بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده عمران و معماری

ارزیابی تحلیلی عملکرد لرزه ای قاب های بتن مسلح مقاوم شده با FRP

سید حمید ضیاالحق

استاد راهنما:

دکتر فرشید علایی

استاد مشاور:

دکتر علی کیهانی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهار ۱۳۹۰

به نام خداوند لوح و قلم　　حقیقت نگار وجود از عدم

اوّل این نامه به نام خدا　　زان که مراو راست دوام و بقا

راه نماینده ی سرگشتگان　　کارگشاینده ی دم بستگان

روشنی دیده ی ارباب غم　　دیده کن اهل جفا و ستم

عذرپذیرنده ی عذرآوران　　مژده رساننده ی صافی دلان

نافه گشای دم باد بهار　　باعث هنگامه ی لیل و نهار

نورفزای رخ خورشید و ماه　　مرحله پیمای سفید و سیاه

چهره برآرنده ی صبح از نقاب　　کرم کن مشعله ی آفتاب

ماه دلیلی شده در راه او　　عرش بود حلقه ی درگاه او

اوست منزه ز حدوث و حلل　　راه نیابد به وجودش علل

قدرت او بر همه اشیاست عام　　دانش او در همه چیزی تمام

زنده و پاینده و موجود اوست　　از همه رو مقصد و مقصود اوست

ای به تو نازنده درون و برون　　کشته هوا خواه تو عقل و جنون

ماهمه بیچاره و تو چاره ساز　　ماهمه آواره و تو دل نواز

روی نیاریم به جز سوی تو　　قبله نسازیم به جز کوی تو

درکه پناهیم چو خالق تویی　　وزکه بخواهیم چو رازق تویی

الهی تو آنی که از احاطت اوهام بیرونی و از ادراک عقول مصئونی، نه مدرک عیونی، کارساز هر مفتونی و شادساز هر محزونی در حکم بی چرا و در ذات بی چند و در صفات بی چونی، تو لاله سرخ و لولو مکنونی من مجنونم تو لیلی مجنونی.

تقدیم به:

روح پاک مادر بزرگم؛

کسی که دعایش بدرقه راه و زندگی ام و وجودش دلگرمی وجودم بود

پدر و مادر عزیزتر از جانم؛

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند؛ عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است قلب های بزرگشان فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و محبت های بی دریغشان هرگز فروکش نمی کند

برادرانم؛

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات.

قدردانی

حال که به لطف و رحمت لایتناهی حضرت حق، مراحل این پایان نامه رو به اتمام نهاده، برخود لازم دانستم تا از همه دوستانی که در پیشبرد اهداف این پایان نامه اینجانب رامساعدت و یاری نموده اند، سپاس و قدردانی به عمل آورم.

ابتدا برخود لازم می دانم تا از زحمات و پشتیبانی شبانه روزی، بی دریغ و بی شائبه راهنمای دلسوز و فرزانه، مشوق راه علم، استاد محترم، جناب آقای دکتر فرشید علائی تشکر و قدردانی ویژه ای داشته باشم. بی شک بدون حمایت و پشتیبانی ایشان انجام این تحقیق مقدور نمی بود.

هم چنین از جناب آقای دکتر علی کیهانی استادمشاور، جناب آقای دکتر احمد احمدی ریاست محترم دانشکده عمران و معماری، جناب آقای دکتر وحیدرضا کلاتجاری مدیر گروه محترم دانشکده عمران و معماری، و جناب آقای مهندس ابوالفضل محمدی مسؤل محترم آموزش تحصیلات تکمیلی دانشکده عمران و معماری که بارا هنمایی های خود راهگشای اینجانب بوده اند و نیز به جهت مساعدت هایشان در طی دوره کارشناسی ارشد قدردانی می نمایم.

در انتها سپاس گزار کلیه دوستان و عزیزانی هستم که در مراحل مختلف تحصیلی مرا یاری نمودند؛ مهندسین صمیمی و مهربان آقایان پژمان آذرسا، محمد حاج صادقی، مهدی عسکری، صالح یعقوبی و بقیه دوستانی که مجالی برای بیان نام تک تک این عزیزان نیست؛ همیشه خود را مرهون لطف و مهربانی آن ها دانسته و امید دارم به لطف الهی روزی توان جبران محبت هایشان را داشته باشم.

این تمام آن چیزی است که می توانستیم، نه تمام چیزی که میخواستیم!

دکتر علی شریعتی

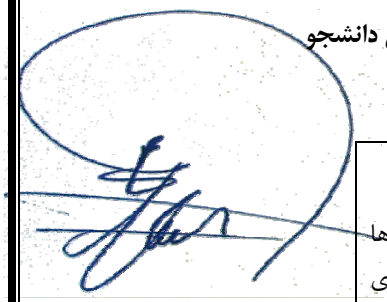
تعهد نامه

اینجانب **سید حمید ضیاالحق** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **عمران- سازه** دانشکده **عمران و معماری** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارزیابی تحلیلی عملکرد لرزه ای قابهای بتن آرمه مقاوم شده با** FRP تحت راهنمائی **دکتر فرشید علایی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام << دانشگاه صنعتی شاهرود>> و یا <<shahrood university of technology>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل راز داری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۰/۴/۲۷

امضای دانشجو



مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

خرابی های مشاهده شده در ساختمان ها و پل ها طی زلزله های اتفاق افتاده در طول سالیان، نیاز مبرم به مقاوم سازی سازه ها را نشان می دهد. در دهه اخیر استفاده از کامپوزیت های FRP برای مقاوم سازی قاب های بتنی مسلح گسترش یافته است. استفاده از FRP به دلیل خصوصیاتی چون مقاومت در برابر خوردگی، وزن کم (نسبت مقاومت به وزن بالا در مقایسه با مصالح سنتی) و مقاومت کششی بالا، در حال افزایش است. یکی از کاربردهای FRP دورگیری اعضای بتن آرمه است. این تقویت باعث افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری اعضای بتن آرمه می شود. با کاربرد FRP، مدل رفتاری بتن از جمله سختی، مقاومت فشاری و کرنش نهایی بتن تغییر می کند.

هدف این تحقیق ارزیابی فرصتهای فراهم شده برای ترمیم لرزه ای قابهای بتنی موجود با استفاده از طرح های مقاوم سازی مدرن، می باشد. با توجه به گسترش کاربرد کامپوزیت ها در تقویت سازه های بتنی به عنوان یکی از روشهای موثر در بهبود عملکرد لرزه ای قاب های بتن مسلح، در این پایان نامه با مدلسازی قاب های تقویت شده با FRP، به کمک برنامه های SAP2000 و ABAQUS، و انجام تحلیل های غیر خطی، اثر تقویت قاب بتنی توسط FRP بر روی عملکرد لرزه ای آن مورد بررسی قرار گیرد.

بدین منظور تحلیل بار افزون روی سه قاب بتن مسلح ۴، ۸ و۱۲ طبقه (معرف ساختمان های کوتاه، متوسط و بلند مرتبه) با استفاده از نرم افزار SAP2000 قبل و پس از ترمیم انجام شده، عملکرد لرزه ای و نیز ضریب رفتار برای سازه های قاب خمشی بتن آرمه متداول مطالعه شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین به منظور بررسی دقیقتر یک قاب بتنی یک دهانه یک طبقه در نرم افزار ABAQUS مدل و آنالیز غیر خطی شده و اثر افزایش ورق FRP به اجزای سازه ای روی عملکرد لرزه ای قاب مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از آنالیز ها نشان داد که استفاده از ورق های FRP بطور قابل ملاحظه ای عملکرد لرزه ای قابهای بتنی را تحت تاثیر خود قرار داده و بهبود می بخشد.

کلید واژه: قاب بتنی، عملکرد لرزه ای، FRP، آنالیز استاتیکی غیر خطی، ضریب رفتار

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول ..... ه
فهرست شکل ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱

فصل ۲- مبانی و ملزومات ۵
۲-۱- آشنایی با سطوح عملکردی ساختمان ۵
۲-۱-۱- سطوح عملکرد ساختمان ۶
۲-۱-۱-۱- سطوح عملکرد اجزای سازه ای ۶
۲-۱-۱-۲- سطوح عملکرد اجزای غیر سازه ای ۱۰
۲-۱-۲- سطوح هدف عملکرد کل ساختمان ۱۲
۲-۲- انتخاب سطح خطر زمین لرزه ۱۵
۲-۲-۱- سطح خطر- ۱: ۱۶
۲-۲-۲- سطح خطر -۲: ۱۶
۲-۲-۳- سطح خطر انتخابی ۱۶
۲-۳- روش های تحلیل سازه ۱۷
۲-۳-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی ۱۷
۲-۳-۱-۱- توزیع بار جانبی ۱۹
۲-۳-۱-۲- روش های تحلیل استاتیکی غیر خطی ۲۰
۲-۳-۱-۳- نقطه کنترل ۲۱
۲-۳-۱-۴- مراحل تحلیل به روش استاتیکی غیر خطی ۲۱
۲-۳-۱-۵- مزایای استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی (بار افزون) ۳۴
۲-۴- محاسبه ضریب رفتار ۳۴
۲-۴-۱- عوامل موثر بر ضریب رفتار: ۳۶
۲-۴-۲- روشهای محاسبه ضریب رفتار: ۳۸
۲-۴-۳- پاسخ نیرو - تغییر مکان سازه ها : ۴۰
۲-۴-۴- محاسبه ضرایب رفتاربا استفاده از فرمول ATC-19 ..... ۴۰
۲-۴-۴-۱- ضریب مقاومت R_s ۴۱
۲-۴-۴-۲- ضریب شکل پذیری R_μ ۴۲
۲-۴-۴-۳- ضریب قید اضافی R_R ۴۵
۲-۵- روش های بهسازی ۴۶
۲-۵-۱- راهکارهای بهسازی ۴۶
۲-۵-۲- روش های بهسازی ۴۷
۲-۵-۲-۱- بهسازی لرزه ای سازه های بتنی با استفاده ازپوشش FRP: ۴۹
۲-۶- مروری برپلیمرهای مسلح با الیاف (FRP) ۵۰
۲-۶-۱- الیاف ۵۱

۲-۶-۲- رزین (ماتریس): ۵۲
۲-۶-۳- کاربرد FRP در مهندسی عمران ۵۳
۲-۶-۴- مفهوم محصور شدگی ۵۵
۲-۶-۵- اهمیّت موضوع محصورشدگیِ بتن توسط FRP ۵۸
۲-۶-۶- شرح مدل های ارائه شده برای پیش بینی رفتار بتن محصور در FRP ۵۹
۲-۶-۶-۱- مدل ارائه شده توسط لام و تِنگ [۴۴و۴۳] ۶۰
۲-۶-۷- دیاگرام اندرکنش بارـ ممان ستون های بتن مسلح محصور شده با FRP ۶۳
فصل ۳- مدلسازی و تحلیل در نرم افزار SAP2000 ۶۶
۳-۱- مقدمه ۶۶
۳-۲- نرم افزار SAP2000 ۶۶
۳-۳- توصیف مدل ها برای معرفی به نرم افزار SAP ۶۷
۳-۳-۱- معرفی خصوصیات مصالح ۶۸
۳-۳-۲- بارگذاری سازه ۶۹
۳-۳-۲-۱- بارهای قائم ثقلی ۶۹
۳-۳-۲-۲- بار جانبی زلزله ۶۹
۳-۳-۳- تحلیل و طراحی مدل ها ۷۱
۳-۳-۴- مشخصات مقاطع بکار گرفته شده ۷۱
۳-۴- ایجاد مدل غیر خطی اولیه در نرم افزارSAP ۷۳
۳-۴-۱- تعریف و اختصاص مشخصات مفاصل پلاستیک ۷۴
۳-۴-۲- معرفی مشخصات الگوهای بارگذاری در آنالیز استاتیکی غیر خطی ۷۵
۳-۴-۳- تعیین مشخصات طیف پاسخ برای سطح خطر مورد نیاز ۷۶
۳-۴-۴- چگونگی بدست آوردن منحنی تنش-کرنش سازه مقاوم شده جهت معرفی به SAP ۷۹
۳-۴-۵- چگونگی بدست آوردن دیاگرام اندرکنش نیروی محوری-ممان ستون ها جهت معرفی به SAP ۸۰
۳-۵- درستی آزمایی مدل در محیط نرم افزار ۸۷
۳-۶- نتایج حاصل از نرم افزار SAP ۸۹
۳-۶-۱- مشاهده منحنی برش پایه در مقابل تغییر مکان بام ۸۹
۳-۶-۲- مشاهده نمودار بار افزون به همراه تغییر مکان هدف محاسبه شده بر اساس FEMA356 ۹۴
۳-۶-۳- مشاهده نمودار بار افزون به همراه نقطه عملکرد محاسبه شده بر اساس ATC-40 ۱۰۵
۳-۶-۴- ارزیابی مفاصل پلاستیک تشکیل شده و سطح عملکرد ساختمان ها ۱۲۲
۳-۶-۵- ارزیابی ضریب رفتار ساختمان ۱۲۹
فصل ۴- مدلسازی و تحلیل در نرم افزار ABAQUS ۱۳۲
۴-۱- مقدمه: ۱۳۲
۴-۲- پیش‌درآمدی بر روش اجزای محدود ۱۳۲
۴-۳- تاریخچه نرم افزار Abaqus CAE ۱۳۳
۴-۴- مدلسازی با استفاده از نرمافزار ABAQUS ۱۳۴
۴-۵- مبانی مدلسازی ۱۳۶
۴-۵-۱- مشخصات مصالح ۱۳۶
۴-۵-۱-۱- بتن: ۱۳۶
۴-۵-۱-۲- فولاد: ۱۴۱

۴-۵-۱-۳- ورق های تقویت کننده: ۱۴۲
۴-۵-۲- ارتباط بین مواد سازنده مدل: ۱۴۳
۴-۵-۳- نوع المان ها و نحوه ی مش بندی:[۳۸] ۱۴۴
۴-۵-۳-۱- بتن : ۱۴۵
۴-۵-۳-۲- فولاد: ۱۴۶
۴-۵-۳-۳- ورق های تقویت کننده: ۱۴۶
۴-۵-۴- اندازه ی مش بندی: ۱۴۸
۴-۶- درستی آزمایی مدل بر روی نتایج آزمایشگاهی: ۱۴۹
۴-۷- نتایج حاصل از نرم افزار ABAQUS ۱۵۱
۴-۷-۱- تنش ها در قاب قبل از تقویت و انتخاب روش مقاوم سازی ۱۵۱
۴-۷-۲- مشاهده منحنی برش پایه در مقابل تغییر مکان بام ۱۵۳
۴-۷-۳- اتلاف انرژی ۱۵۸

فصل ۵- خلاصه و نتایج ۱۶۰

پیوست ۱: روش های تحلیل سازه ۱۶۵
۶-۱- محدوده ی کاربرد رو شهای خطی: ۱۶۵
۶-۲- محدوده ی کاربرد رو شهای غیر خطی: ۱۶۷
۶-۳- تحلیل استاتیکی خطی: ۱۶۸
۶-۳-۱- تعیین زمان تناوب اصلی نوسان سازه ۱۶۹
۶-۳-۲- برآورد نیرو ها و تغییر شکل ها ۱۶۹
۶-۳-۳- توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ۱۷۲
۶-۳-۴- توزیع نیروی جانبی در پلان ۱۷۴
۶-۴- مقایسه روش های تحلیل: ۱۷۴
۶-۵- معیارهای پذیرش: ۱۷۶
۶-۵-۱- روش های خطی ۱۷۶
۶-۵-۱-۱- برآورد نیروها و تغییرشکل های طراحی ۱۷۶
۶-۵-۱-۲- معیارهای پذیرش برای روش های خطی ۱۷۸
۶-۵-۲- روش های غیر خطی ۱۸۰
۶-۵-۲-۱- برآورد نیروها وتغییرشکل های طراحی ۱۸۰
۶-۵-۲-۲- معیارهای پذیرش برای روش های غیرخطی ۱۸۰
۶-۶- نرم افزارهای تحلیل غیر خطی سازه ها ۱۸۱

پیوست ۲: محاسبه ضرایب رفتار به روش شکل پذیری یوانگ ۱۸۲
۷-۱- ضریب رفتار ناشی از شکل پذیری R_μ ۱۸۲
۷-۲- ضریب مقاومت افزون R_S (Ω) ۱۸۲
۷-۳- ضریب اطمینان طراحی ۱۸۳

پیوست ۳: آشنایی با سطوح بهسازی ۱۸۵
۸-۱- مقدمه ۱۸۵
۸-۲- سطوح بهسازی بر اساس دستورالعمل و تفسیر دستورالعمل بهسازی(نشریه ۳۶۰) ۱۸۶
۸-۲-۱- بهسازی مبنا ۱۸۸

۸-۲-۲- بهسازی مطلوب ۱۸۸
۸-۲-۳- بهسازی ویژه ۱۸۸
۸-۲-۴- بهسازی محدود ۱۸۹
۸-۲-۵- بهسازی موضعی ۱۸۹
۸-۳- سطوح بهسازی بر اساس FEMA356 & 273: ۱۹۰
۸-۳-۱- هدف ایمنی پایه ۱۹۰
۸-۳-۲- اهداف بهسازی توسعه یافته ۱۹۱
۸-۳-۳- اهداف بهسازی محدود ۱۹۳
۸-۴- مقایسه سطوح عملکرد دردستورالعمل و تفسیر دستورالعمل بهسازی با FEMA356&273 ۱۹۶
پیوست ۴: روشهای بهسازی ۱۹۸
۹-۱- شناخت وضع موجود ۱۹۸
۹-۱-۱- مراحل شناخت وضع موجود ۱۹۸
۹-۲- راهکارهای بهسازی ۱۹۸
۹-۳- ضوابط کلی بهسازی ساختمان های بتنی ۲۰۱
۹-۴- دیگر روش های بهسازی ۲۰۲
۹-۴-۱- استفاده از دیوار برشی فولادی: ۲۰۲
۹-۴-۲- استفاده از غلاف های فولادی: ۲۰۳
۹-۴-۳- بادبندهای مقاوم در برابر کمانش (غلاف دار): ۲۰۳
۹-۴-۴- دیوارهای سه بعدی: ۲۰۳
۹-۴-۵- مهاربند کلی خارجی: ۲۰۴
۹-۴-۶- تقویت قاب بتنی بکمک بادبند فلزی: ۲۰۴
پیوست ۵: مدل های ارائه شده برای پیش بینی رفتار بتن محصور در FRP ۲۰۵
۱۰-۱- مدل ارائه شده توسط صافی و همکاران ۲۰۵
۱۰-۲- مدل ارائه شده توسط سامان و همکاران ۲۰۶
۱۰-۳- مدل ارائه شده توسط توتانجی ۲۰۸
۱۰-۴- مدل ارائه شده توسط کاربهاری و گائو ۲۰۹
۱۰-۵- روابط ارائه شده توسط زیائو و وو ۲۱۱
۱۰-۶- روابط ارائه شده توسط سعادتمنش و همکاران ۲۱۲
فهرست مراجع ۲۱۵
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۲۲۰

فهرست جداول

جدول ۲-۱: خسارت احتمالی برای چهار سطح عملکرد مختلف[۶] ۱۴
جدول ۲-۲: سطوح عملکرد ساختمان (دستورالعمل بهسازی) ۱۴
جدول ۲-۳: سطوح عملکرد ساختمان (FEMA356) ۱۵
جدول ۲-۴: مقادیر تقریبی C_0 ۲۵
جدول ۲-۵: مقادیر ضریب C_m ۲۶
جدول۲-۶: مقادیر ضریب C_2 ۲۶
جدول۲-۷: تعیین نوع سازه ۳۰
جدول۲-۸: مقادیر ضریب κ ۳۱
جدول ۲-۹: مقادیر SR ۳۲
جدول۲-۱۰: نسبت سخت شوندگی ۴۴
جدول ۲-۱۱: مقدار ضریب قید اضافی [۱۶] ۴۵
جدول ۳-۱: مقطع و آرماتور طولی به کار رفته در ستون های ساختمان ۴ طبقه ۷۲
جدول ۳-۲: مقطع و آرماتور طولی به کار رفته در ستون های ساختمان ۸ طبقه ۷۲
جدول ۳-۳: مقطع و آرماتور طولی به کار رفته در ستون های ساختمان ۱۲ طبقه ۷۳
جدول ۳-۴: طیف پاسخ معرفی شده به برنامه ۷۷
جدول ۳-۵: خصوصیات مصالح FRP ۸۰
جدول۳-۶: خصوصیات مصالح به کار رفته در نمونه آزمایشگاهی ۸۸
جدول ۳-۷: مقادیر تغییر مکان جانبی در مقابل برش پایه در هر گام تحت اثر الگوی بار جانبی Ex ۹۰
جدول ۳-۸: مقایسه برخی پارامترهای قاب خمشی تنها با قاب مقاوم شده توسط FRP ۱۰۲
جدول ۳-۹: مقایسه برخی پارامترهای قاب مقاوم نشده با قاب تقویت شده در نقطه عملکرد سازهها ۱۱۳
جدول ۳-۱۰: مقایسه برخی پارامترهای قاب مقاوم نشده با قاب تقویت شده در نقطه عملکرد سازهها (خاک نوع II) ۱۲۲
جدول ۳-۱۱: مشاهده و مقایسه وضعیت مفاصل تشکیل شده در ساختمان ۱۲ طبقه قبل و بعد از ترمیم ۱۲۴
جدول ۳-۱۲: مشاهده و مقایسه وضعیت مفاصل تشکیل شده در ساختمان ۸ طبقه قبل و بعد از ترمیم ۱۲۵
جدول ۳-۱۳: ضرایب رفتار و پارامترهای مربوطه قبل و بعد از تقویت با استفاده از روابط مختلف ۱۳۱
جدول ۴-۱: مشخصات مکانیکی در نظرگرفته شده در مدل «الاستوپلاستیک» برای فولاد ۱۴۲
جدول ۴-۲: ویژگی‌های دو نوع مواد مرکب شیشه‌ای و کربنی[۴۵ و ۴۴] ۱۴۳
جدول ۴-۳: مقایسه حداکثر نیروی تحمل شده در قاب ها در تغییرمکان ثابت ۱۵۷
جدول ۴-۴: مقایسه انرژی کلی تلف شده در قاب ها ۱۵۹
جدول ۶-۱: مقادیر ضریب α ۱۶۹
جدول ۶-۲: مقادیر ضریب C_m ۱۷۲
جدول ۶-۳: مقادیر ضریب آگاهی ۱۷۸
جدول ۸-۱: سطوح خطر زلزله ۱۸۷
جدول ۸-۲: سطوح بهسازی [۶] ۱۸۷
جدول ۸-۳: سطوح بهسازی [۳۱] ۱۹۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نقاط مشخصه سطوح مختلف عملکرد در سازه شکل پذیر با توجه به منحنی نیرو-تغییر مکان [۴۴] ۹
شکل ۲-۲: نقاط مشخصه سطوح مختلف عملکرد در سازه غیرشکل پذیر با توجه به منحنی نیرو-تغییر مکان [۴۴] ۹
شکل۲-۳: سطوح عملکرد هدف ساختمان [۴۴] ۱۳
شکل ۲-۴: مقایسه سطوح خطر ۱۶
شکل ۲-۵: چگونگی بررسی دوره تناوب ارتعاش ۱۸
شکل ۲-۶: تقریب دو خطی برش پایه-تغییر مکان ۲۳
شکل۲-۷: منحنی ظرفیت ۲۹
شکل۲-۸: طیف پاسخ ۲۹
شکل۲-۹: تقریب منحنی ظرفیت سازه به صورت دو خطی ۳۰
شکل ۲-۱۰: نمایش مقادیر E_0 و E_S در منحنی هیسترزیس رفتار سازه ۳۱
شکل ۲-۱۱: ADRS کاهش یافته ۳۱
شکل ۲-۱۲: منحنی ظرفیت در دستگاه مختصات (S_a,S_d) ۳۲
شکل ۲-۱۳: ارتباط کلی نیرو - تغییر مکان و تقریب دو خطی برای یک قاب سازه ای ۴۰
شکل ۲-۱۴: مقایسه بین رابطه های ضریب شکل پذیری ۴۵
شکل ۲-۱۵: میلگردهای FRP ۵۳
شکل ۲-۱۶: استفاده از ورق‌های FRP در تقویت ستون ۵۳
شکل ۲-۱۷: نمودار تنشـکرنش استوانههای بتنی در فشار هیدرواستاتیک [۷] ۵۶
شکل ۲-۱۸: نقش محصور کنندگی پوشش FRP برای بتن ۵۷
شکل ۲-۱۹: خرابی ستون در زلزلهٔ نورثریج به علّت ناکافی بودن فشار محصورکنندگی آرماتور دورپیچ ۵۹
شکل ۲-۲۰: مدل پیشنهای لام و تِنگ برای بتن محصور در FRP [۴۳] ۶۱
شکل ۲-۲۱: محصورکنندگی در مقاطع مستطیلی ۶۲
شکل ۲-۲۲: دیاگرام اندرکنش شماتیک بارـ ممان $(P-M)$، برای یک ستون بتنمسلح ۶۴
شکل ۳-۱: پلان مشابه طبقات برای سازه مورد بررسی به همراه ابعاد آن (به متر) ۶۷
شکل ۳-۲: نمایی از قابهای میانی ساختمانها ۶۸
شکل ۳-۳: توزیع برش پایه بین طبقات در ساختمان ۸ طبقه ۷۱
شکل ۳-۴: منحنی لنگر-دوران المان ۷۴
شکل ۳-۵: اصلاح فرم مربوط به FEMA-356 ۷۸
شکل ۳-۶:اصلاح فرم مربوط به ATC-40 ۷۸
شکل ۳-۷: مقایسه منحنی تنش-کرنش بتن محصور نشده و شده بر اساس روابط لام و تنگ ۸۰
شکل ۳-۸: دیاگرام شماتیک اندرکنش نیروی محوری-ممان برای یک ستون بتن مسلح ۸۱
شکل ۳-۹: دیاگرام اندرکنش نیروی محوری-ممان ۸۶
شکل ۳-۱۰: دیاگرام اندرکنش برای ستون ها با استفاده از برنامه نوشته شده در مطلب ۸۶
شکل۳-۱۱: قاب ساخته شده قبل آزمایش ۸۷
شکل ۳-۱۲: مقایسه منحنی های پوش آور(آزمایشگاهی و مدل شده توسط مرجع و این تحقیق) ۸۸
شکل ۳-۱۳ : منحنی برش پایه – تغییرمکان گره کنترل ساختمان ۴طبقه ابتدایی تحت الگوی بار جانبی Ex ۹۱
شکل۳-۱۴: منحنی برش پایه – تغییرمکان گره کنترل ساختمان ۴طبقه ابتدایی تحت الگوی بار جانبی یکنواخت ۹۲
شکل۳-۱۵: منحنی برش پایه – تغییرمکان گره کنترل ساختمان ۴طبقه ابتدایی تحت الگوی بار جانبی مود اول ۹۳
شکل۳-۱۶: منحنی رفتار سازه و نمودار دوخطی شده آن به همراه پارامترهایی جهت محاسبه جابجایی هدف δ_t ۹۵
شکل ۳-۱۷: منحنی پوش آور و نمودار دوخطی ساختمان ۴ طبقه قبل از مقاوم سازی ۹۶

شکل ۳-۱۸: منحنی پوش آور و نمودار دوخطی ساختمان ۴ طبقه بعد از مقاوم سازی ۹۷
شکل ۳-۱۹: منحنی پوش آور و نمودار دوخطی ساختمان ۸ طبقه قبل از مقاوم سازی ۹۸
شکل۳-۲۰: منحنی پوش آور و نمودار دوخطی ساختمان ۸ طبقه بعد از مقاوم سازی ۹۹
شکل ۳-۲۱: منحنی پوش آور و نمودار دوخطی ساختمان ۱۲ طبقه بعد از مقاوم سازی ۱۰۰
شکل۳-۲۲: منحنی پوش آور و نمودار دوخطی ساختمان ۱۲ طبقه بعد از مقاوم سازی ۱۰۱
شکل ۳-۲۳: مقایسه منحنی پوش آور برش پایه – جابجایی بام ساختمان ۴ طبقه قبل و پس از ترمیم ۱۰۳
شکل ۳-۲۴: مقایسه منحنی پوش آور برش پایه – جابجایی بام ساختمان ۸ طبقه قبل و پس از ترمیم ۱۰۳
شکل ۳-۲۵: مقایسه منحنی پوش آور برش پایه – جابجایی بام ساختمان ۱۲ طبقه قبل و پس از ترمیم ۱۰۳
شکل۳-۲۶ : مقایسه جابجایی ساختمان ۱۲ طبقه در یک بار جانبی ثابت ۱۰۴
شکل ۳-۲۷: نحوه محاسبه مختصات نقطه عملکرد سازه در طیف های مختلف و تنظیم پارامترهای مربوطبه ATC-40 ۱۰۶
شکل ۳-۲۸: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۴ طبقه مقاوم نشده ۱۰۷
شکل ۳-۲۹: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۴ طبقه مقاوم شده ۱۰۸
شکل ۳-۳۰: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه ۸ طبقه مقاوم نشده ۱۰۹
شکل ۳-۳۱: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۸ طبقه مقاوم شده ۱۱۰
شکل۳-۳۲: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکردبرای سازه۱۲ طبقه مقاوم نشده ۱۱۱
شکل ۳-۳۳: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ درفرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۱۲ طبقه مقاوم شده ۱۱۲
شکل۳-۳۴: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ (خاک نوعII) در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۴ طبقه مقاوم نشده ۱۱۵
شکل ۳-۳۵: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ (خاک نوعII)در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۴ طبقه مقاوم شده ۱۱۶
شکل ۳-۳۶: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ (خاک نوعII) در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۸ طبقه مقاوم نشده ۱۱۷
شکل ۳-۳۷: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ (خاک نوعII) در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۸ طبقه مقاوم شده ۱۱۸
شکل ۳-۳۸: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ (خاک نوعII)در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۱۲ طبقه مقاوم نشده ۱۱۹
شکل ۳-۳۹: منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ (خاک نوعII)در فرمت ADRS و مختصات نقطه عملکرد برای سازه۱۲ طبقه مقاوم شده ۱۲۰
شکل ۳-۴۰: مقایسه منحنی بارافزون طیف شتاب – جابجایی ساختمان ۴ طبقه قبل و بعد از تقویت ۱۲۱
شکل ۳-۴۱ : مقایسه منحنی بارافزون طیف شتاب – جابجایی ساختمان ۸ طبقه قبل و بعد از تقویت ۱۲۱
شکل ۳-۴۲ : مقایسه منحنی بارافزون طیف شتاب – جابجایی ساختمان ۱۲ طبقه قبل و بعد از تقویت ۱۲۱
شکل ۳-۴۳: توزیع مفصل های پلاستیک در ساختمان ۴ طبقه؛ الف) قبل از مقاوم سازی، ب) بعد از مقاوم سازی ۱۲۶
شکل ۳-۴۴ :توزیع مفصل های پلاستیک در ساختمان ۸ طبقه؛ الف) قبل از مقاوم سازی، ب) بعد از مقاوم سازی ۱۲۷
شکل ۳-۴۵ :توزیع مفصل های پلاستیک در ساختمان ۱۲ طبقه؛ الف) قبل از مقاوم سازی، ب) بعد از مقاوم سازی ۱۲۸
شکل۳-۴۶: منحنی پوشآور و رفتار دوخطی سازه ۴ طبقه همراه محاسبه ضریب رفتار؛ الف)تقویت نشده، ب)تقویت شده ۱۲۹
شکل ۳-۴۷: منحنی پوشآور و رفتار دوخطی سازه ۸ طبقه همراه محاسبه ضریب رفتار؛ الف)تقویت نشده، ب)تقویت شده ۱۳۰
شکل ۳-۴۸: منحنی پوشآور و رفتار دوخطی سازه ۱۲طبقه همراه محاسبه ضریب رفتار؛ الف)تقویت نشده، ب)تقویت شده ۱۳۰
شکل ۴-۱: ابعاد و جزئیات آرماتورگذاری قاب مدل شده بر اساس مقاله پارسا ۱۳۶
شکل ۴-۲: نحوه پاسخ بتن به بارگذاری و باربرداری در(الف) کشش و (ب) فشار ۱۳۹
شکل۴-۳: نمودار تنش و کرنش بتن مدل شده ۱۴۰
شکل۴-۴:منحنی تنش-کرنش درنظرگرفته شده در مدل «الاستوپلاستیک» برای فولاد ۱۴۱
شکل ۴-۵: منحنی تنش-کرنش ورق های تقویت کننده ۱۴۲
شکل۴-۶: قاب مدل شده در آباکوس ۱۴۴

شکل ۴-۷: خانواده المان های رایج ۱۴۴
شکل ۴-۸: المان های آجری خطی، آجری مرتبه دوم، و چهار وجهی اصلاح شده ۱۴۵
شکل ۴-۹: روش نامگذاری المان ها در آباکوس ۱۴۵
شکل ۴-۱۰: نقاط انتگرا لگیری جزء C3D20 ۱۴۶
شکل ۴-۱۱: نقاط انتگرال گیری برای المان های S4R، S4، و S8R ۱۴۷
شکل ۴-۱۲: مش بندی قاب بتنی ۱۴۸
شکل ۴-۱۳: مش بندی ورق های تقویت کننده ۱۴۸
شکل ۴-۱۴: منحنی هیستزیس قاب بتنی مورد آزمایش[۴۷] ۱۴۹
شکل ۴-۱۵: منحنی رفتاری بدست آمده از Abaqus ۱۵۰
شکل۴-۱۶: مقایسه منحنی بدست آمده از آباکوس و آزمایش ۱۵۱
شکل ۴-۱۷: خطوط همتراز تنش در قاب بتنی قبل از تقویت ۱۵۲
شکل ۴-۱۸: خطوط همتراز تنش در قاب بتنی بعد از تقویت ستون ها با دو لایه CFRP ۱۵۳
شکل ۴-۱۹: چگونگی مقاوم سازی اتصالات قاب ۱۵۳
شکل ۴-۲۰: منحنی نیرو- تغییر مکان قاب ترمیم شده در ستون ها با یک لایه CFRP (تن-سانتیمتر) ۱۵۴
شکل ۴-۲۱: منحنی نیرو- تغییر مکان قاب ترمیم شده در ستون ها با دو لایه FRP (تن-سانتیمتر) ۱۵۴
شکل ۴-۲۲: منحنی نیرو- تغییر مکان قاب ترمیم شده در ستون ها با هشت لایه FRP (تن-سانتیمتر) ۱۵۵
شکل ۴-۲۳: منحنی نیرو- تغییر مکان قاب ترمیم شده در گره ها با یک لایه CFRP (تن-سانتیمتر) ۱۵۵
شکل ۴-۲۴: مقایسه رفتار قاب قبل و بعد از تقویت الف)ستون ها یک لایه CFRP؛ ب)ستون ها دو لایه CFRP؛ ج)ستون ها هشت لایه CFRP؛ د)گره ها یک لایه CFRP ۱۵۶
شکل ۴-۲۵: منحنی نیرو- تغییر مکان قاب ترمیم شده در ستون ها با یک لایه GFRP (تن-سانتیمتر) ۱۵۶
شکل ۴-۲۶: مقایسه رفتار قاب قبل و بعد از تقویت با یک لایه GFRP در ستون ها ۱۵۷
شکل ۴-۲۷: مقایسه انرژِی جذب شده توسط قاب ۱۵۸
شکل ۶-۱: مقدار C_1 برحسب زمان تناوب اصلی سازه ۱۷۱
شکل۶-۲: حدود تغییرات مقادیر C_3 ۱۷۱
شکل ۶-۳: نحوه ی توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان ۱۷۲
شکل ۶-۴: توزیع نیروی جانبی برای قاب خمشی بتنی ۱۷۴
شکل ۶-۵: اختلاف دو روش خطی و غیر خطی [۳۱] ۱۷۵
شکل ۶-۶: انتخاب روش تحلیل سازه [۱۱] ۱۷۵
شکل۶-۷: رفتار عضو کنترل شونده توسط تغییر شکل ۱۷۹
شکل ۷-۱: منحنی پاسخ کلی سازه در حالت الاستیک و غیر الاستیک ۱۸۲
شکل ۸-۱: اهداف بهسازی مطابق FEMA274 ۱۹۵
شکل۹-۱: مراحل شناخت وضع موجود ۱۹۹
شکل۱۰-۱: منحنی تنشـکرنش بتن محصور در FRP در مدل صافی و همکاران و مدل توتانجی [۲۹] ۲۰۵
شکل ۱۰-۲: مشخّصات نمودار تنشـکرنش محوری در مدل سامان [۱۹] ۲۰۷
شکل ۱۰-۳: مشخّصات منحنیِ تنشـکرنش در مدل کاربهاری [۲۳] ۲۱۰

فصل اول

مقدمه

فصل ۱- مقدمه

" انسان از آغاز خلقت همواره با موضوع بلایای طبیعی مواجه بوده و تلاش نموده است تا این حوادث و سوانح طبیعت را مدیریت و کنترل نماید و زندگی خود را از این خطرات ، ایمن و محفوظ دارد. در میان بلایای طبیعی ، **زلزله** از ویژگی های خاصی برخوردا ر بوده و در قرن گذشته با توجه به عوامل زیر اهمیت بیش تری به مدیریت بحران زلزله داده شده است:

- افزایش تعداد شهرها در نقاط مختلف که بسیاری در مناطق فعال لرزه خیز واقعند.
- گسترش و توسعه شهرها به گونه ای که گسل های زیادی در داخل شهرها قرار گرفته اند.
- افزایش تراکم جمعیت شهرها که باعث افزایش تعداد قربانیان زلزله گردیده است.
- افزایش کمی و کیفی تا سیسات و امکانات مختلف شهری، که باعث افزایش سرمایه گذاری انسان در شهرها و گسترش خسارات مالی ناشی از زلزله شده است.
- پیشرفت دانش لرز ه شناسی و مهندسی زلزله، که بشر را قادر به ثبت اطلاعات زلزله های گذشته و تجزیه و تحلیل هر چه دقیقتر آنها نموده است.

ایران از نظر لرزه خیزی در منطقه ی فعال جهان قرار دارد و به گواهی اطلاعات مستند علمی و مشاهدات قرن بیستم از خطرپذیرترین مناطق جهان در اثر زمین لرزه های پرقدرت محسوب می شود. در سال های اخیر به طور متوسط هر پنج سال یک زمین لرزه با صدمات جانی و مالی بسیار بالا در نقطه ای از کشور رخ داده است و در حال حاضر ایران در صدر کشورهایی است که وقوع زلزله در آن با تلفات جانی بالا همراه است. گرچه جلوگیری کامل از خسارات ناشی از زلزله های شدید بسیار دشوار است لیکن با افزایش سطح اطلاعات در رابطه با لرزه خیزی کشور، آموزش همگانی و ترویج فرهنگ ایمنی، شناسایی و مطالعه دقیق وضعیت آسیب پذیری مستحدثات (ساختمان ها، تاسیسات زیربنایی و شریان های حیاتی) و ایمن سازی و مقاوم سازی صحیح و اصولی آن ها، می توان تا حد مطلوب تلفات و خسارات ناشی از زلزله های آتی را کاهش داد. "[۱]

در زلزله های اخیر بسیاری از ساختمان های بتنی شدیدا آسیب دیده و یا فرو ریخته اند، این امر لزوم بررسی کفایت لرزه ای ساختمان های موجود، به ویژه ساختمان های بتنی قدیمی تر در مناطق با لرزه خیزی بالا را نشان می دهد، تا ساختمانهای محتمل به آسیب شناسایی شده و با انجام بهسازی لرزه ای سطح قابل قبولی از ایمنی در آنها به وجود آید. از طرفی تغییر در جامعهٔ اطراف ما منجر به دگرگونیِ سازه‌های مورد نیاز شده است. میزان حمل‌ونقل در حال افزایش است؛ سرعت وسائط نقلیه افزایش یافته و ... که همه به ایجاد تغییراتِ تقاضا در سازه‌هایِ با دامنه عمر طولانی، منجر می‌شود. هم‌چنین علوم مربوط به رفتار سازه‌ای گسترش یافته، که خود باعث آگاهی نسبت به عدمِ قابلیّت مناسبِ برخی سازه‌هاست. بنابراین احیایِ سازه جهت رسیدن به کارایی مناسب، همواره مورد توجّه بوده است. به روش‌های ارتقای سازه، عمدتاً برای بالا بردن ظرفیت باربری و نیز دیگر سطوح کارایی، مقاوم‌سازی اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر مقاوم‌سازی به مجموعه عملیاتی گفته می‌شود که روی کل یا بخشی از سازه انجام می‌شود تا سازه بتواند بارها و سربارهای بیش‌تری نسبت به حالت اولیه تحمّل کند و خصوصیّات رفتاری بهتری از خود نشان دهد [۲].

جهت این ارزیابی، روش های الاستیک خطی ساده شده کافی نیست، و بایستی از روش های غیرخطی استفاده شود. روشی که به نام آنالیز پوش آور از آن یاد می شود، یک روش مناسب جهت ارزیابی آسیب پذیری ساختمان ها می باشد. اساسا یک تحلیل پوش آور مجموعه ای از آنالیز های استاتیکی زیاد شونده است که جهت بدست آوردن منحنی ظرفیت ساختمان انجام می شود. یکی از کاربردهای مهم این منحنی در طراحی لرزه ای براساس سطح عملکرد می باشد که نسل جدیدی از روش های طراحی لرزه ای بوده و جامعه مهندسین سازه به سمت این روش ها در حرکتند. هدف از طراحی لرزه ای بر اساس عملکرد این است که سازه هایی طراحی شود که عملکردشان قابل پیش بینی باشد، این شیوه در حقیقت میزان خسارت را کمیت بندی کرده و مهندس طراح را به پیش بینی میزان خسارت ها جهت تصمیم گیری آگاهانه قادر می سازد. از این روش به طراحی براساس تغییرمکان نیز نام برده می شود چرا که کمیت بندی خسارت برحسب تغییرمکان امکان پذیر است. در روش های بر پایه عملکرد، بر اساس منحنی ظرفیت، یک جابجایی هدف که تخمینی از تغییر مکان ایجاد شده در ساختمان در اثر

زلزله طرح می باشد، تعیین می گردد، میزان آسیب وارد شده به ساختمان در این تغییر مکان هدف، بیانگر آسیب وارد شده به سازه در زمان لرزه های زلزله سطح طراحی می باشد. یکی از مزایای مهم این روش این است که ضریب کاهش نیروی آیین نامه های کنونی که مورد بحث فراوان می باشند مورد نیاز نیست و رفتار غیرارتجاعی سازه به شکل دیگری مدنظر قرار می گیرد. در آیین نامه های موجود برای در نظر گرفتن قابلیت جذب انرژی در سازه با توجه به رفتار غیر خطی از ضرایب کاهنده موسوم به ضریب رفتار برای سیستم های مختلف سازه ای استفاده می شود. مقدار ضرایب رفتار موجود در آیین نامه ها با روش های مختلف و استفاده ازمنحنی نیرو- تغییر مکان حاصل شده است، که این منحنی نتیجه ی آنالیز استاتیکی غیرخطی می باشد. [۱، ۳]

در استفاده از روشهای سنتی برای مقاوم‌سازی سازه‌های موجود دو مشکل اساسی وجود دارد. اول آنکه بمنظور مقاوم‌سازی باید تخریب‌های قابل ملاحظه‌ای صورت گرفته و معماری موجود تغییر یابد. دوم آنکه افزودن اجزای جدید بمنظور افزایش مقاومت، شکل‌پذیری و یا سختی، معمولا منجر به وارد شدن نیروهای جدید به سازه میگردد. در اغلب موارد اجزای موجود نیاز به تقویت‌های قابل ملاحظه‌ای داشته و در برخی موارد نیز تقویت پی ضروری میشود. با توجه به این مشکلات در برخی موارد استفاده از سیستمهای مدرن اتلاف انرژی اقتصادی‌تر بوده و در زمان کمتری اجرا می‌گردد. [۴]

تاکنون تحقیقات و مطالعات زیادی در زمینه چگونگی تقویت سازه‌های ساختمانی ساخته شده در کشورهای مختلف انجام و نتایج چشمگیری نیز بدست آمده است. تلاش محققان در سال های اخیر در راستای مقاوم سازی به منظور تقویت ساختمانهای فرسوده و یا بخاطر بالا بردن ظرفیت باربری اعضای بتنی باعث ارائه راهکارهای جدیدی در علم مهندسی ترمیم سازه ها شده است، که با جایگزینی شیوه های جدید مقاوم سازی در جهت سهولت مقاوم سازی و بالا بردن ظرفیت سازه ها باعث شده تا مهندسین سازه روی به استفاده از سیستم های پلیمری تقویت شده (FRP) بیاورند. تقویت سازه های بتنی با چسباندن پلیمرهای مسلح شده با الیاف، FRP (Fiber Reinforced Polymer) پس از مطرح شدن در دهه ۱۹۸۰ به دلیل مزایایی چون سهولت اجرا، سبکی منحصر به فرد مصالح و مکان اجرا در حین سرویس دهی سازه، به سرعت توجه طراحان را جلب نمود. هرچند اولین استفاده ها از این روش برای