



بررسی عملکردن لرزه‌ای قابهای بتن مسلح تقویت شده با FRP

احمدشوستری^۱، محمدبیات^۲

۱- استاد یارداد انشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد

تلفن^۱: ۰۵۱۱-۸۸۱۵۱۰۰(۶۰۳)، پست الکترونیکی: ashoosht@ferdowsi.um.ac.ir

تلفن^۲: ۰۹۱۵۵۲۵۸۳۳۷، پست الکترونیکی: mdbayat@yahoo.com

خلاصه

یکی از روش‌های بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بتی استفاده از پوشش FRP در نواحی با پتانسیل مفصل شدن است. محصورسازی اجزاء سازه با FRP باعث افزایش ظرفیت باربری و همچنین افزایش شکل پذیری سازه می‌گردد. وقتی بتن با استفاده از این نوع پوشش محصور می‌گردد، رفتار آن تغییر کرده و منحنی تنش-کرنش آن مقاومت خواهد بود، که مدل‌های مختلفی در این زمینه ارائه شده است. در این پژوهش قابهای بتن مسلح که با پوشش‌های FRP تقویت شده اند با نظرگرفتن پارامترهای مختلفی از قبیل جنس و ضخامت صفحات، میزان و شکل محصور شدگی، مقاومت فشاری هسته بتنی و در نهایت مدل تنش-کرنش بتن محصور شده، با کمک نرم افزار اجزاء محدود Seismostruct مدل سازی شده اند و تأثیر میزان و شکل محصور شدگی بر عملکردن لرزه‌ای آنها قبل و بعد از تقویت مورد ارزیابی قرار گرفته است. با بررسی و مقایسه نتایج این تحلیل مشاهده می‌شود استفاده از پوشش FRP در بهسازی و تقویت سازه‌های، شکل پذیری و ظرفیت باربری سازه را به میزان قابل ملاحظه ای افزایش و تغییر مکان حد اکثر بالغ بر 50 درصد کاهش می‌دهد که نقش شایانی در کاهش آثار مخرب بارگذاری لرزه‌ای دارد.

کلمات کلیدی: محصور شدگی، FRP، عملکردن لرزه‌ای، بهسازی لرزه‌ای، شکل پذیری.

۱. مقدمه

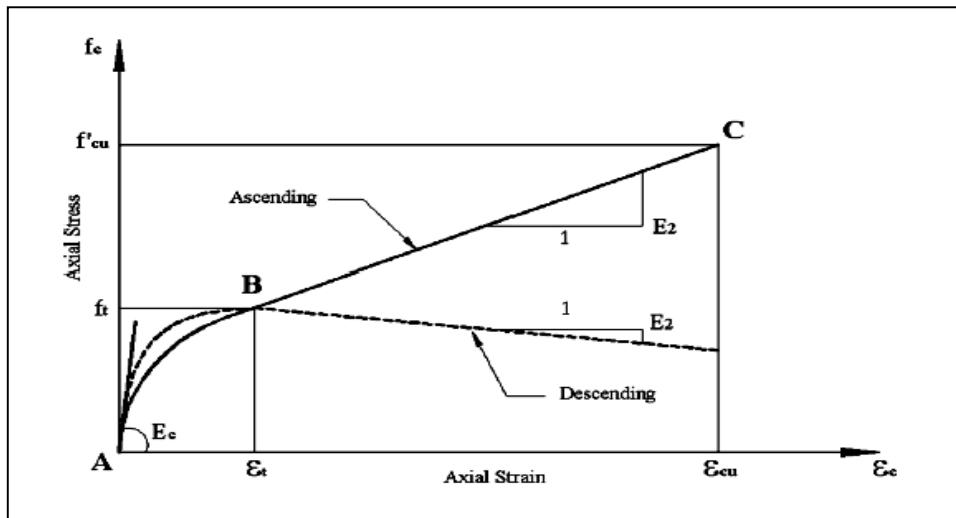
امروزه تقویت و بهسازی سازه‌های موجود بخش اعظم فعالیتهای ساختمانی را به ویژه در کشورهای پیشرفته تشکیل می‌دهد. به عنوان مثال بیش از 200000 پل در آمریکای شمالی وجود دارد که نیاز به تقویت دارند و این میزان حدود 40 درصد پلهای موجود منطقه را تشکیل می‌دهد. وجود ضعف اولیه در طراحی و اجرا، تغییر کاربری برخی سازه‌ها و افزایش بارهای وارده و همچنین کاهش سطح عملکرد سازه‌های بتن مسلح به علت گذشت زمان و زوال بتن از دلایل نیاز به بهسازی و تقویت سازه‌های بتن مسلح می‌باشد [۱]. روش‌های مختلفی جهت مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح وجود دارد که در این بین استفاده از پوشش FRP یکی از بهترین و موثرترین روش‌هاست. از علل این امر می‌توان مقاومت کششی بسیار زیاد FRP، مقاومت آن در برابر خوردگی، وزن کم، سهولت و سرعت اجرا و تأثیر آن در افزایش قابل ملاحظه شکل پذیری سازه را نام برد.

در سال 1906 میلادی نخستین مطالعات پیرامون تأثیر محصور شدن بتن در بیهوده باربری آن توسط کنسایدر صورت پذیرفت [۲]. محصورسازی اجزا بتن مسلح با پوشش پیرامونی FRP باعث بهبود رفتار تنش-کرنش بتن و افزایش مقاومت، سختی و کرنش نهایی آن می‌گردد که در نهایت باعث بهبود

عملکرد لرزه ای سازه خواهد شد. در پژوهش حاضر با بررسی مدل‌های مختلف تنش - کرنش بتن محصور شده با FRP، یک مدل که بیشترین انطباق را با نتایج آزمایشگاهی داشته و رفتار واقعی تری ارائه می‌کند، انتخاب گردیده است. درادامه چهار قاب بتن مسلح در حالت بدون تقویت و تقویت شده با FRP مورد بررسی قرار گرفته اند. برای انجام تحلیل لرزه ای از نرم افزار Seismostruct [3] که قابلیت درنظر گرفتن خصوصیات FRP را دارا می‌باشد، بهره برده ایم. تأثیر پوشش FRP در نوایح اتصال تیر و ستون و آرایش صفحات FRP بر عملکرد لرزه ای سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است که درادامه به صورت مشروح ذکر خواهد شد.

2. مدل تنش - گرفش بتن محصور شده

تاکنون مدل‌های زیادی برای ارائه رفتار تنش - کرنش بتن محصور شده با FRP ارائه شده است. اکثر این مدل‌ها با آزمایش برروی نمونه‌های استوانه‌ای و ستونهای بامقطوع دایره به دست آمده اند و برای سازه‌هایی که از اجزاء بامقطوع دایره ساخته شده اند مناسب می‌باشند. بررسیهای محققان از جمله حسن و چعال [4] و لم و تنگ [5] نشان می‌دهد رفتار تنش - کرنش ستونهای بامقطوع مستطیلی و محصور شده با FRP باستونهای دایره ای تفاوت دارد و استفاده از روابط ستونهای دایره ای برای ستونهای بامقطوع مستطیل با خطا همراه خواهد بود. درستونهای مستطیلی علاوه بر مشخصات FRP و مقدار آن، شکل مقطع ستون و شعاع گوشه‌های مقطع نیز در رفتار تنش - کرنش بتن محصور شده مؤثرند و مدلی برای این ستونهای مناسب است که این پارامترها را لحاظ کرده باشد. یوسف و همکاران [6] در سال 2006 با آزمایش‌هایی که روی بیش از 87 نمونه بتنی مختلف انجام دادند روابطی را برای پیش‌بینی رفتار تنش - کرنش ستونهای مستطیلی محصور شده با FRP ارائه کردند. در این روابط پارامترهایی نظریه‌جنس و مدول الاستیسیته صفحات FRP، ضخامت صفحات FRP، ابعاد مقطع، مقاومت هسته بتنی و شعاع گوشه‌های مقطع در نظر گرفته شده است. شکل (1) این مدل را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل 1- مدل کلی تنش - کرنش ارائه شده برای بتن محصور شده توسط یوسف و همکاران [6].

محاسبه ε_t و f_t :

$$\frac{f_t}{f'_c} = 1.0 + 1.1350 \left(\frac{\rho_j E_j \varepsilon_{jt}}{f'_c} \right)^{\frac{5}{4}} \quad (1)$$



$$\varepsilon_t = .002 + .0775 \left(\frac{\rho_j E_j \varepsilon_{jt}}{f'_c} \right) \left(\frac{f_{ju}}{f'_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

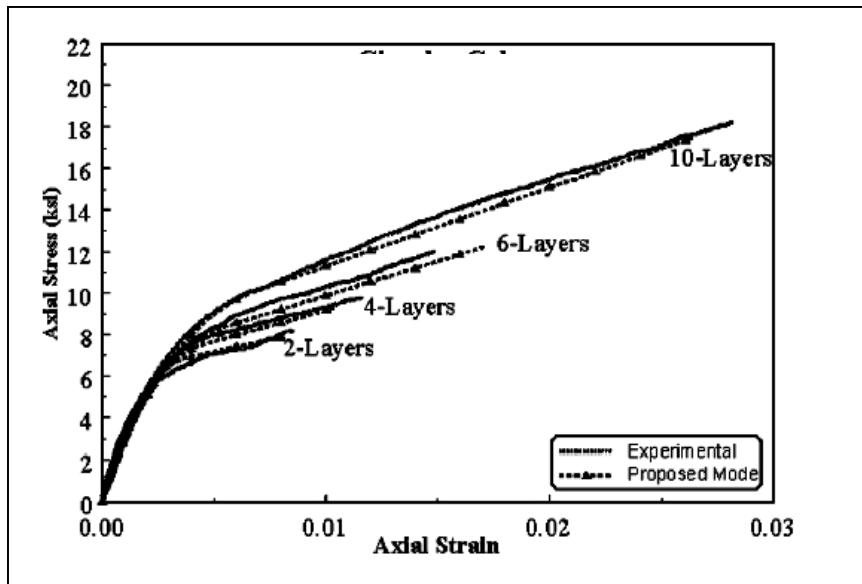
دروابط فوق f_t تنشی است که در آن پوشش‌های FRP در اثر انساط عرضی بتن کاملاً تحت کشش قرار گرفته و فشار محصور شدگی به بتن اعمال می‌کنند. ε_t کرنش متناظر با این نقطه است. f'_c مقاومت هسته بتنی (ksi)، E_j مدول الاستیسیته FRP و ρ_j درصد حجمی FRP و کرنش FRP می‌باشد.

محاسبه تنش و کرنش نهایی بتن محصور شده:

$$\frac{f'_{cu}}{f'_c} = 0.5 + 1.225 \left(\frac{f'_{lu}}{f'_c} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{cu} = .004325 + 0.2625 \left(\frac{f'_{lu}}{f'_c} \right) \left(\frac{f_{ju}}{f'_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

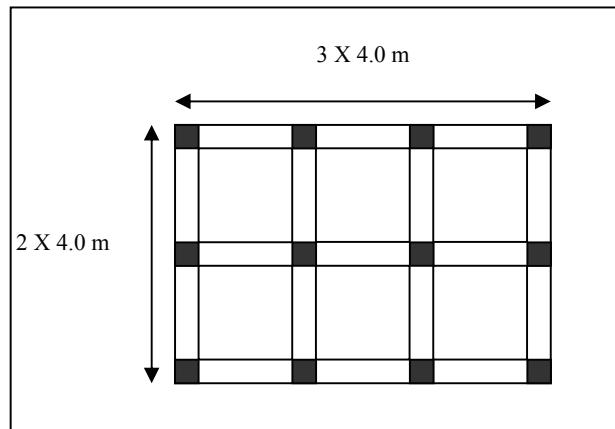
دروابط فوق f'_{cu} تنش نهایی بتن محصور شده (ksi)، ε_{cu} کرنش نهایی بتن محصور شده، f_{ju} مقاومت کششی FRP و f_{lu} تنش جانبی ایجاد شده از صفحات FRP در لحظه گسیختگی می‌باشد. شکل (2) مقایسه این مدل و نتایج آزمایشگاهی را نشان می‌دهد که مشاهده می‌شود دقت بسیار بالایی دارد.



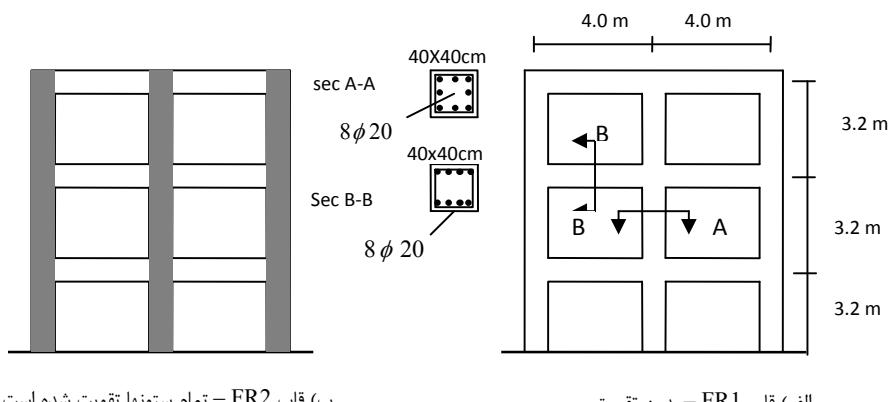
شکل 2 - مقایسه مدل تنش - کرنش یوسف و همکاران با نتایج آزمایشگاهی [6].

3. قابهای مورداستفاده در تحلیل

ساختمان 3 طبقه‌ای که دارای پلان نشان داده شده در شکل (3) می‌باشد با استفاده از ضوابط تحلیل لزه‌ای استاندارد 2800 و آین نامه طراحی سازه‌های بتی ایران [7] تحلیل و طراحی شده است. سپس یک قاب میانی از این سازه استخراج و مطابق شکل (4) نامگذاری و با آرایشهای مختلفی از صفحات FRP تقویت شده است.

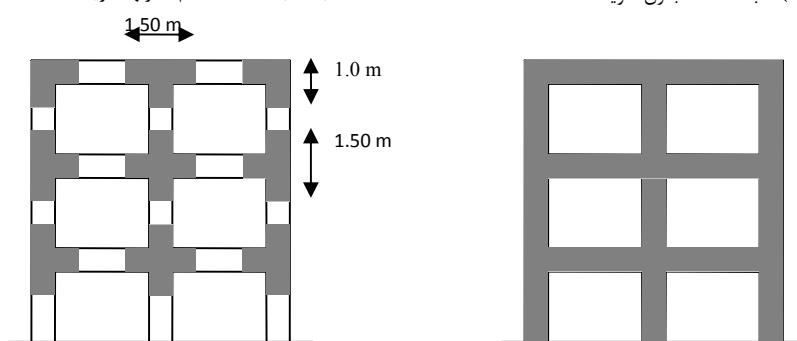


شکل 3 - پلان ساختمان طراحی شده.



ب) قاب FR2 - تمام ستونها تقویت شده است.

الف) قاب FR1 - بدون تقویت



ت) قاب FR4 - محل اتصال تیرهای ستونها تقویت شده است.

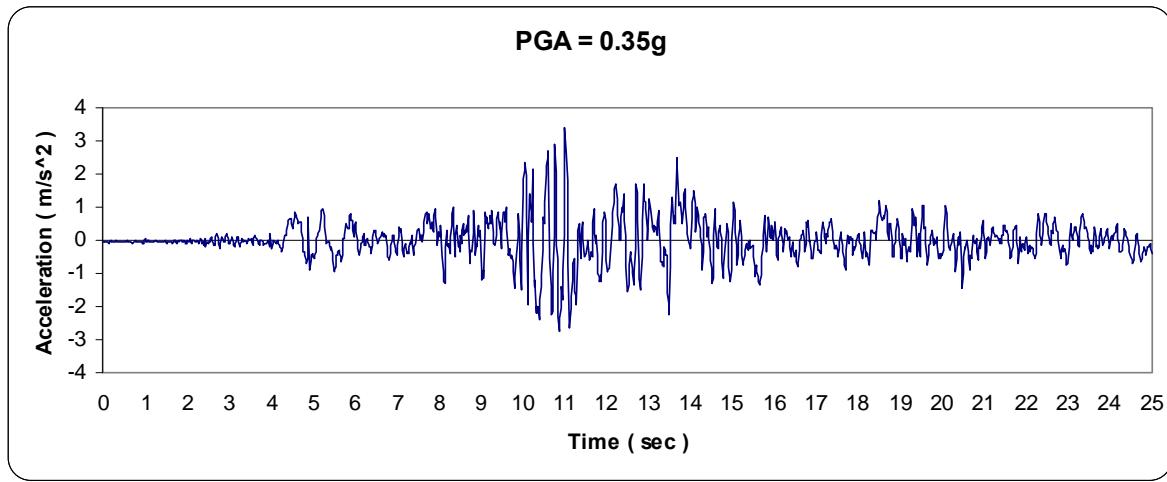
پ) قاب FR3 - همه تیرهای ستونها تقویت شده است.

است.

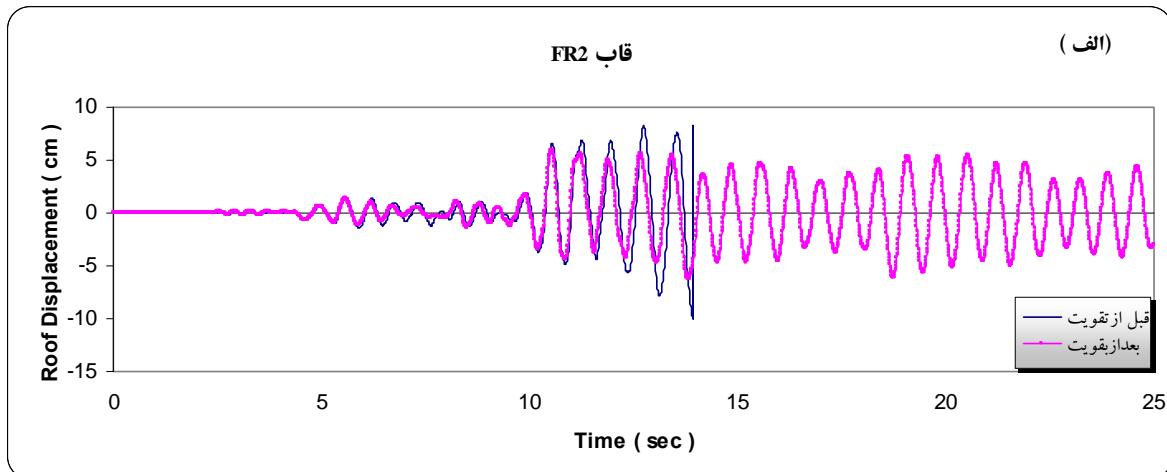
شکل 4 - مشخصات قابهای مدل سازی شده.

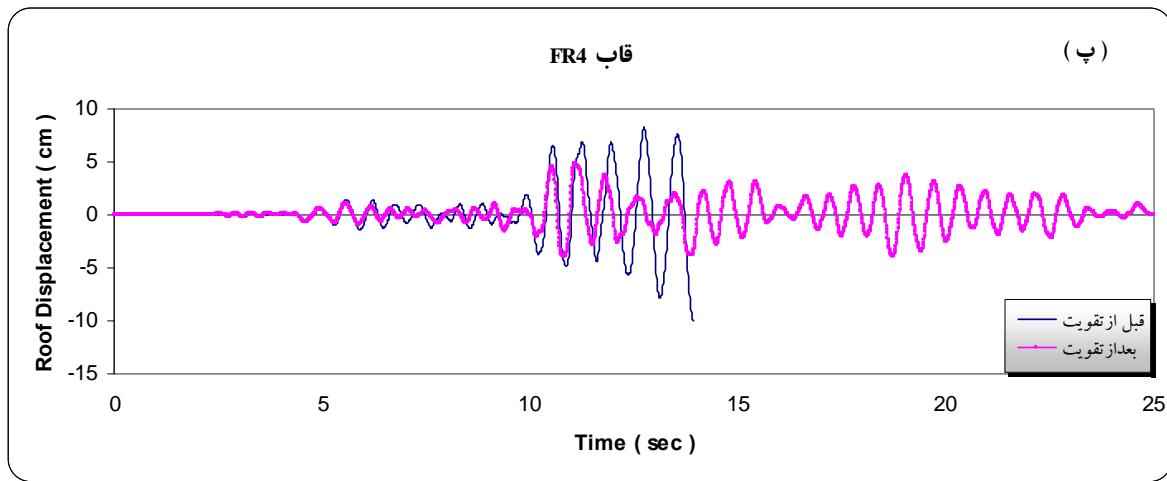
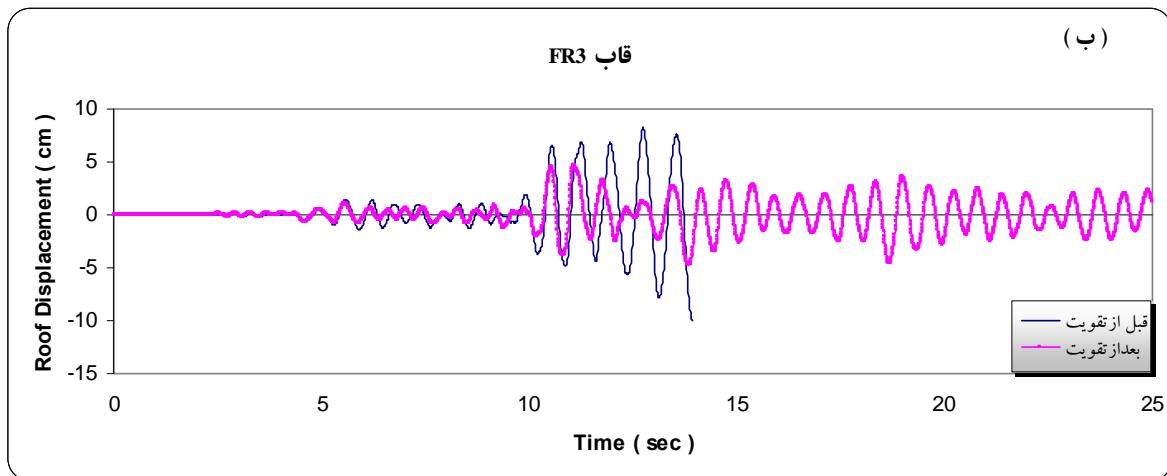
لازم به ذکر است مدول الاستیسته صفحات که از نوع CFRP هستند برابر 230 GPa مقاومت کششی آنها 3200 Mpa و درصد حجمی آن در مقاطع 1 درصد می باشد. شعاع گوشه ستون های مربعی 25 میلی متر می باشد. میلگرد ها از نوع آجدار AIII با تنش تسلیم $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$ و $f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$ می باشد.

در شکل 4-الف قاب بتون مسلح FR1 بدون تقویت می باشد. در شکل 4-ب همه ستون های قاب FR2 در تمام ارتفاع خود با پوشش FRP تقویت شده اند. در قاب FR3 همه تیرها و ستون ها در طول خود با صفحات FRP تقویت شده اند. در قاب FR4 فقط در نواحی با پتانسیل مفصل شدن در محل اتصال تیرها و ستون های از صفحات FRP جهت تقویت تیر و ستون استفاده شده است. جزئیات آرماتور گذاری در شکل 4 آورده شده است. این قاب ها در نرم افزار Seismostruct مدل سازی شده و باعمال شتاب نگاشت زلزله طبیعی که حداقل شتاب آن به $0.35g$ محدود شده است، تحلیل دینامیکی غیر خطی روی آنها انجام می شود. تغییر مکان حداقل شتاب در قابهای (4-الف) تا (4-پ) نمایش داده شده است.



شکل 5 - شتاب نگاشت زلزله طبیعی مقياس شده برای شتاب حداقل $0.35g$

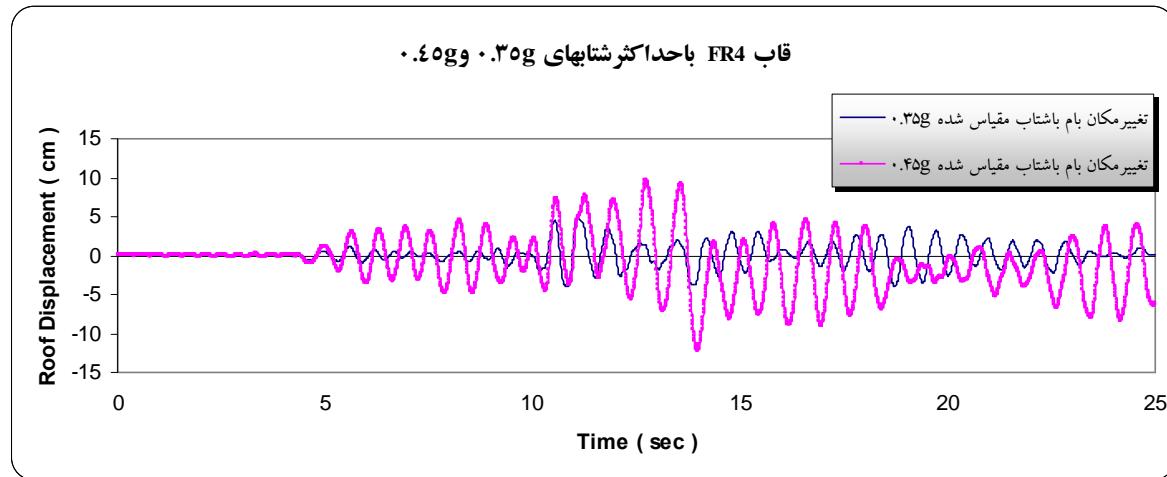




شکل 6- تغییرمکان بام در قابهای الف (FR2) (پ) قاب FR3 و پ (پ) قاب FR4 قبل و بعد از تقویت.

4. بررسی نتایج تحلیل

با تشکیل مفصل پلاستیک درستونها و اتصالات و گسترش آنها درنهایت سازه ناپایدار شده و تخریب می‌گردد. همان طور که نتایج تحلیل نشان می‌دهد، قاب تقویت نشده FR1 مقاومت کافی دربرابرین زلزله نداشته و تخریب می‌گردد اما سایر قابها که تقویت شده اند از مقاومت کافی برخوردار هستند و تغییرمکان اجزای سازه در آنها به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. قاب FR3 و FR4 عملکردهای مطلوبی از خودنشان می‌دهند. باید توجه نمود که در قاب FR4 فقط اتصالات تقویت شده اند و میزان مصالح به کار گرفته برای تقویت، نسبت به قاب FR3 که تمام تیر و ستونهای آن تقویت شده اند حدود 40 درصد می‌باشد. بدین منظور قاب FR4 مجدداً با شتاب نگاشت طبس، ولی با حداقل شتاب 0/45g مورد تحلیل قرار گرفته است. شکل (7) مقایسه تغییرمکان این قاب در دو حالت اعمال شتاب حد اکثر 0/45 g و حد اکثر 0/35 g را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود اگرچه تحت زلزله شدیدتر تغییرمکانهای سازه افزایش یافته اما سازه همچنان پایدار مانده و نیروی زلزله را تحمل کرده است.



شکل 7- تغییر مکان بام قاب تقویت شده FR4 در دو حالت شتاب حداقل ۰/۳۵g و ۰/۴۵g

در جدول (1) خلاصه نتایج به دست آمده از تحلیل دینامیکی غیر خطی قابها درج شده است.

جدول 1- خلاصه نتایج تحلیل قابها.

ردیف	نام قاب	نحوه تقویت	حداکثر شتاب اعمالی (g)	حداکثر تغییر مکان (بام) (cm)	حداکثر برنش پایه (kN)	درصد کاهش تغییر مکان بام
1	FR1	بدون تقویت	0/35g	10/1	375	—
2	FR2	تمام ستون ها	0/35G	6/3	360	38
3	FR3	تمام تیرها و ستونها	0/35G	4/56	300	55
4	FR4	محل اتصال تیرها و ستونها	0/35G	4/82	323	52
5	FR4	محل اتصال تیرها و ستونها	0/45g	12/2	387	—

مشاهده می شود مقاوم سازی با استفاده از FRP در تمام قابهای اباعث کاهش تغییر مکانهای سازه و افزایش ظرفیت باربری گردیده است. اما این تاثیر در همه حالات به یک میزان نیست. در حالی که فقط ستونها در تمام طول خود با تکنیک محصور سازی تقویت شده اند تغییر مکان حداکثریام سازه تنها 38 درصد کاهش پیدا کرده است. اما در قاب FR3 که تمام تیرها و ستونها با FRP تقویت شده اند کاهش تغییر مکان بام به 55 درصد رسیده است که بسیار قابل توجه است. در قاب FR4 هیچ کدام از اجزاء سازه در تمام طول خود محصور نشده اند و فقط در محل اتصال تیر و ستون تقویت انجام شده است. در این حالت تغییر مکان حداکثریام 52 درصد کاهش یافته است که تقریباً با حالتی که در آن تمام تیرها و ستونها تقویت شده بودند برابر است. این پدیده بیانگراین نکته است که با ترتیب آرایش مناسب صفحات FRP در تقویت سازه، می توان علاوه صرفه جویی در میزان FRP به کار رفته، نتیجه مطلوب و بهینه را در مقاوم سازی به دست آورد. ضمناً ملاحظه می شود استفاده از FRP در محل اتصال تیر و ستون که احتمال ایجاد مفصل پلاستیک وجود دارد روش مؤثری جهت مقاوم سازی است.



5. نتیجه گیری

یکی از مؤثرترین روش‌های مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح استفاده از پوشش FRP جهت محصور کردن اجزاء سازه می‌باشد. علاوه بر جنس و مقدار FRP به کاررفته در مقاوم سازی، شکل و آرایش استفاده از آن نیز در میزان اثربخشی تکنیک‌های مقاوم سازی مؤثر است. در این پژوهش با بررسی آرایش‌های مختلف محصور سازی با FRP مشاهده گردید اقتصادی ترین حالت مقاوم سازی با FRP هنگامی است که محل اتصال تیروستونها و نواحی با پتانسیل مفصل شدن مورد تقویت قرار گیرد. استفاده از تکنیک محصور سازی علاوه بر مقاومت، شکل پذیری سازه را نیز افزایش می‌دهد و سازه می‌تواند حتی در برابر زلزله‌های شدید پایدار بماند. در این پژوهش سازه‌ای که با عمال شتاب نگاشت زلزله طبیعی با شتاب حداقل $0/35g$ تخریب شد، با بهسازی با FRP در برابر همان زلزله با حداقل شتاب $0/45g$ اعمال شد، پایدار ماند. همچنین با استفاده از محصور سازی می‌توان تغییر مکان حد اکثر راتا 50 درصد کاهش داد.

6. مراجع

- Shamim, A. and Sheikh, A. and Yau, G., (2002), "Seismic Behavior of Concrete Columns Confined With Steel and Fiber Reinforced Polymers," ACI Structural Journal, Vol. 99, No. 1, pp 72-80.
- Seismostructure Program, Version 4.0.3, WWW.Seismosoft.com
- Lorenzis, L. and Tepfers, R., ASCE (2003), "Comparative Study of Models on Confinement of Concrete Cylinders With Fiber-Reinforced Polymer Composites," Journal of Composites for Construction, Vol. 7, No 3, pp 219-237.
- Hassan, M. and Chaallal, O., (2007), "Fiber-Reinforced Polymer Confined Rectangular Columns : Assessment of Models and Design Guidelines," ACI Structural Journal, Vol. 104, No. 6, pp 693-702.
- Teng, J.G. and Lam, L., ASCE(2002), "Compressive Behavior of Carbon Fiber Reinforced Polymer-Confining Concrete in Elliptical Columns," Jouanal of Structural Engineering, Vol. 128, No. 12, pp 1535-1543.
- Youssef, M.N. and Feng, M.Q. and Mossallam A.S., (2007), "Stress-Strain Model for Concrete Confined By Composites," Jouanaj of Composites, Part B 38, pp 614-628.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، 1383، "آین نامه بتن ایران (آب)" ، تجدید نظر اول، ویرایش سوم، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پژوهشی، مرکز مدارک علمی و انتشارات.