

شبیه‌سازی و بررسی عملکرد لرزه‌های سازه‌های بتنی تقویت شده با الیاف CFRP بر اساس تحلیل استاتیکی غیر خطی

کامیار محبوبی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شبستر، شبستر، ایران

محمد صابری*

عضو هیات علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شبستر، شبستر، ایران

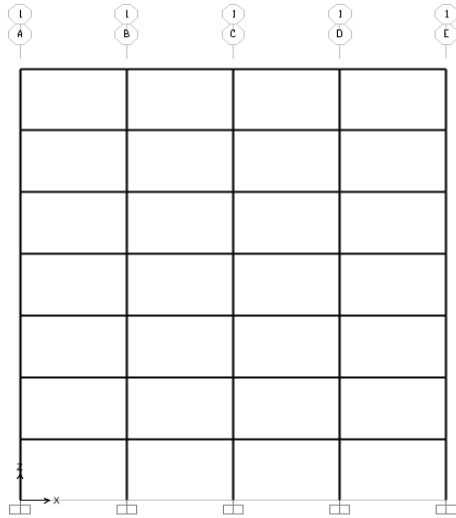
saberi52@iaushab.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۸/۱۲

چکیده

بیش از یک دهه است که مقوله بهبود و ارتقای کیفی زیر ساخت‌های دانش مهندسی ساختمان یکی از مهمترین موارد به حساب می‌آید. خراب شدن و از بین رفتن ستون و عرشه پل‌ها، تیرها، ستون‌ها، دیوارهای ساختمان‌ها و مواردی همچون بالا رفتن سن سازه، عوامل مضر و مخرب محیطی، طراحی یا ضعف اجرایی و همچنین تغییر کاربری سازه‌ها و آیین‌نامه‌های قدیمی و یا حوادثی همچون زلزله نسبت داده می‌شود. از طرفی در اجرای تقویت سازه‌های بتن آرمه معمولاً محل بهینه تقویت چندان مورد توجه واقع نمی‌شود. از این رو تقویت محل مناسب سازه و بالا بردن هر چه بیشتر مقاومت سازه و کاهش هزینه‌های مقاوم‌سازی از موارد بسیار مهم و مورد توجه محققین مختلف بوده است. در این تحقیق، هدف اصلی بررسی سازه بتنی مقاوم‌سازی شده در حالات مختلف تقویت المان‌ها با استفاده از الیاف FRP بوده است. به این منظور ابتدا سه سازه بتنی با تعداد طبقات ۵، ۷ و ۹ بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله در نرم‌افزار SAP2000 طراحی شده و تحت تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش‌آور) قرار گرفتند که تحلیل پوش‌آور با الگوی بارگذاری مثلثی معکوس صورت گرفته است. این سازه را طوری تقویت می‌کنیم که از بیشترین ظرفیت سازه استفاده بشود و همچنین ستون‌ها بعد از تیرها وارد مرحله غیر خطی بشوند. در مرحله بعد سازه‌ی مورد نظر را به روش‌های گوناگونی همچون تقویت کل سازه، تقویت قاب‌ها، تقویت المانها بصورت جداگانه، تقویت قاب‌های خارجی سازه، تقویت قاب‌های داخلی (هسته سازه) و ... مورد بررسی قرار می‌دهیم تا با استخراج برش پایه، دریفت طبقات، نیروی داخلی المانها و مقدار FRP مصرفی، بهینه‌ترین روش برای تقویت سازه را بدست آوریم، که سطح عملکردی ایمنی جانی (LS) را با تقویت به وسیله FRP برای سازه تامین گردد.

کلید واژگان: مقاوم‌سازی، الیاف CFRP، مدلسازی، عملکرد لرزه‌ای



شکل ۱ نمای قاب های راستای X سازه

مقدمه

بسیاری از سازه‌های بتنی موجود در کشور دارای ضعف‌هایی می‌باشند. که این ضعف‌ها ممکن است در اثر زلزله، خطاهای طراحی، خطاهای اجرایی، افزایش بار سازه‌ای، تغییرات آیین‌نامه‌ای، تغییرات کاربری سازه و ... باشد. جهت بهره‌برداری از این سازه‌ها و استفاده بهینه، بطوری که برای ما هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه بوده و هم ایمنی سازه را تامین بکند، نیازمند تقویت و مقاوم‌سازی سازه هستیم. مقاوم‌سازی سازه‌های موجود یکی از موثرترین روش‌ها برای کاهش خطرات احتمالی سازه‌ها می‌باشد. که در سال‌های اخیر، تحقیقات مهمی در جهت ترمیم و تقویت سازه‌های بتنی برای بالا بردن سطح عملکردی سازه انجام شده است. از این رو آشنایی با روش‌های صحیح مقاوم‌سازی جزو الزامات جدی مهندسان کشور است. با توجه به مقاوم‌سازی‌های صورت گرفته، الیاف FRP دارای کمترین مدت زمان اجرایی و دارای کمترین دخالت ممکن در وضعیت موجود سازه و هزینه‌های کمتر و ... به عنوان روشی مناسب جهت تقویت سازه‌ها در نظر گرفته شده است و همچنین با توجه به اینکه ضریب ارتجاعی الیاف کربن از تمامی انواع الیاف FRP دیگر بالاتر می‌باشد و دارای مقاومت بالا در برابر خستگی می‌باشند و ضریب انبساط گرمایی خطی این نوع الیاف در دماهای بالا و پایین بسیار کم می‌باشند. استفاده از الیاف کربن جهت مقاصد بهسازی سازه‌ها مناسب می‌باشد. که در این تحقیق نیز جهت انجام مدل‌سازی سازه در نرم افزار مربوطه از مشخصات الیاف کربن CFRP استفاده شده است. [۱]

جزئیات مدل‌سازی

در این تحقیق مدل مورد بررسی بر روی سه سازه ۵ طبقه، ۷ طبقه و ۹ طبقه صورت گرفته است؛ سازه‌ها دارای چهار دهانه در جهت محور X و سه دهانه در محور Y ها می‌باشد که طول دهانه‌ها برابر ۵ متر، ارتفاع طبقات ۳٫۲ متر می‌باشد. برای بررسی مقاوم‌سازی بهینه سازه با FRP، سازه به روش‌های مختلفی مقاوم‌سازی شده است. در مدل اول تمامی المان‌ها با FRP مقاوم‌سازی شده است. در مدل دوم قاب‌ها بصورت یک در میان مقاوم‌سازی شده است. در مدل سوم تیرها از یک قاب و ستون‌ها از قاب دیگر مقاوم شده است. در مدل چهارم المان‌های هر قاب بصورت یک در میان تقویت شده‌اند. در مدل پنجم قاب‌های خارجی سازه و در مدل ششم هسته سازه (قاب‌های داخلی سازه) تقویت شده است.

نرم‌افزار مورد استفاده و مشخصات سازه

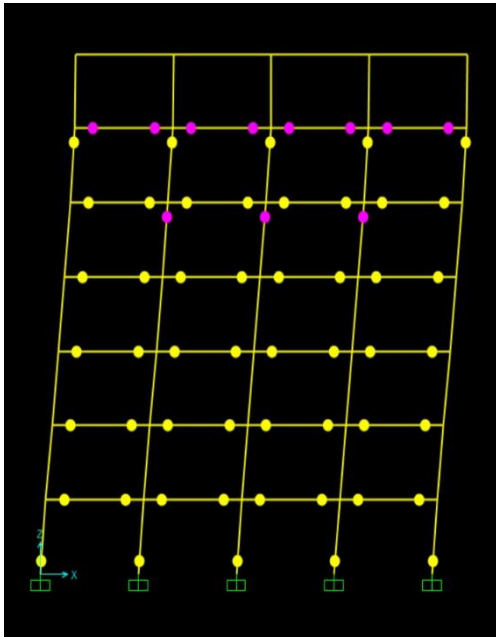
مدل‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، در نرم‌افزار SAP2000. v16 مدل‌سازی شده است. که بررسی مدل‌سازی‌ها نیز از تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور) استفاده شده است. بارگذاری سازه‌ها به شرح زیر انجام شده است: بار مرده بام ۵۰۰ و طبقات مشابه برابر 600 kgf/m^2 و بار زنده بام ۱۵۰ و طبقات 200 kgf/m^2 فرض می‌شود.

ضریب زلزله

متغیرهای موثر در ضریب زلزله که از رابطه‌ی $C=ABI/R$ به دست می‌آید را به صورت زیر در نظر گرفتیم.
خطر نسبی لرزه خیزی منطقه خیلی زیاد می‌باشد (تبریز). $A=0.35$
ضریب اهمیت سازه متوسط در نظر گرفته شده $I=1$
نوع خاک: تیپ ۳

ضعف عمدی سازه

سازه بر اساس آیین‌نامه‌های قدیمی که نیرو و محدودیت‌های کمتری نسبت به آیین‌نامه جدید دارد طراحی شده و همچنین مقاطع المان‌ها کوچکتر از حد ظرفیت برای آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم می‌باشد. لذا با تقویت سازه، سازه را مقاوم‌سازی نموده و ضعف سازه را جبران می‌نماییم. [۲]



شکل ۲ سازه ضعیف

همانگونه که مشاهده می‌شود سازه سطح عملکردی مورد نظر (Is) را تامین نکرده و نیاز به مقاومسازی دارد.

اختصاص و طراحی مقاطع طراحی شده با الیاف CFRP در نرم افزار SAP2000

جهت تقویت سازه فوق باید تیر و ستون‌های تقویت شده با الیاف CFRP جایگزین تیر و ستون‌های ضعیف در سازه بشوند. که ابتدا خواص مواد تقویت کننده سازه که شامل مدول الاستیسته، ضریب پواسون، مدول برشی مواد، وزن مخصوص و جرم مخصوص می‌باشد را به نرم‌افزار SAP2000 وارد می‌کنیم. که در جدول زیر این مشخصات ذکر شده است. [5]

مفاصل پلاستیک

در تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی (پوش‌آور) اثر P-Delta در نظر گرفته شده است. برای اختصاص مفاصل غیرخطی به اعضا، از مفاصل اتوماتیک موجود در نرم‌افزار که به صورت منحنی نیرو-تغییر مکان تعریف شده، استفاده شده است. در فواصل $0.05L$ و $0.95L$ از دو انتهای ستون‌ها و تیرها که برای ستون‌ها $P-M_2-M_3$ و برای تیرها M_3 استفاده شده است. [۳]

روش انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور

در روش استاتیکی غیر خطی، بار جانبی ناشی از زلزله، استاتیکی و به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا آنجا که تغییر مکان در نقطه کنترل (مرکز جرم بام) تحت اثر بار جانبی، به تغییر مکان هدف برسد و یا سازه فرو ریزد. این تغییر مکان در واقع نشان‌دهنده همان تغییر مکانی است که سازه در زلزله طرح تجربه خواهد کرد. میزان خسارت‌هایی که در این تغییر مکان به سازه وارد می‌شود بیانگر میزان خسارت‌های وارد شده به سازه در اثر زلزله طرح خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت آنالیز pushover در حین سادگی ابزار قدرتمندی برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در برابر زلزله می‌باشد، و دید مناسبی از رفتار سازه از ابتدای تغییر شکل تا رسیدن به یک حد معین از تغییر مکان ارائه می‌دهد و روش بسیار مناسبی است که موثر بودن یا ناکارآمدی روش بهسازی را معلوم می‌سازد. از این رو استفاده از این روش طراح را قادر می‌سازد تا با انجام اصلاحات لازم بهترین رفتار لرزه‌ای را در سازه بوجود آورد. [۴]

در این تحقیق برای اعمال خروج از مرکزیت توسط نرم‌افزار از الگوی بار (۲) استفاده شده و تنظیمات در نرم‌افزار SAP2000 برای الگوی بار جانبی در جهت X انجام گرفته است. حداکثر تغییر مکان در آیین نامه ۲۸۰۰ برابر 0.02 ارتفاع می‌باشد. ولی پیش فرض نرم‌افزار تغییر مکان را 0.04 ارتفاع در نظر می‌گیرد.

سطوح عملکردی

یعنی رفتار مورد انتظار سازه تحت بارگذاری مورد نظر، که ما سه سطح عملکردی داریم:

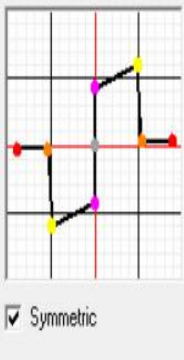
- ۱- سطح عملکردی io: قابلیت استفاده بی‌وقفه (که انتظار داریم سازه آسیب‌های جزئی ببیند)
- ۲- سطح عملکردی Is: ایمنی جانی (اعضای سازه آسیب می‌بینند ولی خسارت جانی صورت نمی‌گیرد)
- ۳- سطح عملکردی cp: آستانه فرو ریزش (سازه مقاومت خود را از دست می‌دهد)

بعد از تعریف پوش‌های مورد نظر سازه را تحت آنالیز قرار می‌دهیم.

مقاله‌ای تحت عنوان بررسی و آنالیز استاتیکی غیر خطی تقویت بتن، مقاوم‌سازی شده با FRP که در سال ۲۰۱۰ توسط آقای مارکو ساویو به صورت آزمایشگاهی انجام شده بود، از مشخصات این مفاصل پلاستیک بدست آمده در این تحقیق استفاده شده است. بعد از اختصاص موارد فوق، سازه را در حالات مختلف از قبیل مقدار مصرف FRP، برش پایه، جابجای طبقات و نیروهای داخلی مورد بررسی قرار می‌دهیم. [6]

جدول ۲ مشخصات مفاصل پلاستیک المان‌های تقویت شده با الیاف CFRP

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.23	-0.8
D-	-0.23	-0.48
C-	-5.12	-0.44
B-	-3.65	0
A	0	0
B	3.65	0
C	5.12	0.44
D	0.23	0.48
E	0.23	0.8



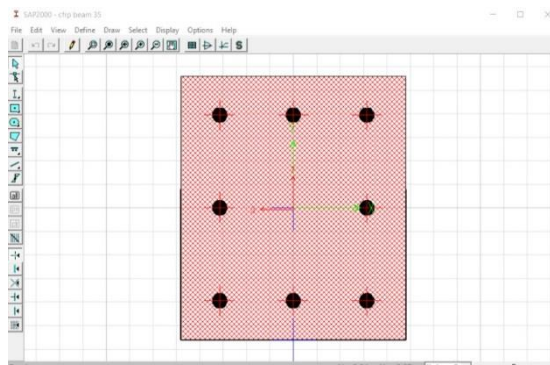
مقدار FRP مصرف شده در حالت‌های مختلف

برای مدل‌های S71 تا S76 که در هر کدام از آنها نحوه مقاوم‌سازی متفاوت از هم بوده است، مقدار FRP مصرفی بر حسب متر مربع، برآورد و در شکل زیر آورده شده است. لازم به ذکر است که در برآورد FRP سطح جانبی المان‌هایی که در آنها از FRP استفاده شده است، در برآورد FRP محاسبه شده است.

جدول ۱ مربوط به مشخصات مصالح CFRP بر حسب (lb,in)

CFRP	مشخصات
E1=9000000 E2=700000 E3=700000	مدول الاستیسیته E (PSI)
U12=0.216 U13=0.216 U23=0.3	ضریب پواسون
A1=0 A2=2.2 A3=2.2	ضریب انبساط حرارتی 10^{-5}
G12=473700 G13=473700 G23=270000	مدول برشی (PSI)
54.19	وزن (lb)
0.1376	جرم
0.042	ضخامت (in)

بعد از تعریف خصوصیات الیاف CFRP نوبت به محصور کردن تیر و ستون سازه می‌رسد که از قسمت section designer مقطع مورد نظر را طراحی می‌کنیم. بعد از طراحی این مقاطع، تیر و ستون‌ها را بر اساس الگوهای ذکر شده به سازه اعمال می‌کنیم.

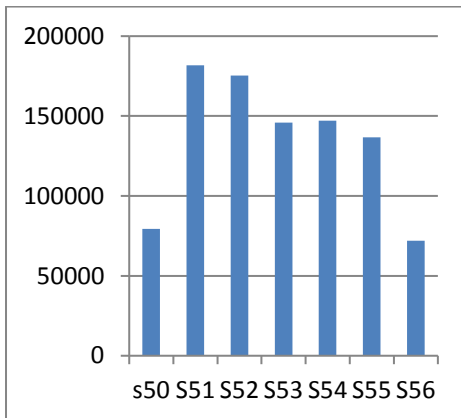


شکل ۳ نمونه‌ای از تیر تقویت شده با الیاف CFRP

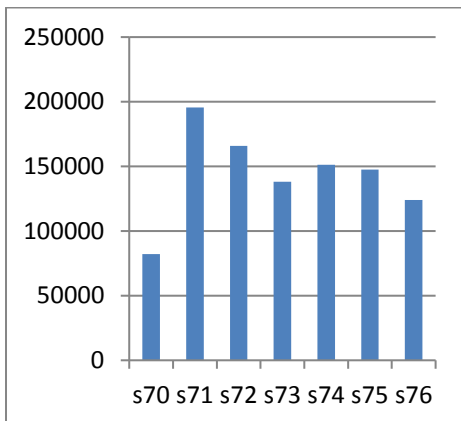
بعد از اختصاص دادن المان‌های تقویت شده تیر و ستون به سازه دیگر نمی‌توانیم از مفاصل پلاستیک اختصاص یافته قبلی (Auto) که به مقاطع بتنی تعریف کردیم استفاده کنیم، لذا جهت انجام این کار باید مفاصل پلاستیک را به صورت دستی (manual) به نرم افزار وارد بکنیم. جهت انجام این کار باید به سراغ تحقیقاتی که در این مورد صورت گرفته رفته و از اطلاعات موجود تحقیقات استفاده کرد. در

بررسی برش پایه در حالت‌های مختلف مقاوم‌سازی شده

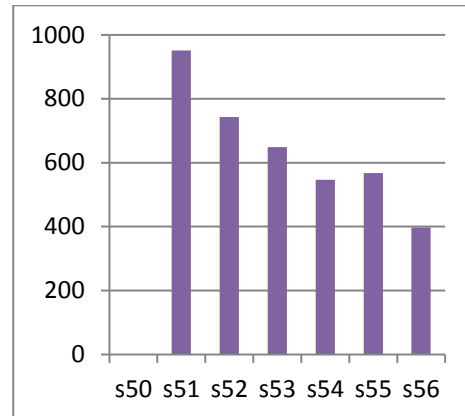
مقدار نیروی جانبی بازتاب شده در سازه بستگی زیادی به سختی جانبی سازه دارد. استفاده از FRP باعث تغییر سختی المان‌های مقاوم جانبی سازه‌ها می‌شود. برش پایه سازه‌ها برداشته شده و نتایج در شکل زیر آورده شده است.



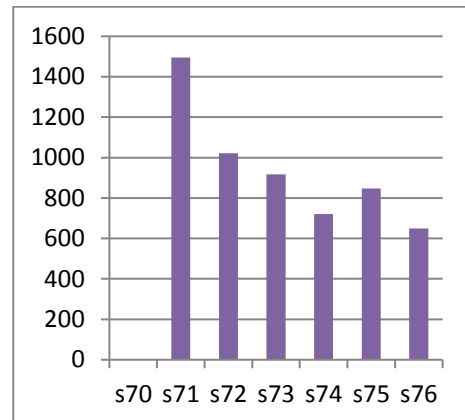
شکل ۷ برش پایه سازه ۵ طبقه (kgf)



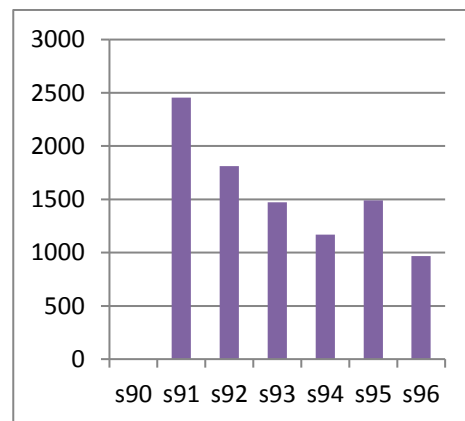
شکل ۸ برش پایه سازه ۷ طبقه (kgf)



شکل ۴ مقدار مصرف FRP در سازه ۵ طبقه (m²)

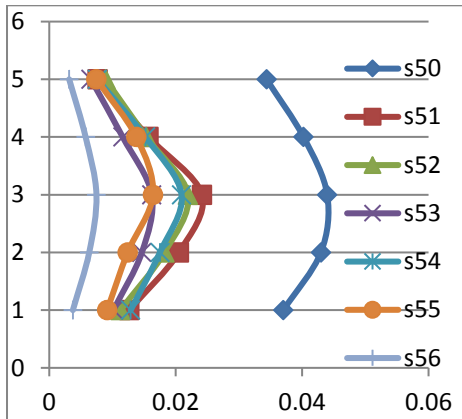


شکل ۵ مقدار مصرف FRP در سازه ۷ طبقه (m²)

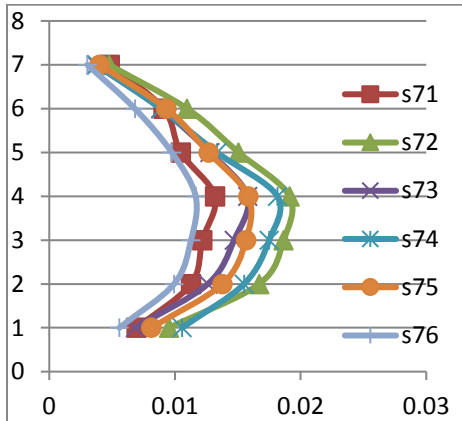


شکل ۶ مقدار مصرف FRP در سازه ۹ طبقه (m²)

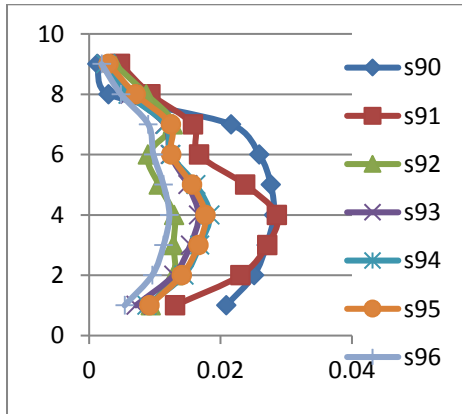
با توجه به شکل بالا مشاهده می‌شود که مقدار FRP در مدل‌های S56، S76، S96 که در آن المان‌های داخلی سازه (هسته سازه) تقویت شده است از بقیه مدل‌ها و روش‌های مقاوم‌سازی شده کمتر می‌باشد. بیشترین مقدار FRP مربوط به مدل‌های S51، S71، S91 است که در آن تمام المان‌ها تقویت شده است.



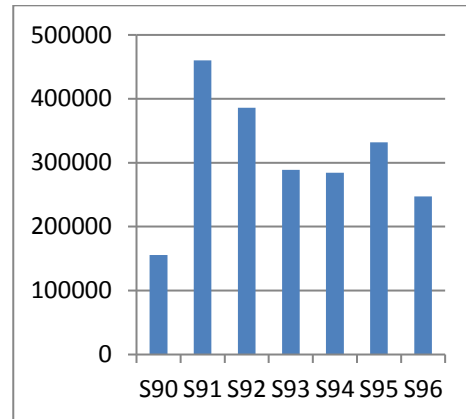
شکل ۱۰ دریفت طبقات سازه ۵ طبقه با الگوهای مختلف تقویت



شکل ۱۱ دریفت طبقات سازه ۷ طبقه با الگوهای مختلف تقویت



شکل ۱۲ دریفت طبقات سازه ۹ طبقه با الگوهای مختلف

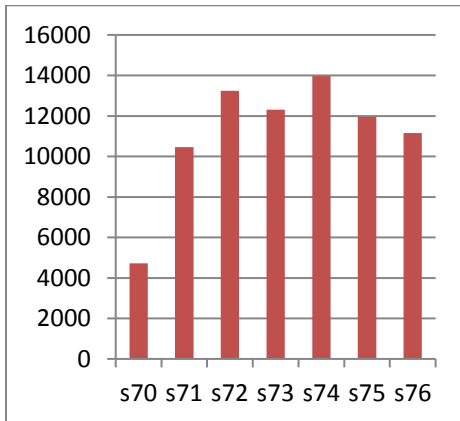


شکل ۹ برش پایه سازه ۹ طبقه (kgf)

مقدار برش پایه در سازه‌هایی که دارای سختی بیشتری هستند مقدار برش پایه وارده از طرف نیروی زلزله در تحلیل غیرخطی بیشتر می‌باشد. از اینرو نشان دهنده بازتاب بیشتر نیروی زلزله در سازه‌های با سختی بیشتر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار برش پایه در مدل‌های S96، S76، S56، که المان‌های داخلی سازه (هسته سازه) تقویت شده‌اند نسبت به سایر مدل‌ها کمتر است. چون در این مدل مقدار FRP مصرفی نیز کمتر بوده است، پس سختی جانبی نیز کمتر شده است. همچنان که از نتایج می‌توان فهمید، مقدار بیشترین برش پایه نیز مربوط به مدل‌های S91، S71، S51 است که در آن کل سازه تقویت شده است. بنابراین می‌توان گفت که تغییر سختی در المان‌های تقویت شده بوسیله FRP نسبت به سایر المانها بیشتر است. (لازم به ذکر است که سازه S90، S70، S50 سازه ضعیف بتنی تقویت نشده می‌باشد)

بررسی دریفت طبقات

در بررسی مقدار بهینه FRP برای مقاوم‌سازی سازه مورد تحقیق در این پایان‌نامه، مقدار دریفت طبقات نیز در حالت‌های مختلفی که از FRP برای مقاوم‌سازی سازه استفاده شده است، مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱۴ نیروی داخلی تیر طبقه پنجم در حالت‌های مختلف استفاده از FRP (kgf-m)

با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که استفاده از FRP در سازه بصورت‌های مختلف، باعث تغییر در نیروی داخلی المان‌ها می‌شود. از طرفی مقدار اختلاف در طبقات نسبت به هم متفاوت هستند که نمونه‌ای از نمودارهای مربوط به نیروی داخلی سازه در بالا آورده شده است. با توجه به نتایج می‌توان گفت که در اکثر موارد مقدار نیروی داخلی المان‌ها در مدل S72 که در آن ستون‌ها از یک قاب و تیرها از قاب دیگر مقاوم‌سازی قرار گرفته‌اند، بیشتر از سایر حالات می‌باشد. از طرفی کمترین مقدار نیروی داخلی نیز مربوط به مدل S76 است که در آن المان‌های داخلی سازه (هسته سازه) تقویت شده است. بنابراین می‌توان گفت که در مدل‌هایی که مقدار FRP در آنها کمترین مقدار را داشت، از نظر نیروی داخلی نیز کمترین مقدار مربوط به آنهاست.

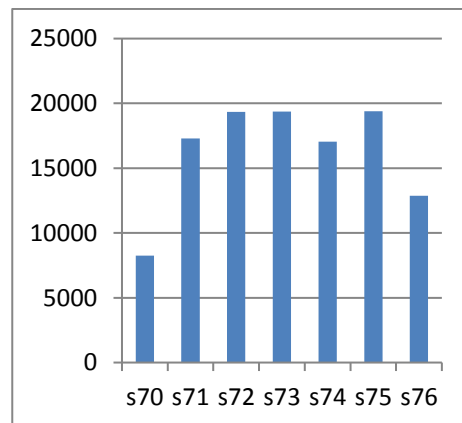
منحنی‌های پوشش آور

برای بررسی مقدار جذب انرژی در سازه‌های تقویت شده با FRP در حالت‌های مختلف، نمودارهای پوشش برای مدل ۵، ۷ و ۹ طبقه حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته و در اشکال زیر آورده شده است.

با بررسی نتایج دریافت طبقات مشاهده می‌شود که اختلاف ما بین مقادیر دریافت طبقات در طبقات میانی بیشتر از سایر طبقات است. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که مقدار دریافت طبقات در مدل‌های S56، S76، S96 که در آن هسته سازه مقاوم‌سازی شده است، کمتر از دریافت سایر حالات می‌باشد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که بیشترین مقدار دریافت هم مربوط به مدل‌های S51، S72، S91 می‌باشد.

بررسی نیروی داخلی المان‌ها

در سازه‌ای که مقاوم‌سازی شده است، نیروی داخلی المان‌ها نیز کنترل می‌گردد تا از حد ظرفیت المان بیشتر نشود. مطلوبترین حالت مقاوم سازی، حالتی است که تنش در تمامی المان‌ها کمتر از تنش حد ظرفیت المان باشد. یعنی تمامی المان‌ها از نظر کنترل نیرو جوابگو باشند. از اینرو در این تحقیق نیز، مقدار نیروی داخلی ستون‌ها و تیرها برای حالت‌های مختلف استفاده از FRP بصورت جداگانه برای هر طبقه مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌ای از نتایج برای نیروی ستون‌ها و تیرها در اشکال زیر آورده شده است.



شکل ۱۳ نیروی داخلی ستون طبقه سوم در حالت‌های مختلف استفاده از FRP (kgf-m)

نتیجه گیری

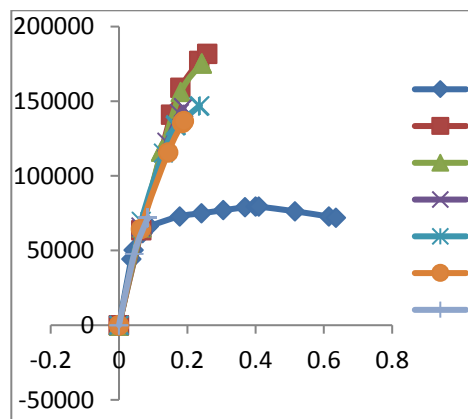
بحث اقتصاد در طرح‌های عمرانی یکی از اساسی‌ترین مباحث می‌باشد. سنجش هر طرح علاوه بر مسائل ایمنی، به مسائل اقتصادی طرح نیز وابسته است. از اینرو این بحث در کارهای مقاوم‌سازی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. لذا در این تحقیق نیز که از FRP برای جبران ضعف سازه‌های مختلف بتنی استفاده شده است، حالت‌های مختلف مقاوم‌سازی بصورتی که طرح اجرایی و عملی باشد، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. لازم به توضیح است در هر حالتی که المان‌ها تقویت شده‌اند، سطح عملکرد سازه‌ها نیز بصورت قابل قبولی تامین شده و سازه از نظر عملکرد معیارهای پذیرش را برآورد می‌سازد. نتایج حاصل از مقاوم‌سازی سازه فوق را در حالت‌های مختلف می‌توان به نتایج زیر اشاره نمود:

۱- تقویت المان‌های داخلی سازه (هسته سازه)، کمترین مقدار FRP مصرفی را به خود اختصاص داده است. بطوری که در این حالت‌های مقاوم‌سازی، تمامی المان‌های مقاوم جانبی سطح عملکرد مورد نظر را تامین نموده است.

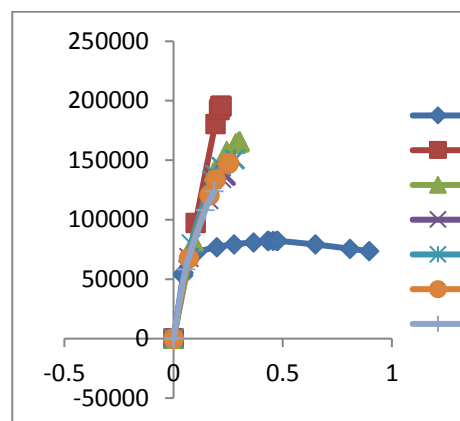
۲- مقدار برش پایه در حالتی که کل سازه تقویت شده و همچنین حالتی که قاب‌های پیرامونی تقویت شده‌اند، بیشتر از سایر حالات بوده و در حالتی که فقط هسته سازه تقویت شده‌اند، کمترین مقدار را دارند.

۳- مقدار دررفت طبقات نیز در حالت تقویت هسته سازه کمتر از سایر حالات مقاوم‌سازی بوده و بیشترین مقدار دررفت نیز مربوط به حالتی بود که قاب‌ها بصورت یک درمیان تقویت شده بودند.

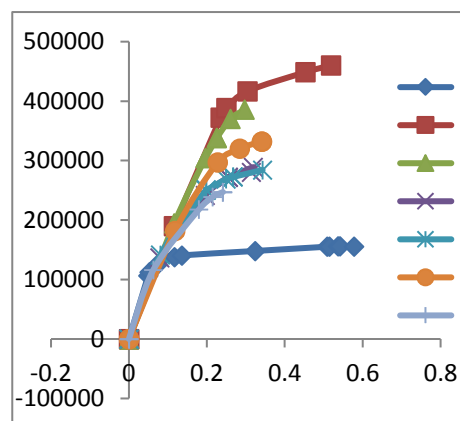
۴- مقدار نیروی داخلی المان‌ها نیز در حالت تقویت هسته سازه، کمتر از سایر حالات استفاده از FRP در تقویت سازه مورد بررسی در این تحقیق بوده است.



شکل ۱۵ نمودارهای پوش مدل ۵ طبقه



شکل ۱۶ نمودارهای پوش مدل ۷ طبقه



شکل ۱۷ نمودارهای پوش مدل ۹ طبقه

نتایج نشان می‌دهند که در حالت استفاده از FRP مقدار برش پایه قابل تحمل سازه افزایش یافته و سازه می‌تواند آستانه تحمل بیشتری را برای تحمل نیروهای جانبی داشته باشد. همچنین بر اساس نتایج فوق می‌توان گفت که قابلیت جذب انرژی در سازه‌های تقویت شده با FRP نسبت به سازه‌ی بدون FRP بیشتر بوده و سازه می‌تواند در مقابل نیروهای وارده شکل‌پذیری بیشتری را از خود نشان دهد.

- 14- Ferracuti, B., Savoia, M., Pinho, R. and Francia, R., Pushover analysis of FRP retrofitted RC frame. Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 2006.
- 15- Elwood, K., Eberhard, M., Effective stiffness of reinforced concrete columns, *ACI Structural Journal*, Vol: 106 (4) , 2009.
- 16- Lam, L., Teng, J., Design-oriented stress-strain model for FRP- confined concrete in rectangular columns. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2003, PP 1149-1186.
- 17- Cho, C.G., Kwon, M., Nonlinear failure prediction of concrete composite columns by a mixed finite element formulation. *Engineering Failure Analysis*, 2011.
- 18- Yuan, X., Analysis and behaviour of FRP-confined short concrete columns subjected to eccentric loading, *Journal of Zhejiang University- Science A*, 9(1) , 2008, PP 38-49.
- 19- Rocca, S., Galati, N., Nanni, A., Interaction diagram methodology for design of FRP-confined reinforced concrete columns. *Construction and Building Materials*, 23 (4) 2009, PP 1508-1520.

مراجع

- ۱- دریا بیگی، س و همکاران ، تقویت و بهسازی سازه‌های بتنی با مصالح FRP مفاهیم و کاربرد، انتشارات علم و ادب، ۱۳۹۰.
- ۲- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (۲۸۰۰ ویرایش چهارم) ، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.
- ۳- نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ، راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان‌های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP ، ۱۳۸۵.
- ۴- نشریه شماره ۳۶۰ ، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان های موجود، ۱۳۹۲.
- 5- ACI 440. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures, Reported by ACI Committee 440 U.S. 2002.
- 6- Savoia, M., Barbara, N., Considerations about non linear static analysis a reinforced concrete frame retrofitted with FRP, *Mecaniaca Computacional Argentina*, 2010, page 10173-10182.
- ۷- خالو، ع، تقویت سازه‌های بتن مسلح با کامپوزیت FRP، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۷.
- ۸- مستوفی نژاد، د، سعادت‌مند، ح، پیش بینی رفتار بتن محصور در کامپوزیت FRP به روش اجزای محدود، نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۶ ، شماره ۲ ، جلد ۱۸ صفحه ۶۴-۵۵.
- 9- FEMA 356, Pre-standard for the Seismic Rehabilitation of Buildings, U.S. 2000.
- 10- zarandi, S., maheri, M., , Seismic performance of RC frames retrofitted by FRP at joints using a flange-bonded scheme, *IJST, Transactions of civil Engineering* Vol. 39; No. CI, 2015, PP 103-123.
- 11-Asaei, M., liang lau, T., Modeling FRP-confined RC Columns using SAP2000, *World applied sciences journal* 27, 2013, PP 1717-1736.
- 12- Kachlakev, D., Miller, T., Finite element modeling of reinforced concrete structures strengtgened with FRP laminates, Oregon Department of Transportation Research Group200 Hawthorne SE, Suite B-240Salem, 2001.
- 13- Ferracuti, B. and Savoia, M., Cyclic behaviour of FRP-wrapped columns under axial and flexural loadings. Proceedings of the International Conference on Fracture, Turin, Italy, 2005.

Simulation and Evaluation of Seismic Performance of Concrete Structures Reinforced with CFRP Fibers Based on Nonlinear Static Analysis

Kamiar Mahboubi

School of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shabestar Branch, Shabestar, Iran.

Mohammad Saberi

Assistant of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shabestar Branch, Shabestar, Iran.

Abstract

More than a decade, the issue of improving the quality of building engineering knowledge infrastructure is considered as one of the most important cases. Deterioration and loss of columns and decks of bridges, beams, columns, walls of buildings are attributed to some cases such as the age of the structure, environmental destructive factors, weak design or implementation and also change of structures' usage, and procedures of the old regulations or events such as earthquake. On the other hand, strengthening the location of the implementation of reinforced concrete structures is not usually taken into consideration. Therefore, strengthening the proper location of the structure and increasing the structural strength and reducing the cost of retrofitting have been of great importance to the attention of various researchers. The main purpose of this study is to investigate reinforced concrete structures in various modes of reinforcement of elements using FRP fibers. For this purpose, at first, three concrete structures with 5, 7 and 9 stories were designed according to the 2800 seismic regulations in SAP 2000 software and were subjected to static nonlinear analysis for which overlapping analysis has been carried out with a reverse triangular loading pattern. This structure is reinforced so that it can use the maximum structural capacity and also the columns enter the nonlinear stage after the beams. In the next step, we consider the structure in various ways such as strengthening the entire structure, reinforcing the frames, reinforcing the elements separately, strengthening the external frame of the structure, strengthening the internal frames (structural core), etc., so that through extracting the base cutting, floor drainage, the internal force of the elements and the amount of FRP consumed, we obtain the most optimal method for reinforcing the structure, which provides the functional level of LS safety with reinforcement by FRP.

Key words: Reinforcement, CFRP fibers, Modeling, Seismic performance