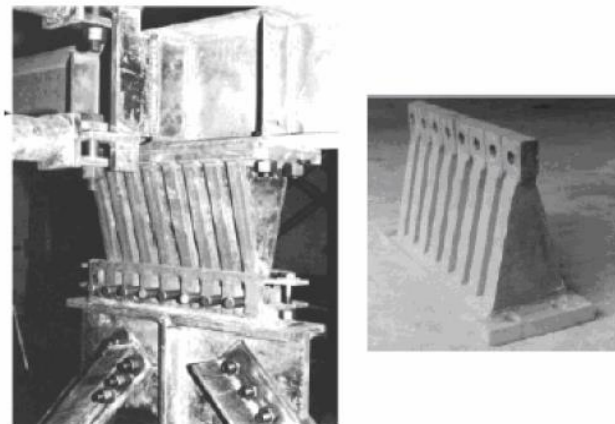
Joint failures



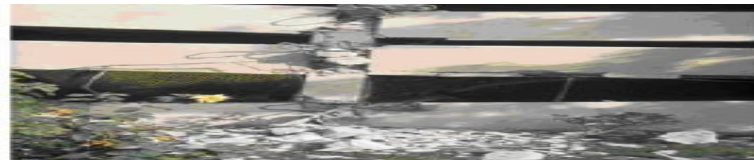
مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:



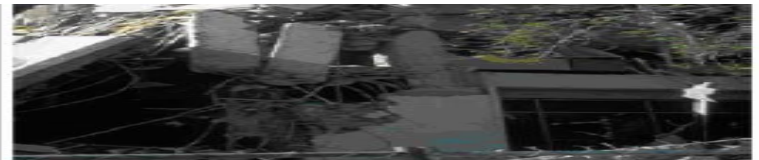
شکل ۲۰- میراگر ADAS (Added Damping and Stiffness)



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



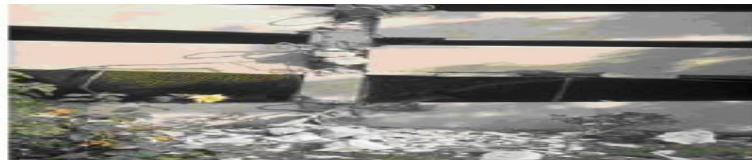
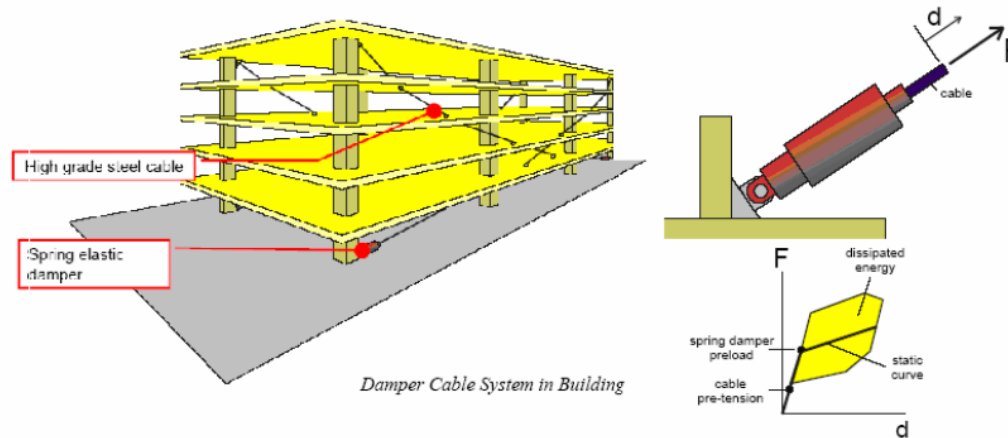
Column failures



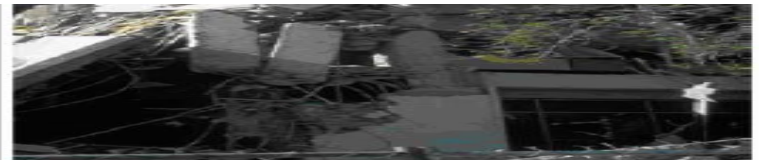
Joint failures

مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:

استفاده از سیستم ترکیبی کابلهای پیش تنیده و میراگر



Column failures

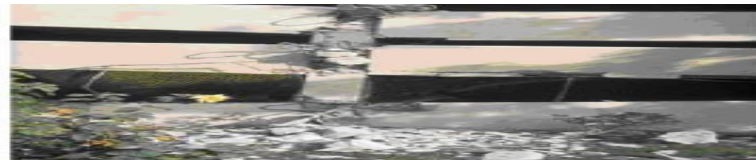


Joint failures

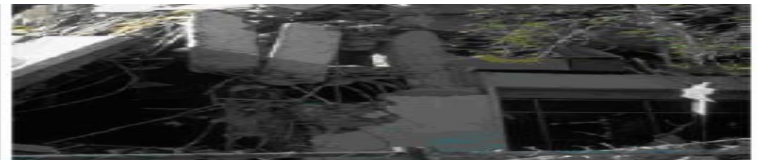
مروری بر کارهایی که در زمینه مقاوم سازی سازه های بتنی انجام گرفته:

روش های ترمیم با تقویت موضعی

ناحیه بحرانی در قاب های بتن آرمه ، اتصال تیر به ستون می باشد که گسیختگی برشی در پانل اتصال به دلیل کمبود آرماتور عرضی رخ می دهد .
زره پوش بتنی یا فولادی ، استفاده از ژاکت FRP ، تاندون های پیش تنیده و ... از جمله روش های ترمیم و تقویت موضعی اعضای بتن آرمه می باشد.



Column failures

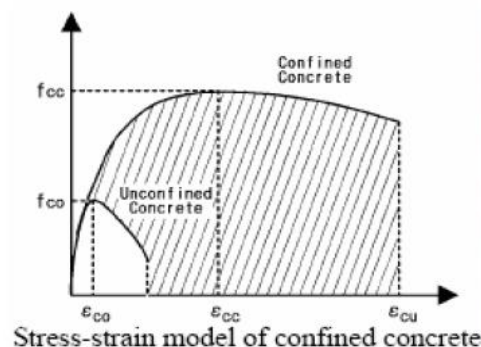


Joint failures

مقاوم سازی ستون ها

ژاکت کردن ستون :

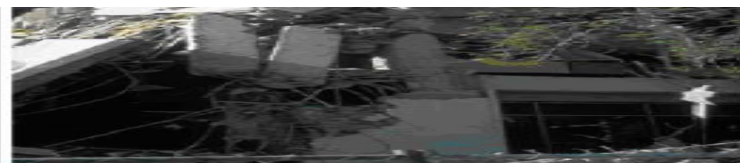
شکست برشی ستون بتن آرمه در تغییر شکل های محدود توام با افت مقاومت بار جانبی به خاطر این است که مقاومت برشی ستون نسبت به مقاومت خمشی آن در بار جانبی سیکلی و متناوب تمایل بیشتری به کاهش سریع تر دارد و ژاکت ستون هم در افزایش مقاومت برشی و هم مقاومت خمشی موثر است و هم منجر به افزایش محصور شدگی و تاثیرات آن بر افزایش کرنش نهایی بتن می گردد.



قفس فولادی از مقاطع نبشی به صورت طولی و تسمه های فولادی عرضی ساخته می شود . در عمل تسمه های عرضی به صورت جانبی تنیده می شوند و برای این کار از آچارهای مخصوص یا پیش گرمایش عضو استفاده می شود



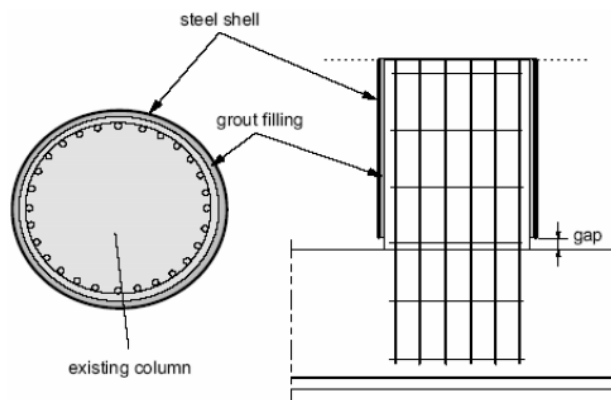
Column failures



Joint failures

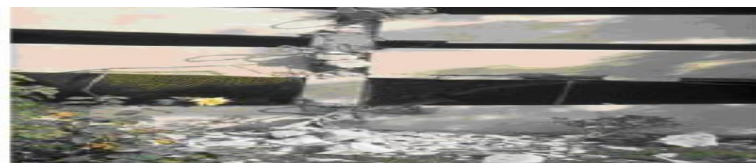
مقاوم سازی ستون ها

فضای خالی بین قفس فولادی و بتن موجود معمولاً با ملات های مقاوم ضد انقباض پر می شود ، بایستی توجه داشت که ملات مذکور ماسه سیمان معمولی نباشد چون بر اثر انقباض ملات ، لغزش زود هنگام بین سطح ملات و بتن رخ می دهد که افزایش باربری ناشی از محصور سازی را تحت تاثیر قرار می دهد و در جایی که محافظت فولاد در برابر خوردگی و آتش مطرح است از بتن پاشی و شاتکریت استفاده می شود [۴] .

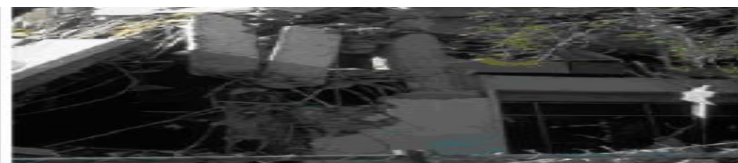


Steel jacketing (encasing) of a circular section column

با دقت در شکل فوق شکاف موجود بین لوله شالوده در حدود ۵ سانتی متر بوده که برای جلوگیری از امکان باربری محوری ژاکت فولاد در تغییر شکل های جانبی بزرگ و جلوگیری از کمانش موضعی آن است [۴] .



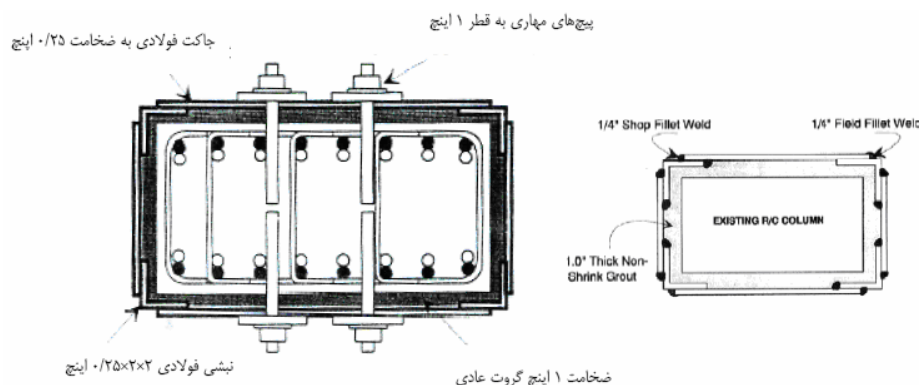
Column failures



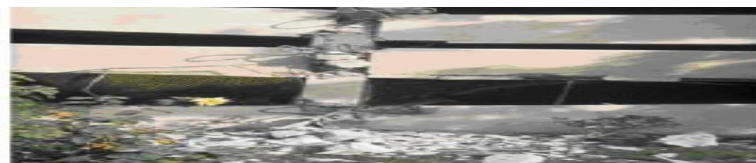
Joint failures

مقاوم سازی ستون ها

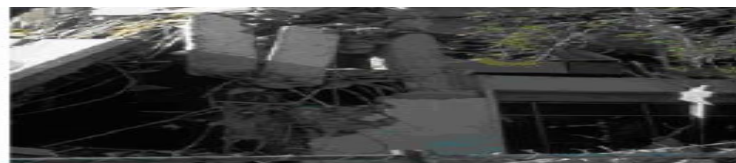
محصور سازی ستون با ورق های نازک فولادی نیز انجام می شود و این ورق ها با فاصله کمی از سطح ستون قرار می گیرد و فضای بین آنها با ملات ضد انقباض پر می شود. در هر دو روش قفس و ورق فولادی افزایش سطح مقطع ناچیز بوده و نسبت به روش پوشش بتنی که پر کاربرد ترین روش در دنیا است و در کاربری اختلال کمتری ایجاد می کند] ۸.



بایستی توجه داشت ژاکت های فولادی با لوله ها و یا قوطی های فولادی پر شده با بتن (CONCRETE FILLED TUBE) تفاوت دارند اولاً که CFT را با عملکرد و اندر کنش توام بتن و فولاد طراحی می کنند ولی در ژاکت های فولادی بین ورق فولادی و بین درزی است که با ماده پر کننده ضد افت و انقباض مثل گروت سیمان خالص پر می کنند و به صورت غیر فعال بعداً از خاصیت محصور شدگی بتن استفاده می شود در صورتی که در CFT به محض بارگذاری، بتن وارد فاز محصور شدگی می گردد.



Column failures

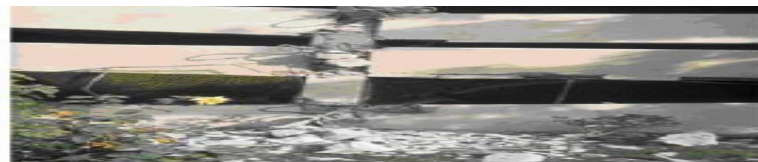
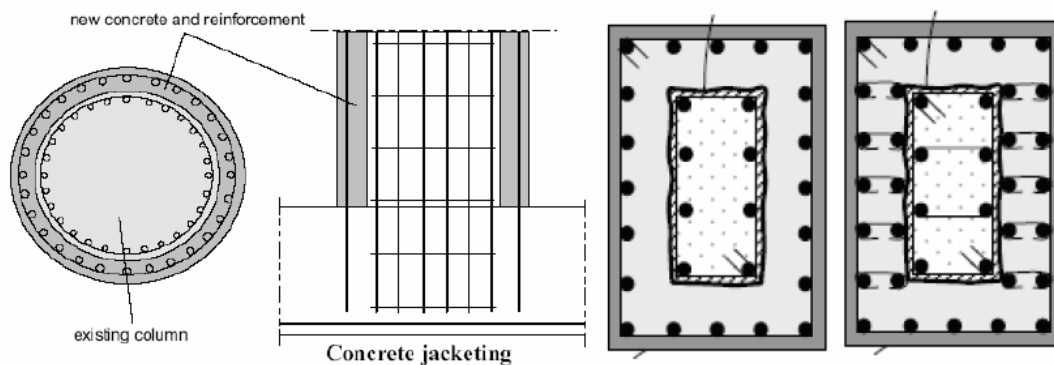


Joint failures

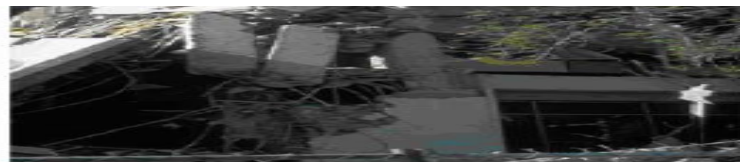
مقاوم سازی ستون ها

استفاده از سیم های فولادی در تقویت فوری آن یا تسمه های پس کشیده فولاد به همراه فولاد عرضی نیز از جمله روش های تقویت ستون می باشد .

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



Column failures

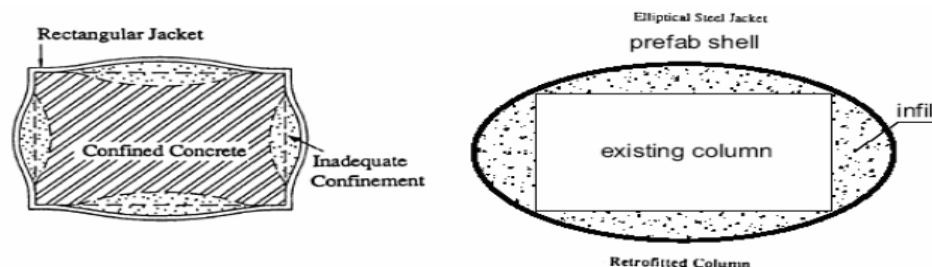


Joint failures

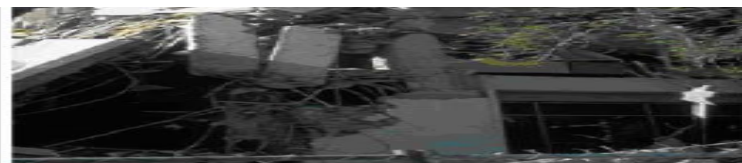
مقاوم سازی ستون ها

سیستم های یقه های فولادی علاوه بر اینکه محصور شدگی را برای ستون تامین می کند ، نسبت به تنگ های بسته متداول مزایای بیشتری دارند از جمله : ۱ . محصور شدگی و احاطه کردن بتن پوشش و افزایش سطح موثر و هسته مرکزی بتن در مقاومت نهایی ، ۲ . ایجاد کردن سختی خمشی بزرگتر و تامین مکانیزم محصور شدگی مناسب در مقایسه با تنگ بسته ، ۳ . داشتن عرض کافی در تماس مستقیم با ستون بتنی که امکان افزایش فاصله بین یقه های فولادی را افزایش می دهد و ۴ . در نهایت با افزایش سطح مقطع عرضی نسبت به تنگ های بسته مقاومت برشی ستون بتن آرمه را افزایش می دهد .

با توجه به تحقیقات انجام شده ، تاثیر محصور شدگی در ستون های دایره ای و بیضوی بیشتر از ستون های مربعی یا مستطیلی معادل می باشد ، از اینرو برای ژاکت کردن ستون های مربع مستطیل برای افزایش تاثیر محصور شدگی توصیه شده است از ژاکت دایره ای یا بیضوی استفاده شود و بین غلاف و ستون بتن آرمه با یک ماده پر کننده ضد انقباض پر شود [۴] .



Column failures

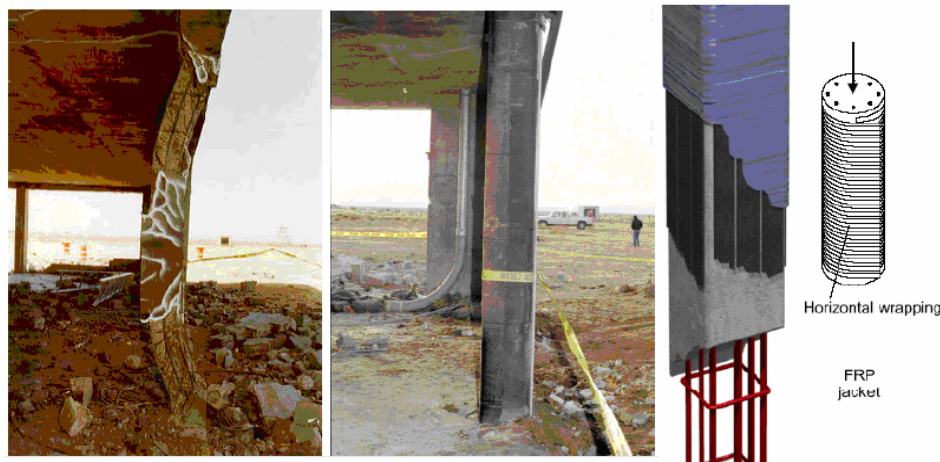


Joint failures

مقاوم سازی ستون ها

ژاکت های FRP

ژاکت های FRP دارای مزیت کاربرد و نصب سریع در زمان کوتاه ، وزن سبک با مقاومت مناسب در برابر خوردگی

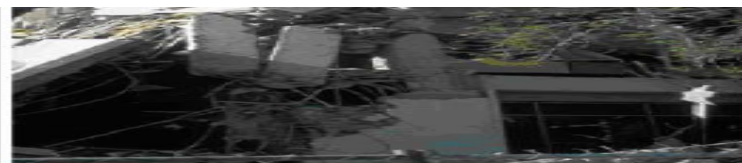


شکل ۲۹- ستون تقویت شده با کامپوزیت FRP و آسیب دیده

اخیراً استفاده از ورق های نازک FRP که قابلیت انعطاف بسیار داشته و مانند پارچه قابل پیچیدن به دور عضو نیز می باشد. یکی از نقاط ضعف ورق های FRP ، همانند ورق های فولادی ، ناهماهنگی رفتاری بین ورق ها و بتن ، بخصوص تفاوت فاحشی در مقاومت کششی و سختی دو عنصر می باشد که می تواند به شکست های ترد در عضو بتن آرمه بیانجامد



Column failures



Joint failures

مقاوم سازی ستون ها

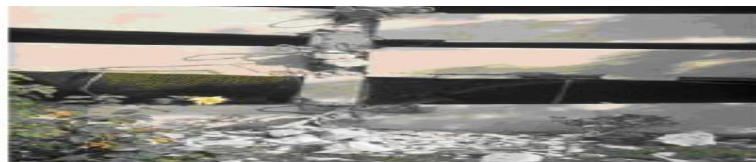
ورق های FRP برای موارد زیر کاربرد بیشتری دارند

الف) افزایش ظرفیت برشی اعضای بتن آرمه شامل تیر و ستون و دیوار برشی

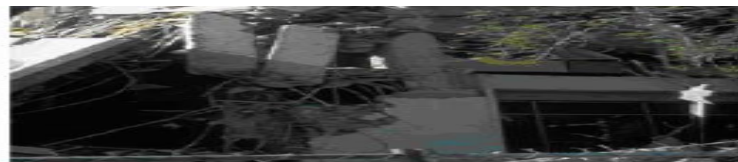
ب) افزایش شکل پذیری در مفاصل پلاستیک

ج) افزایش مقاومت خمشی اعضا

د) افزایش مقاومت فشاری ستون ها بواسطه محصور شدن



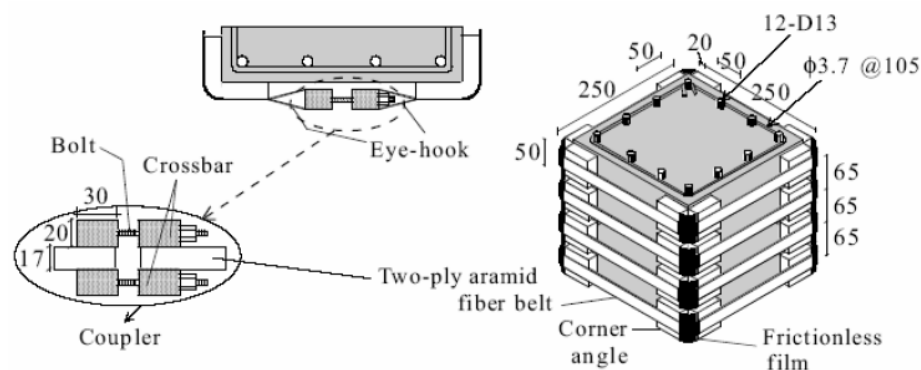
Column failures



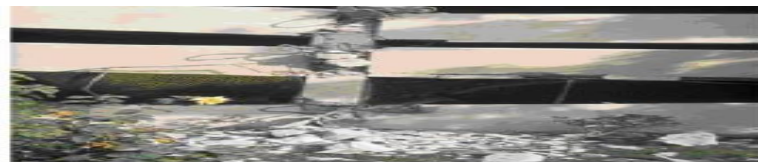
Joint failures

مقاوم سازی ستون ها

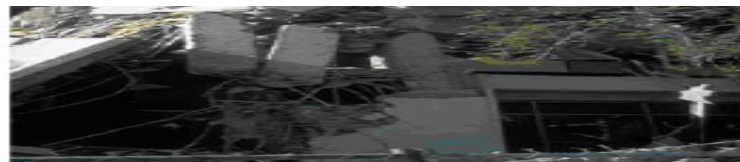
روشی که اخیراً برای افزایش مقاومت برشی و لرزه ای ستون ها بکار برده می شود ، افزایش فشار جانبی فعال و غیر فعال برای غلبه بر انبساط و اتساع جانبی بتن تحت فشار به دلیل پدیده پواسون و نیرو در محل گیره ها برای افزایش چسبندگی بتن و فولاد اعمال می شود. علاوه بر تسمه های فولادی امروزه از کمر بند کامپوزیتی فیبر آرامیدی که پیش تنیده یا پس تنیده می باشند برای افزایش تاثیر محصور شدگی استفاده می شود



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

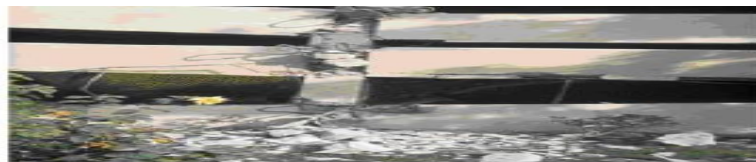


Column failures

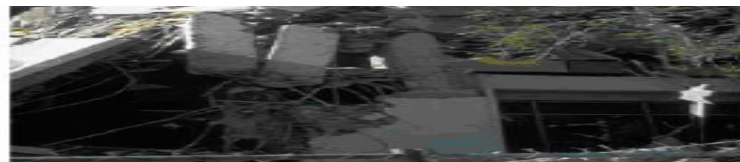


Joint failures

در تحقیقات اخیر به جای استفاده از کامپوزیت های الیافی FRP ورق های فولادی و انواع دیگر ژاکت های ستون چون قفس فولادی ، تسمه فولادی و زره پوش بتنی می توان از شبکه های سیمی فولادی برای افزایش شکل پذیری و خصوصاً شکست ترد برشی در ستون های کوتاه تحت بارگذاری سیکلی استفاده کرد، مزیت این روش نسبت به پوشش ضخیم بتن مسلح با شبکه میلگرد و تنگ بسته که تاثیر مثبت روی سختی و مقاومت برشی دارد و تاثیر منفی روی شکل پذیری ، این است که در این روش با مصرف حجمی معادل فولاد و پوشش تقویتی نازک با ملات مسلح (فرو سیمان) می توان به شکل پذیری بالاتری رسید. [۱۶]



Column failures

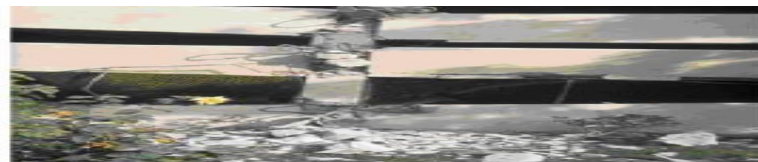
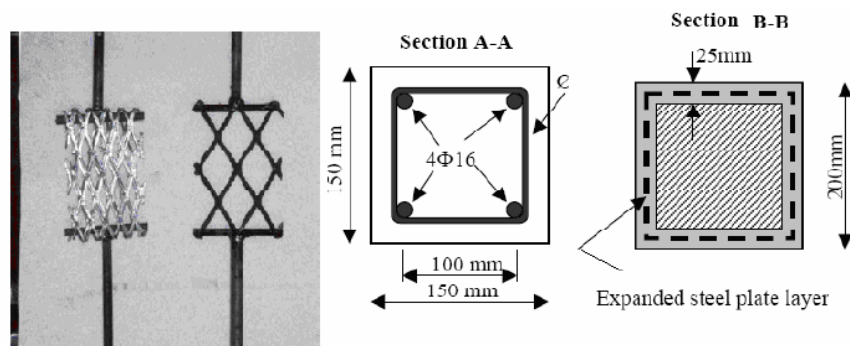


Joint failures

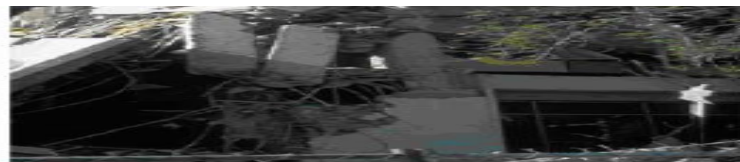


مقاوم سازی ستون ها

با توجه به شکل می بینیم که ورق های گسترده فولادی لوزی شکل بوده و شبیه به الیاف کامپوزیتی FRP رفتار ارتروپیک داشته و در امتداد قطر بزرگتر لوزی سختی و مقاومت بالایی دارد و جهت قرار گیری آن با محور عضو حائز اهمیت می باشد . چسبندگی و پیوستگی ورق گسترده با بتن و ملات بسیار خوب بوده و نوع نورد و مسطح شده آن ، از این نظر که نیروهای عمود بر صفحه ، نمی توانند منجر به کنده شدن پوشش بتن روی ورق شود ، عملکرد بهتری دارد [۱۶] .



Column failures



Joint failures

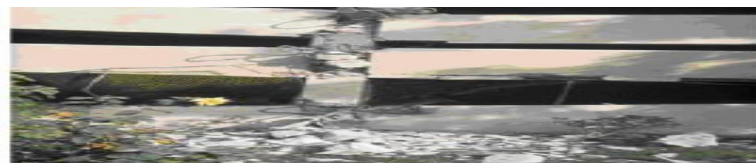
مقاوم سازی ستون ها

سیستم هیبریدی جدید

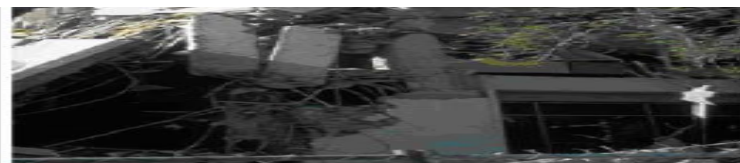
اخیراً "پروفسور J.G.TENG مدل ستون FRP Concrete steel double skin را مطابق شکل ۳۱ ارائه داده است که متشکل از یک لوله فولاد داخلی و یک غلاف خارجی FRP است که فضای بین آن دو با بتن پر شده است. با دقت به عملکرد چنین ستونی میبینیم که این ستون معایب لوله های فولادی چون کمانش تحت بار فشاری را به دلیل احاطه شدن 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 می یابد



شکل ۳۱ - سیستم مرکب FCSDS [۱۳]



Column failures



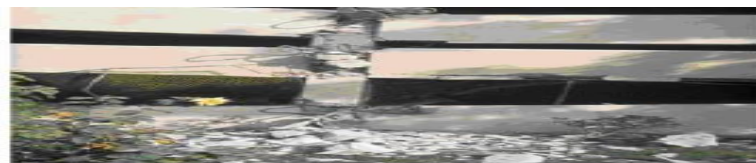
Joint failures



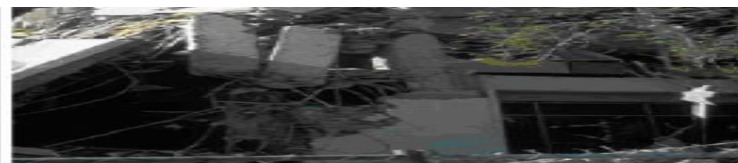
مقاوم سازی ستون ها

ورقه های HPFRCC

در سال های اخیر مطالعاتی در دانشگاه کاردیف انگلستان برای تولید و توسعه یک ماده بتنی ویژه با مقاومت بالا و مسلح به الیاف فولادی ریز (High performance fibre reinforced Cementitious composite) به منظور استفاده در موارد مقاوم سازی محلی اعضای بتن آرمه انجام پذیرفته است [۲۵ و ۲۶] این ماده قابلیت اعمال در ضخامت های مختلف به سطوح اعضای بتنی مورد نظر به صورت یک مخلوط تر را دارا می باشد . همچنین میتوان ماده را به صورت ورق ها و نوار های از پیش تولید شده ی خشک توسط چسب های قوی اپوکسی به سطح عضو چسباند . از مزایای اصلی ماده جدید HPFRCC این است که بر خلاف ورق های فولادی و یا FRP ، مقاومت کششی ، سختی و ضریب انبساط حرارت آن با بتن مورد تقویت سازگار می باشد . این ماده دارای مقاومت کششی و خمشی بالا و قابلیت شکل پذیری بسیار می باشد.



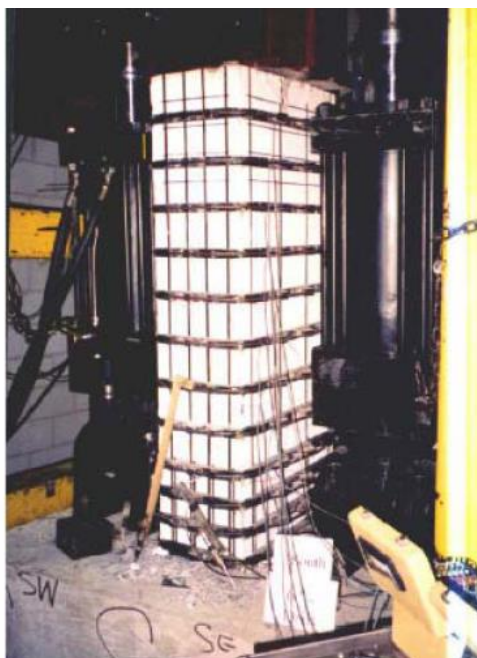
Column failures



Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

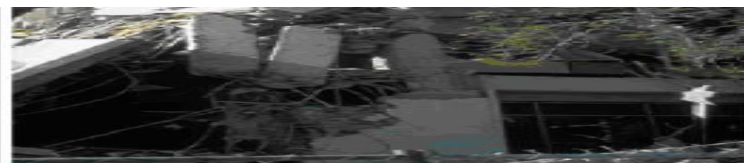
یک روش مقاوم سازی ستون ها با استفاده از سیستم پیش تنیدگی در بدنه خارجی آنها در دانشگاه اتاوا جایی که تعداد زیادی از ستون های دایره و مربعی آزمایش شدند، مورد بررسی قرار گرفت. [28 و 29 و 30] این ستون ها برای بهبود وضعیت برشی بتن و رفع نواقص آرماتور ها و وصله های آرماتور ها بررسی شدند. در مرحله جاری تحقیق که در این مقاله آمده است ستون های مستطیلی برشی معیوب تحت مطالعات لرزشی مورد توجه قرار گرفته است



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



Column failures



Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

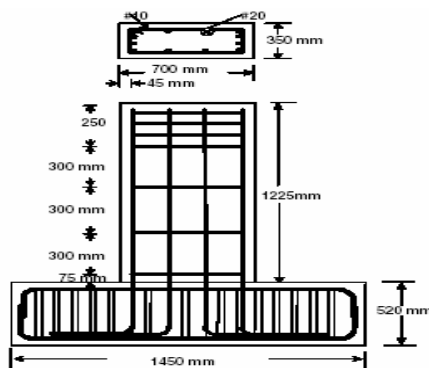
تحقیقات تجربی

ستونهای مورد آزمایش
ستون با ابعاد واقعی و با مقطع مستطیلی به اندازه 350×700 میلیمتر تحت شرایط بارگذاری لرزه ای مشابه ساخته طراحی شدند،

2 ارتفاع متفاوت برای ایجاد برش و خمش بحرانی در ستونها در نظر گرفته شدند
این نمونه ها ارائه گر بخشی از ستون یک پل بین پی و نقطه خمیدگی بود . ستونهای دوتایی به نحوی که یک ستون در هر جفت دارای شرایط ازبیلت یا چون ساخت بود در حالی که ستون دیگر برای مقاومت بهبود یافته لرزشی ایجاد شده بود

دو ستون هم شکل با ارتفاع 1225 میلیمتر که دارای دهانه برشی 150 میلیمتر بعد از نصب تیر اصلی داشت ساخته شده اند ، که بارگذاری توسط تیر فوقانی انجام و دهانه برشی اندازه گیری شده در نقطه ورود بارهای افقی بود، ساخته شده اند

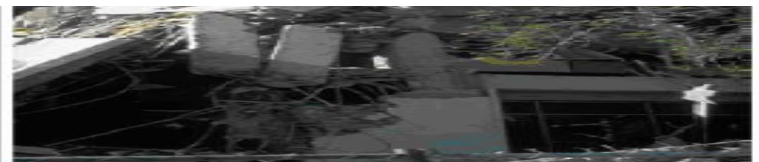
آرماتو ربندی شامل 12 عدد 20 # قطر (۱۹,۵ میلیمتر) آرماتور طولی و 10 # قطر (۱۱,۳ میلی متر) خاموت با قلاب 135 درجه در هر دو سر می شد . فاصله بین خاموتها 300 میلیمتر بود که از 75 میلیمتر بالای ستون آغاز می شد



میلهگردهای بهم بافته شده 7 رشته ای (کابلهای پیش تنیده) برای ستون ها استفاده شد که قطر اسمی آن حدود ۹,۵۳ میلیمتر و مقاومت کششی نهایی 1860 Mpa را داشت



Column failures



Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

روشهای بکار رفته در مقاوم سازی

قوطی فولادی تو خالی به ابعاد ($31.8 \times 31.8 \times 6.35$ میلیمتر) در هر دو سمت با سه دیسک نیمه دوار که بر روی آنها جوشکاری شده بود و تشکیل یک قاب اطراف هر ستون را می داد جاگذاری شد

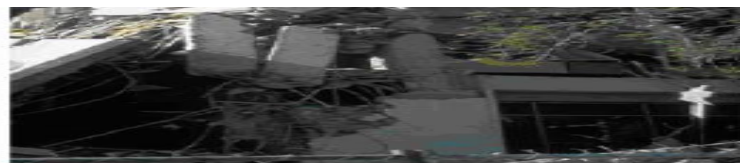
تکیه گاه همچنین یک تکیه گاه مخصوص برای اجرای پیش تنیدگی هر میلگردبهم شده مورد استفاده قرار گرفت مذکور در روی یکی از قوطی های فلزی تو خالی به طوری که جایگزین یکی از دیسک های نیمه دوار باشد در حالیکه باعث انتقال نیروی پیش تنیدگی به میلگردهای بهم بافته شده شود، قرار داده شد

قسمت کوچکی از نبشی آغشته به گریس اطراف هر گوشه از کار برای ممانعت از ایجاد آسیب در زوایای ستون ها و حرکت آزاد تسمه ها در طول پیش تنیدگی تعبیه گردید

میلگردهای بهم بافته شده تا 25 % مقاومت نهایی خود پیش تنیده شده اند که تا حدود 465 Mpa افزایش مقاومت را این سطح از پیش تنیدگی در کنترل ترکهای قطری در ^{نشان داد} آرماتیسات قبلی ستون های مربعی و گرد بسیار مؤثر شناخته شد فشارهای جانبی ایجاد شده توسط پیش تنیدگی به طور معقول و یکپارچه و سطوح ستون ها از طریق نقاط تماس ایجاد شده در فولاد های مقاوم توزیع گردید.

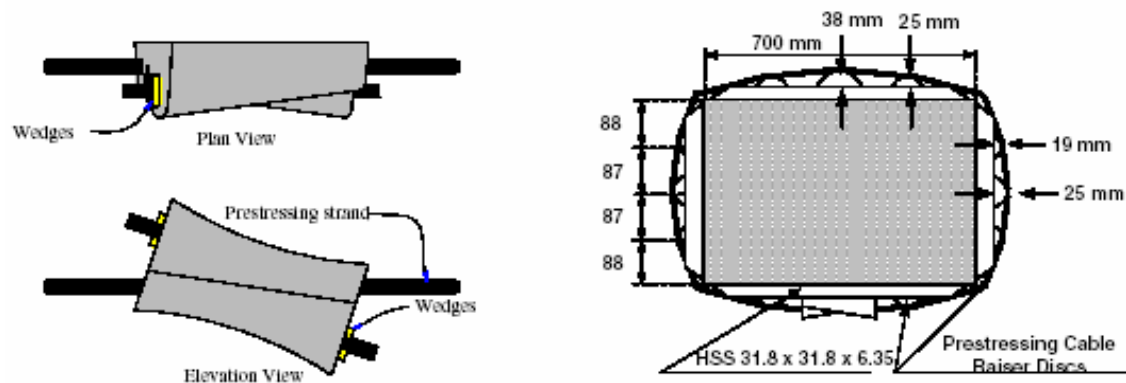


Column failures



Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*



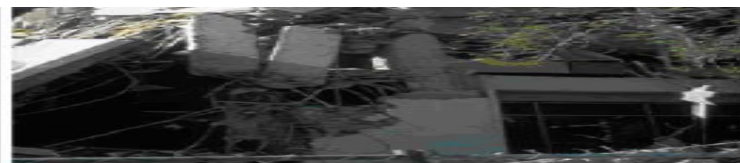
جزئیات تکیه گاههای پیش تنیده و قاب های توسعه یافته



نمای ستون های مقاوم سازی شده



Column failures



Joint failures

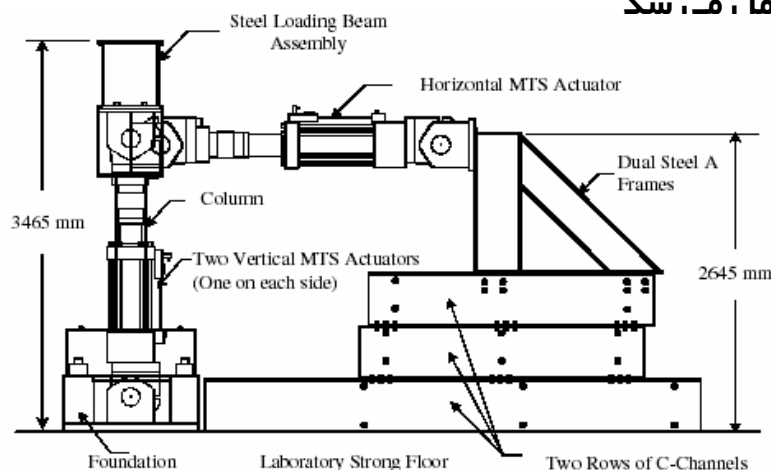
نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

مراحل نصب تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش

آزمایشات با استفاده از 3 کامپیوتر با نمایشگر بار هیدرولیک MTS با ظرفیت 1000 KN انجام شد، پی ستون به کف سخت آزمایشگاه با استفاده از 4 بولت با مقاومت بالا نصب گردید

نیروهای تغییر شکل پذیری جانبی معکوس توسط یک نمایشگر بار هیدرولیک 1000 KN که به طور دو گانه عمل می کرد به کار گرفته شد

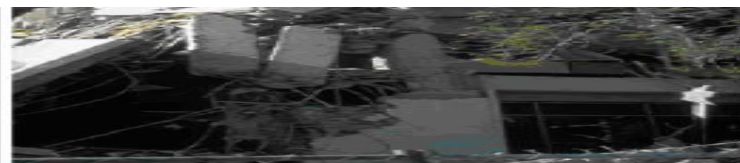
دو نمایشگر بار به طور عمودی برای ایجاد فشار محوری مداوم در هر دو سمت ستون ها به نحوی که بار جاذبه را شبیه سازی می کرد قرار داده شده بود. سطح فشار محوری معادل 15 % ظرفیت گریز از مرکز ستون ها که بار جاذبه عمده ستون های پل را نشان می داد تنظیم شده بود. این وضعیت تقریباً معادل 693 KN قدرت در هر نمایشگر بار بود که نیروی کلی معادل 1386 KN شما، م، شد



نحوه برپایی آزمایش



Column failures



Joint failures

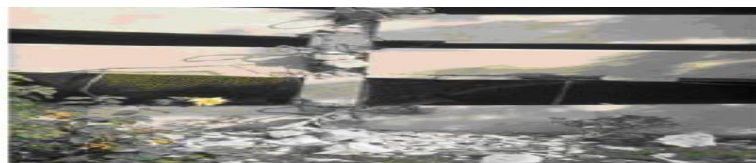
نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

در مجموع 14 درجه سنج مقاومت کرنش الکتریکی برای سنجش کرنشهای وارده به آرماتورهای فولادی مورد استفاده قرار گرفت. 8 درجه سنج بر میلگرد های طولی و 6 درجه سنج بر میلگرد های عرضی دوم و سوم قرار گرفت. دو عدد دیگر در هر طرف میلگرد های بهم بافته شده پیش تنیده قرار داده شدند.

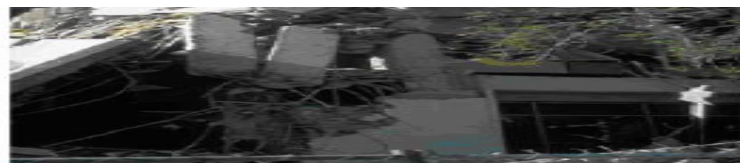
مجموعاً 4 LVDT (تعیین مقدار جابجائی از طریق ولتاژ خطی) برای سنجش دوران های خمشی در ارتفاع H و $H/5$ ، از پی (H عبارتست از ابعاد مقطع ستون موازی بارگذاری که معادل 700 mm است) قرار داده شد یک دستگاه مخصوص LVDT برای سنجش جابجایی های جانبی استفاده شد، تمامی داده های بدست آمده در طول آزمایش توسط یک سیستم ثبت داده ها ثبت گردید

ستون ابتدا با نمایشگر بار عمودی بارگذاری شد، سپس بار محوری در طول دوره آزمایش ثابت نگه داشته شد. تغییر شکل پذیری افقی طی 3 سیکل بارگذاری در هر مرحله به کار گرفته شد

متعاقب این 3 سیکل با 5 درصد سطح نوسان که پاسخ ارتجاعی ترکهای از پیش ایجاد شده را شبیه سازی می کرد، میزان نوسان حدوداً ۱،۲،۳،۴،۵،۱ درصد و غیره تا زمانی که افت مؤثر در مقاومت بار ثبت شده افزایش یافت



Column failures



Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

نتایج آزمایشات

عملکرد هر نمونه در طول آزمایش تحت بررسی قرار گرفت ستون SC-C ستون کنترل بود که طراحی غیر لرزشی (بدون اعمال نیروی زلزله در طراحی) را در ستون های پل های

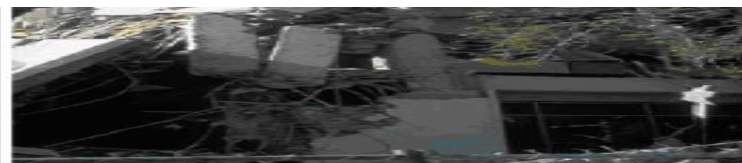
موجود انعکاس می داد
ترکهای خمشی بعد از مرحله اول بارگذاری و نوسان جانبی 5% در قسمت های شمالی و جنوبی ستون ها هم جهت بارگذاری جانبی بود مشاهده گردید

ترکهای خمشی به شکل ترکهای برشی متمایل در طول مرحله سوم 5% میزان نوسان در طرفین توزیع گردید که بار تا 1% میزان نوسان جانبی افزایش یافت

متلاشی شدن و خرد شدگی بتن نزدیک قسمت پایه تا 75 میلیمتری کف ستون مشاهده گردید .
ترکهای برشی قبلی به اطراف ستون ها تا میزان بالاتری، در حالیکه ترکهای جدید شکل گرفته بود گسترش یافت
لنگر خمشی مقاوم در اولین لحظه بارگذاری (بارگیری به جهت شمال) تا حدود 25 درصد در پایان مرحله سوم کاهش نشان داد .



Column failures



Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

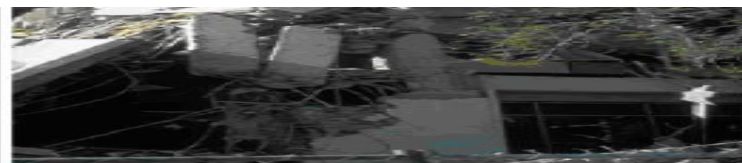
ترکهای قطری و خمشی در کمتر از 350 میلیمتر گسترش یافت. ترک در قسمت اتصال پی به ستون همزمان با گسترش و وادادگی میلگرد های طولی در پایه نیز گسترش یافتند. شکل زیر ستون مورد بحث را در پایان آزمایش نشان میدهد.



ستون نوع SC-C پس از آزمایش



Column failures



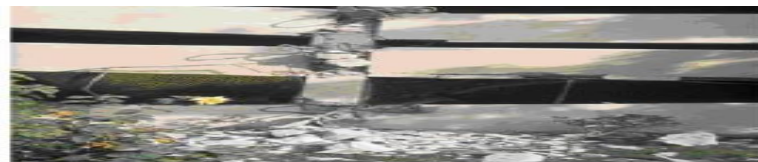
Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

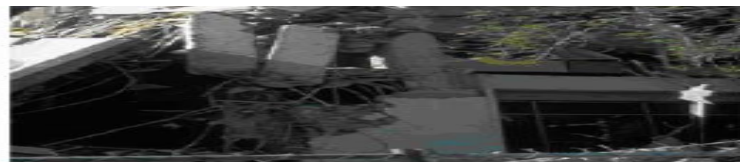
ستون SCR همانند ستون حایل SC-C با همان ویژگی های هندسی و خواص مصالح بود .

این ستون با پیش تنیدگی خارجی در جهت آرماتورهای انتقالی مقاوم سازی گردید . طرح بارگذاری مشابهی که برای ستون پیشین به کار گرفته شد برای این ستون نیز استفاده شد . اولین ترک موئی خمشی به میزان 1% در مرحله سوم مشاهده گردید . تعدادی ترکهای خمشی در خلال هر مرحله از بار گذاری در همان سطح تغییر شکل در هر دو سمت مشاهده شد . یک ترک در محل تلاقی پی و ستون در خلال مرحله سوم بارگذاری و در سمت جنوبی آن در 1% نوسان ایجاد شد . اولین ترکهای برشی در هر دو سمت مشاهده شد و در مرحله دوم بارگذاری با ۱٫۵% نوسان هنگامی بود که نیرو های جانبی 590KN وارد شده بود

ترکها در قسمت پایه ستونها گسترده تر شده و در طول مرحله دو با سرعت 2% طولانی تر شده اند تعداد خرد شدگی بتن پوشش در نزدیکی قسمت پایه مرحله سوم از همان سطح تغییر شکل یافته مشاهده شد ترکهای برشی قطری به میزان 3% فشار به همراه گسترده تر شدن ترکها مشاهده گردید . بنابراین، ترکهای مذکور به خاطر پیش تنیدگی خارجی تحت کنترل بودند . ستون ها مقاومت خود را تا 4% فشارهای جانبی تحمل کرده و فراتر از این سطح تغییر شکل، افت میزان مقاومت را از خود نشان می داد



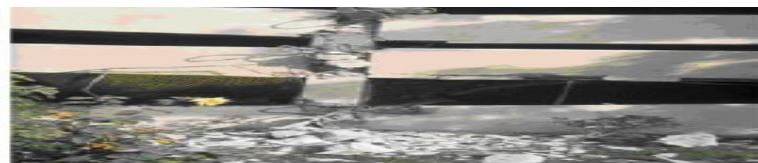
Column failures



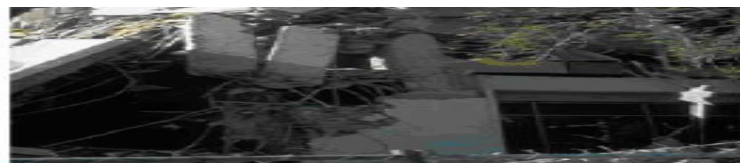
Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

شکل زیر ستون را در پایان 3 % نوسان مراحل بدون هیچ آسیب جدی در همین سطح تغییر
شکل را نشان می دهد



Column failures

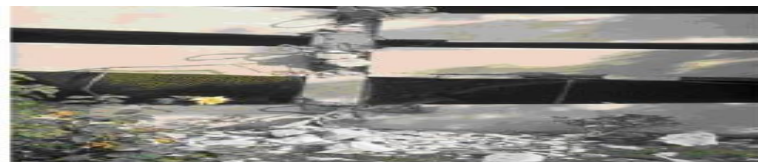


Joint failures

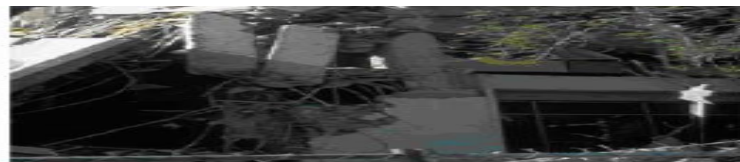
نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

محافظت در مقابل خوردگی و دیگر حملات خارجی

هنگامی که طراحی مقاوم سازی در زمینه مورد نظر تکمیل و به کار گرفته شد، پیش تنیدگی مقاوم باید در مقابل شرایط آب و هوایی از قبیل زنگ زدگی و دیگر هنگامی که تنوعی از تکنیک ها برای سازه فولادی، عوامل خوردگی محافظت شود موجود است عملیات شاتکریت یکی از روش های بسیار عملی برای پایه های پل می باشد



Column failures



Joint failures

نمونه ای از مقاوم سازی ستون ها بوسیله روش (پیش تنیدگی خارجی) *RETROBELT*

نتیجتاً نکات زیر از این روش مقاوم سازی برداشت شد

۱. ستون های مربوط به پل های بتن آرمه که قبل از انتشار کد های آئین نامه ای مدرن زلزله ساخته شده باشند ، در معرض شکست برشی قرار دارند . این آسیب پذیری به خاطر استفاده مقدار کم از خاموتها در ستون با فواصل زیاد می باشد . یک ستون مستطیلی مورد آزمایش در بررسی جاری تحت بارگذاری لرزه ای شبیه سازی شده که ظرفیت جابجائی جانبی محدود تا 1% را نشان می داد عملکرد

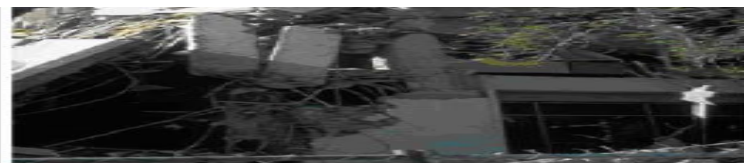
بسیار ضعیفی داشت
۲. ظرفیت برشی ستون های بتن آرمه که بوسیله خاموتهای پیش تنیده مقاوم سازی شدند بطرز عجیبی تحت بهبود یافتند، و این منجر به بهبود مؤثر در تغییر شکل پذیری ستون ها شد . ظرفیت جابجائی جانبی ستون مستطیلی مورد آزمایش در تحقیق جاری به طریق پیش تنیدگی خارجی از 1% به 4% بهبود یافتند.

۳. خاموتهای پیش تنید ۵، ترکهای کششی قطری را به تأخیر انداخته و مقاومت برشی بتن را بهبود می دهند، همچنین برای افزایش ظرفیت برشی ستون با ایجاد آرماتورهای عرضی اضافی شکست های ترد برشی به خمشی تبدیل میشوند . ستون های بتنی معیوب که بوسیله پیش تنیدگی عرضی خارجی مقاوم سازی شدند، می تواند از نظر هزینه و تکنیک قابل قبول باشد.

۴. روش متکی بر طراحی عملکرد که در این تحقیق ذکر شده است می تواند برای مقاوم سازی ستون های معیوب نیز به کار رود

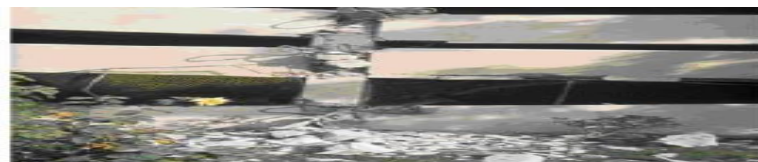


Column failures

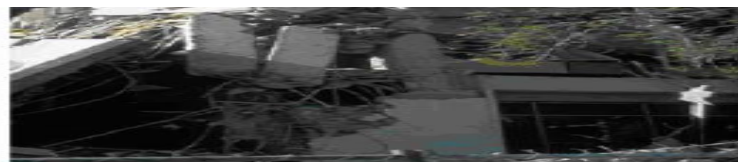


Joint failures

با بررسی امکان سنجی کلی در تقویت کلی یا موضعی سازه بتن آرمه و کارآمدی و موثر بودن مقاوم سازی و سهولت روش اجرایی و کاربردی با در نظر گرفتن سطوح عملکرد مورد نیاز با توجه به سطح خطر و توجیه اقتصادی آن، با توجه به پارامترهای موثر یکی از روش های مقاوم سازی را انتخاب می کنیم که مدل های تجربی و آزمایشگاهی متعددی در زمینه مقاوم سازی سازه های بتن آرمه ارائه شده است ولی ارزیابی عددی و تئوری به دلیل پیچیدگی های روش های حل غیر خطی محدود می باشد که تحقیقات توأم آزمایشگاهی و تئوری برای درک رفتار سازه قبل و بعد از تقویت را می طلبد.

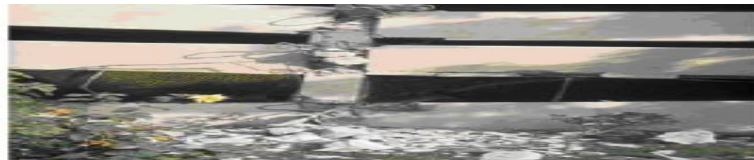


Column failures

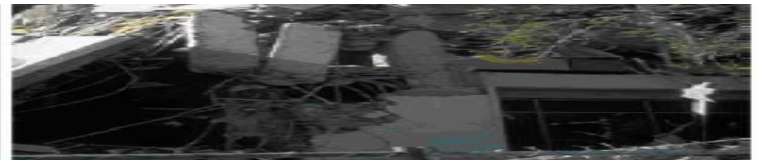


Joint failures

با تشکر از توجهتان



Column failures



Joint failures