



## بررسی شکل‌پذیری و رفتار لرزه‌ای ساختمانهای بتن مسلح با اعضای محصور شده با FRP

احمد شوشتری، محمد بیات

استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

کارشناس ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد

[ashoosht@um.ac.ir](mailto:ashoosht@um.ac.ir)  
[mdbayat@yahoo.com](mailto:mdbayat@yahoo.com)

### خلاصه

یکی از تکنیک‌های مقاوم سازی، پوشش محیط پیرامونی اعضای بتنی به ویژه ستونها با استفاده از صفحات FRP می‌باشد که این صفحات مانند میلگردهای عرضی عمل کرده و باعث ایجاد فشار محصور شدگی در بتن و افزایش مقاومت آن می‌گردند. این روش که در آن صفحات FRP در جهت عرضی به دور عضو بتنی پیچیده می‌شوند اصطلاحاً محصور سازی نامیده می‌شود و باعث تغییر رفتار بتن و در نتیجه تغییر رفتار سازه می‌گردد. بر این اساس در این پژوهش ابتدا با رفتار بتن محصور شده با FRP آشنا شده و عملکرد آن تحت بارگذاری یکنوا و همچنین بارگذاری سیکلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس مدل‌های مختلف ارائه شده برای بیان این رفتار ارزیابی می‌شوند. در ادامه جهت بررسی نحوه اثر گذاری بتن محصور شده با FRP در رفتار لرزه‌ای سازه‌های بتنی متداول، چندین ساختمان بتن مسلح که بر اساس آیین‌نامه ایران طراحی شده‌اند در حالت‌های مختلف با و بدون تقویت با FRP مورد ارزیابی قرار گرفته و رفتار لرزه‌ای آنها با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی بررسی می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد محصور سازی با FRP شکل‌پذیری سازه و قابلیت استهلاک انرژی سازه را به میزان قابل توجهی افزایش داده و در زلزله‌های شدید می‌تواند از فروپاشی سازه جلوگیری کند و بهترین حالت کاربرد آن در نواحی اتصالات تیر و ستون می‌باشد.

کلمات کلیدی: FRP، محصور سازی، رفتار لرزه‌ای سازه، ساختمان بتن مسلح، بهسازی لرزه‌ای.

### ۱. مقدمه

امروزه تقویت و بهسازی سازه‌های موجود بخش اعظم فعالیت‌های ساختمانی را به ویژه در کشورهای پیشرفته 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 می‌باشند [1]. روش‌های مختلفی جهت مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح وجود دارد که در این بین استفاده از پوشش FRP یکی از بهترین و موثرترین روشها است.

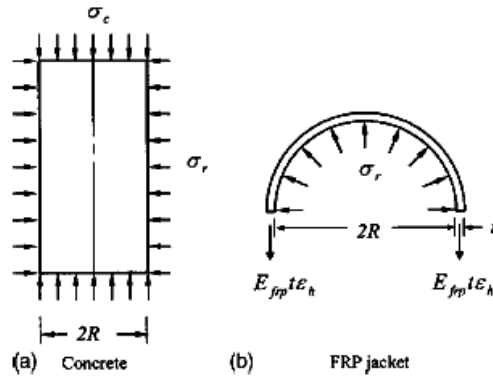
در سال ۱۹۰۶ میلادی نخستین مطالعات پیرامون تأثیر محصور شدن بتن در بهبود باربری آن توسط کنسایدر صورت پذیرفت [2]. محصور سازی اجزا بتن مسلح با پوشش پیرامونی FRP باعث بهبود رفتار تنش- کرنش بتن و افزایش مقاومت، سختی و کرنش نهایی آن می‌گردد که در نهایت باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه خواهد شد. در پژوهش حاضر، ابتدا مکانیسم محصور شدگی، رفتار بتن محصور شده و عوامل موثر بر این رفتار مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه شش ساختمان بتن مسلح پنج طبقه در حالت بدون تقویت و تقویت شده با FRP مورد بررسی قرار گرفته اند. برای انجام تحلیل لرزه‌ای از نرم افزار [3] Seismostruct که قابلیت در نظر گرفتن خصوصیات بتن محصور شده با FRP را دارا می‌باشد، بهره‌گیری شده است. تأثیر شکل‌های مختلف محصور شدگی سازه با FRP و رفتار لرزه‌ای آن با اعمال حداکثر شتابهای مختلف زمین (PGA) به سازه مورد بررسی قرار گرفته است. قبل از انجام تحلیلها به منظور بررسی و ارزیابی دقت نرم افزار در تحلیل غیرخطی ساختمانهای بتن مسلح، یک نمونه آزمایشگاهی که نتایج آن موجود می‌باشد با کمک نرم افزار مدل‌سازی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. که در ادامه به طور مشروح ذکر خواهد شد.



## ۲. رفتار تنش - کرنش بتن محصور شده با FRP

۱-۲- رفتار بتن تحت بار محوری یکنوا

در بتن محصور شده با FRP به دلیل مقاومت روپوشهای پیرامونی در برابر انبساط جانبی بتن، به این روپوشها تنش کششی و به بتن فشاری اعمال می‌شود. که این تنش فشاری جانبی باعث افزایش مقاومت فشاری بتن و همچنین کرنش نهایی آن می‌گردد. در شکل (۱) مکانیسم محصور شدگی بتن نشان داده شده است.



شکل ۱- توزیع تنش بین بتن و صفحات FRP در محصور شدگی با FRP [4].

با توجه به شکل (۱) و تعادل تنشها، تنش محصور کننده شعاعی  $\delta_r$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta_r = \frac{\delta_h t}{R} \quad (1)$$

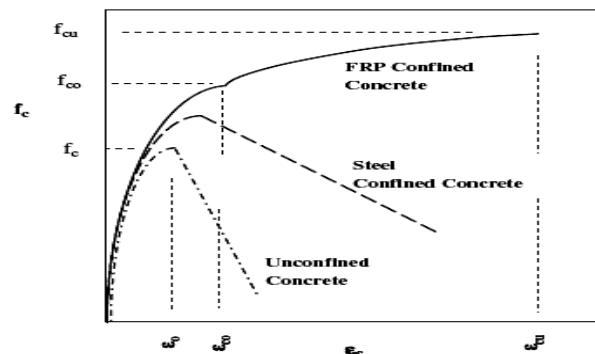
که در آن  $\delta_h$  تنش محیطی (تنش در ماده محصور کننده) و  $t$  ضخامت ماده محصور کننده و  $R$  شعاع نمونه بتنی می‌باشد. برای  $\delta_h$  می‌توان رابطه (۶-۲) را نوشت:

$$\delta_h = E_{frp} \epsilon_h \quad (2)$$

در رابطه (۶-۲)  $\epsilon_h$  کرنش محیطی ماده محصور کننده (مثلاً FRP) و  $E_{frp}$  مدول الاستیسیته آن می‌باشد. لذا تنش فشاری جانبی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta_r = \frac{\delta_h t}{R} = \frac{E_{frp} \epsilon_h t}{R} \quad (3)$$

با افزایش تنش محوری، انبساط جانبی و به تبع آن فشار جانبی محصور کننده بتن افزایش می‌یابد و این عمل ادامه می‌یابد تا این که ماده محصور کننده مقاومت باربری خود را از دست بدهد. اگر ماده محصور کننده فولاد باشد، تسلیم شده و با افزایش بار محوری، تنش محصور کننده ثابت می‌ماند و اگر ماده محصور کننده FRP باشد، گسیخته شده و تنش جانبی به صفر می‌رسد [4]. شکل (۲) به صورت شماتیک رفتار تنش - کرنش بتن معمولی و محصور شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار تنش - کرنش بتن معمولی و محصور شده با فولاد و FRP [4].



عوامل مختلفی در رفتار بتن محصور شده موثر است که از بین آنها می توان به مقدار و جنس FRP، مقاومت هسته بتنی، شکل مقطع و مقدار فولادهای عرضی به کاررفته در مقطع اشاره کرد. مدلهای مختلفی توسط محققان مختلف برای بیان رفتار با در نظر گرفتن تمام یا بخشی از پارامترهای ذکر شده ارائه شده است که از آن جمله می توان به مدل زیا او و وو [5] و مدل وو و لو [6] اشاره کرد.

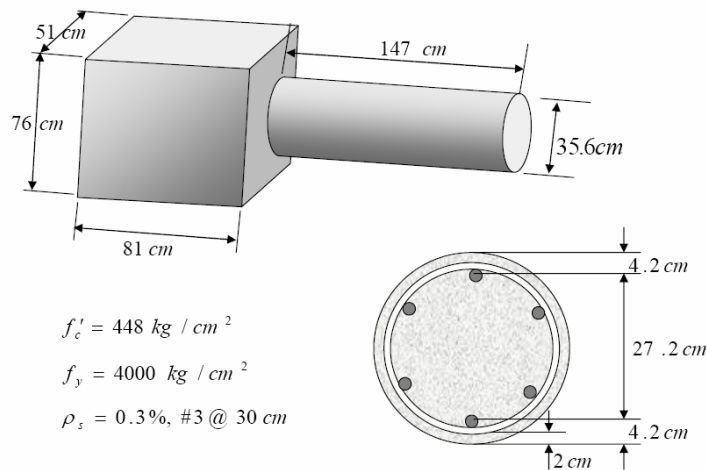
### ۲-۲- رفتار بتن محصور شده تحت بار جانبی رفت و برگشتی

آزمایشهای مختلفی برای بیان رفتار بتن محصور شده تحت بار رفت و برگشتی انجام شده است. در این آزمایشها تاثیر عوامل مختلف از جمله اثر تعداد لایه های FRP [7]، مقدار بار محوری [1] و اثر مقاومت بتن [8] در نظر گرفته شده است. نتایج کلی این آزمایشها به صورت خلاصه به شرح زیر می باشد:

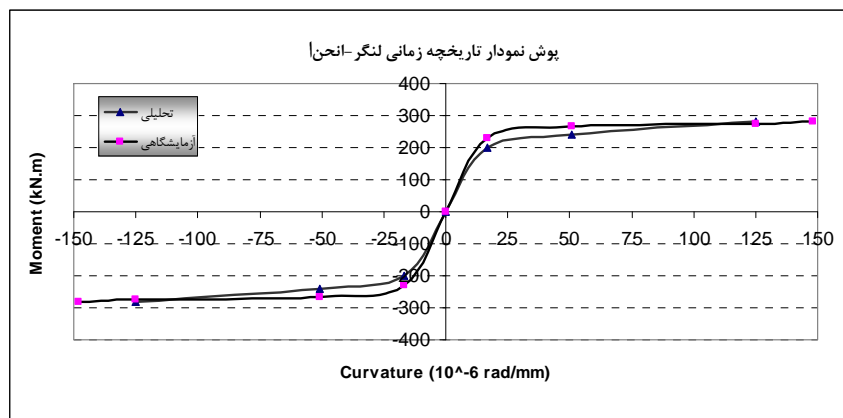
- ۱- هر چه تعداد لایه های FRP استفاده شده بیشتر باشد افزایش مقاومت ستون بیشتر خواهد بود.
- ۲- هر چه مقدار FRP استفاده شده جهت محصور سازی ستون بیشتر باشد نرمی و شکل پذیری ستون افزایش پیدا می کند.
- ۳- هر چه بار محوری ستون بیشتر باشد نرمی و شکل پذیری کمتری داشته و در اثر بار جانبی، زودتر به گسیختگی خواهد رسید.

### ۳. مدل سازی یک نمونه آزمایشگاهی با کمک نرم افزار SEISMO STRUCT و ارزیابی نتایج

در این بخش یک ستون بتن مسلح تقویت شده با FRP که در سال ۲۰۰۲ توسط شمیم و شیخ [1] مورد آزمایش قرار گرفت، مدل سازی می-شود. ابعاد و مشخصات این ستون در شکل (۳) موجود است. این ستون با استفاده از یک لایه پوشش CFRP به ضخامت ۰/۵ میلی متر در پیرامون ستون تقویت شد و الیاف کامپوزیت به صورت عرضی و عمود بر محور طولی ستون به دور ستون پیچیده شده بود. چون در ساختمانهای واقعی تمام ستونها دارای بار محوری نیز هستند، در هنگام آزمایش نیروی محوری به میزان ۲۷ درصد کل ظرفیت ستون به آن اعمال می شد.



شکل ۳- ابعاد و مشخصات ستونهای آزمایش شده توسط شمیم و شیخ [1].



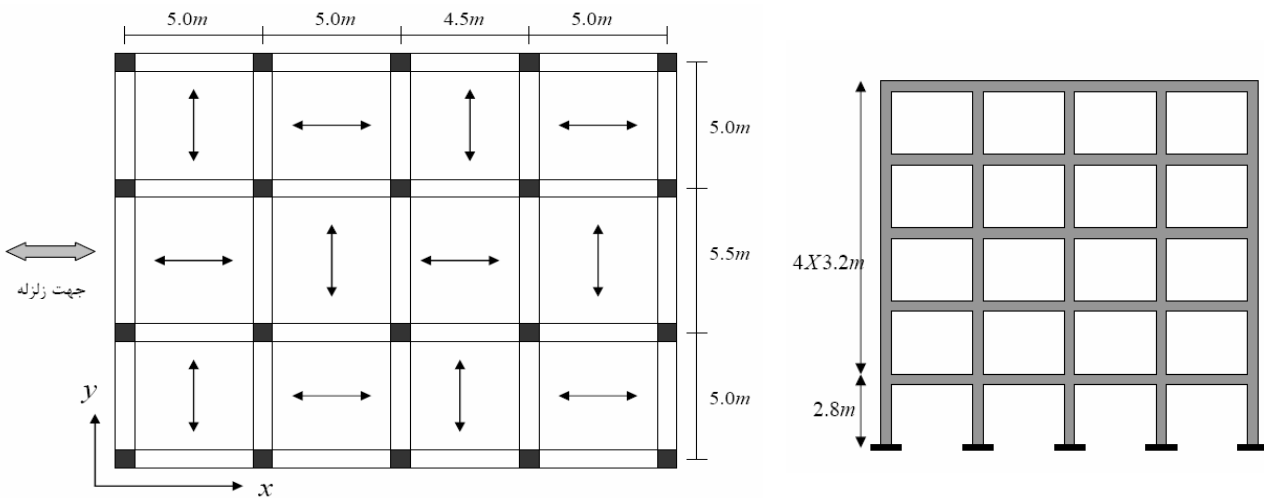
شکل ۴- پوش نمودار تاریخچه زمانی لنگر-انحنای دو حالت آزمایشگاهی و تحلیلی.



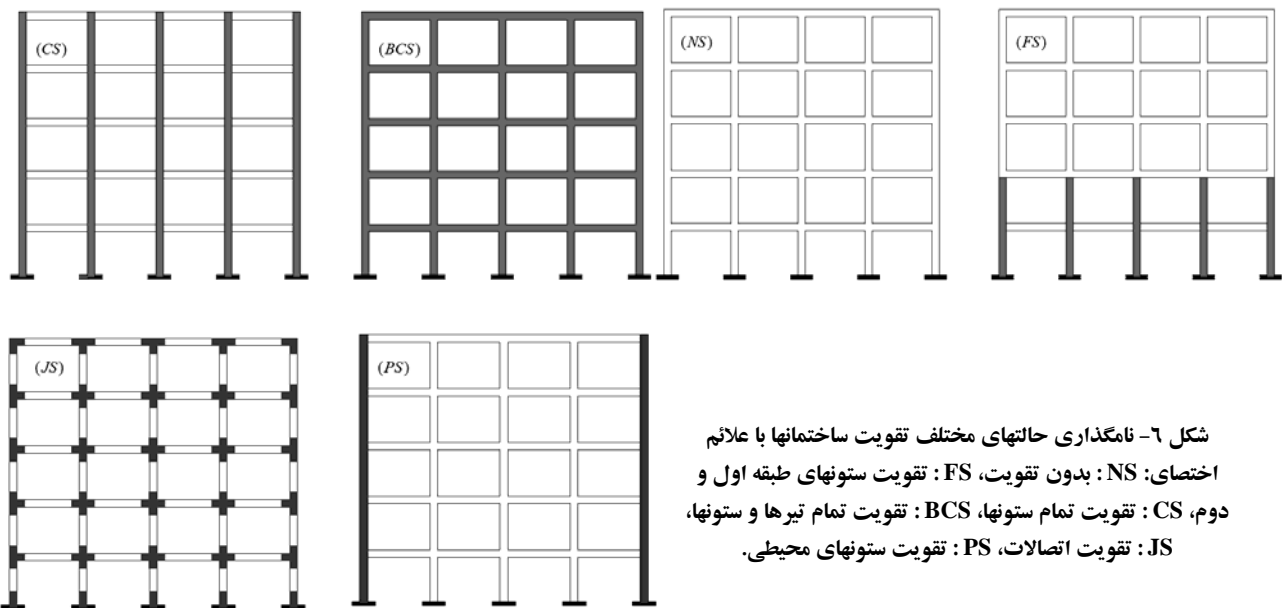
در شکل (۴) پوش نمودار تاریخچه زمانی لنگر- انحنای برای نتایج حاصل از تحلیل و نتایج آزمایشگاهی ترسیم شده است که با توجه به اینکه رفتار بتن در ناحیه غیرخطی مورد بررسی قرار گرفته و عدم قطعیت رفتار بتن به دلیل ماهیت آن، انطباق نسبتاً خوبی بین نتایج تحلیل و آزمایش مشاهده می‌گردد و نشان دهنده دقت بالای نرم افزار در مدلسازی و تحلیل بتن محصور شده با FRP می‌باشد.

#### ۴. ساختمانهای مورد بررسی

برای تحلیل سعی شده تا رفتار ساختمانهای بتن مسلح معمولی و رایج مورد بررسی قرار گیرد. به همین جهت در ابتدا یک ساختمان پنج طبقه بتنی مسلح با قاب خمشی متوسط و سقف تیرچه بلوک با ضوابط بارگذاری آیین‌نامه ۵۱۹ ایران [۹] و همچنین بارگذاری لرزه‌ای آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم [۱۰] و ضوابط آیین‌نامه طراحی ساختمانهای بتنی ایران (آبا) [۱۱] طراحی شده و سپس با حالت‌های مختلف تقویت با FRP مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل‌های (۵) و (۶) این ساختمانها نمایش داده شده است.

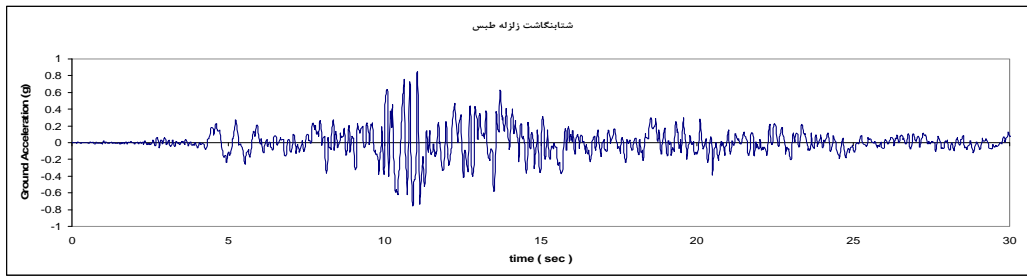


شکل ۵- پلان و نمای ساختمانهای مورد بررسی به همراه نمایش جهت تیرچه ریزی سقفها و جهت زلزله اعمالی.



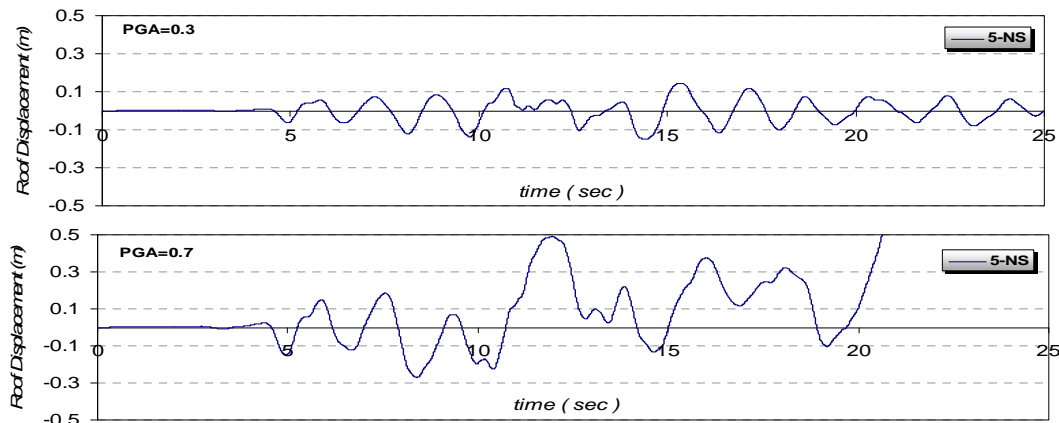
شکل ۶- نامگذاری حالت‌های مختلف تقویت ساختمانها با علائم اختصای: NS: بدون تقویت، FS: تقویت ستونهای طبقه اول و دوم، CS: تقویت تمام ستونها، BCS: تقویت تمام تیرها و ستونها، JS: تقویت اتصالات، PS: تقویت ستونهای محیطی.

در این ساختمانها با اعمال زلزله طیس (شکل (۷)) که برای مقادیر مختلف شتاب حداکثر زمین (PGA) مقیاس شده است تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام می‌شود. خروجیهای تحلیل شامل تغییر مکان حداکثر بام، برش پایه، نمودار تاریخچه زمانی تغییر مکان حداکثر بام- برش پایه، تغییر مکان حداکثر طبقات، برش طبقات و تغییر مکان نسبی طبقات می‌باشد.



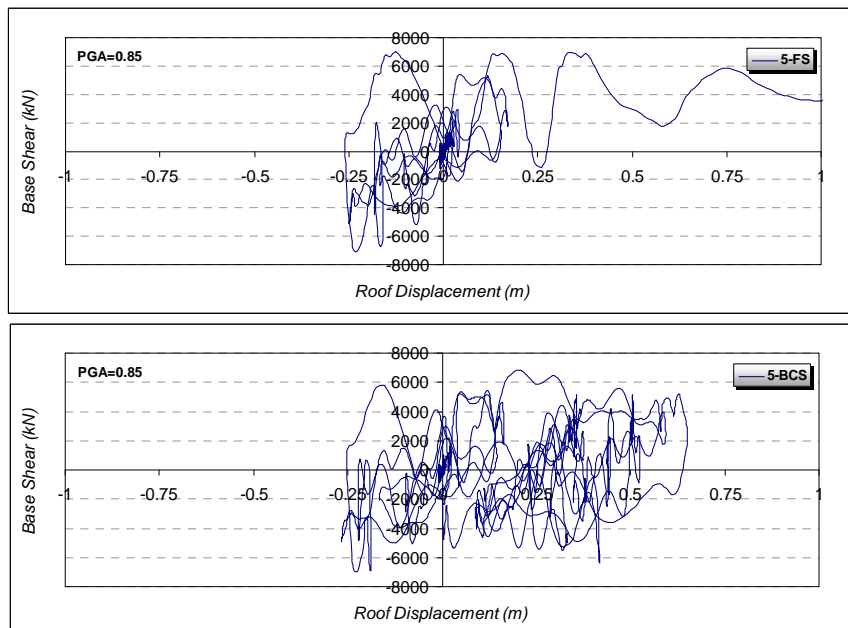
شکل ۷- شتاب نگاشت زلزله طبس.

در شکل (۸) نمودار تاریخچه زمانی تغییر مکان بام برای دو حالت مختلف تقویت و شتاب حداکثر زمین متفاوت برای نمونه آورده شده است.



شکل ۸- نمودار تغییر مکان بام ساختمان 5-NS با  $PGA=0.3, 0.7$  تحت اثر زلزله طبس.

در شکل (۹) منحنی هیستریزس تغییر مکان بام- برش پایه برای دو حالت مختلف تقویت ترسیم شده است. در جدول (۱) نتایج ۳۰ تحلیل مختلف این ساختمانها درج شده است.



شکل ۹- رفتار هیستریزیسی سازه (5-FS) و (5-BCS) تحت اثر زلزله طبس برای  $PGA=0.85$ .

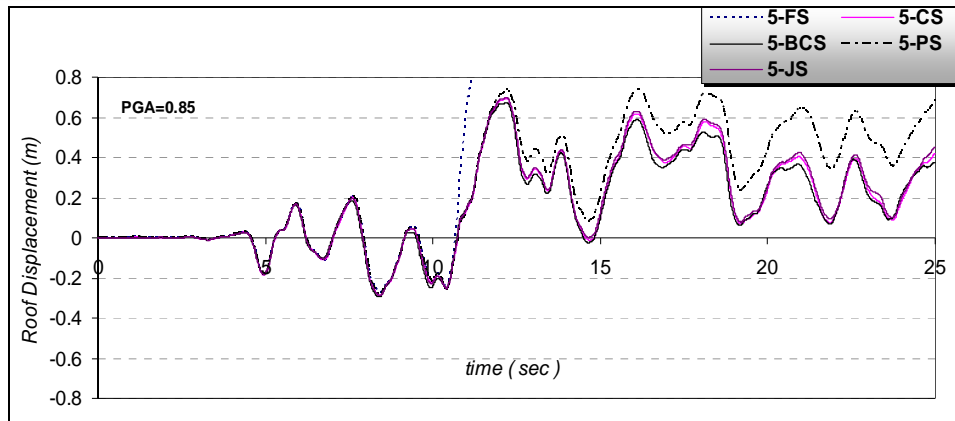


جدول ۱- مقادیر حداکثر تغییر مکان بام و برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی برای حالت‌های مختلف مورد بحث ساختمان پنج طبقه.

حداکثر شتاب‌های مختلف زلزله طیس (g)											ردیف
۰/۸۵		۰/۷		۰/۵		۰/۳		۰/۲		نوع سازه	
حداکثر برش پایه (kN)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)	حداکثر برش پایه (kN)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)	حداکثر برش پایه (kN)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)	حداکثر برش پایه (kN)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)	حداکثر برش پایه (kN)	حداکثر تغییر مکان بام (cm)		
۶۷۰۳	∞	۶۶۸۳	∞	۶۱۵۸	۲۶/۵	۴۸۸۱	۱۴/۶	۴۲۹۵	۱۱/۴	5-NS	۱
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	درصد کاهش (%)	
۶۹۵۸	∞	۶۸۳۰	۴۸/۱	۶۱۱۱	۲۵/۴	۴۸۶۴	۱۴/۴	۴۲۸۶	۱۱/۳	5-FS	۲
--	--	--	--	۰/۸	۴/۱	۰/۳	۱/۲	۰/۲	۰/۹	درصد کاهش (%)	
۶۹۹۲	۶۹/۵	۶۸۰۴	۴۵/۰	۶۰۳۱	۲۴/۰	۴۷۲۲	۱۳/۲	۳۸۸۸	۱۰/۱	5-CS	۳
--	--	--	--	۲/۱	۹/۴	۳/۲	۹/۶	۹/۵	۱۱/۴	درصد کاهش (%)	
۶۹۹۰	۶۶/۸	۶۷۸۳	۴۲/۹	۵۸۸۹	۲۲/۹	۴۴۰۶	۱۲/۹	۳۶۲۷	۹/۷	5-BCS	۴
--	--	--	--	۴/۴	۱۳/۵	۹/۷	۱۱/۶	۱۵/۵	۱۴/۹	درصد کاهش (%)	
۶۹۹۸	۷۳/۶	۶۹۱۵	۴۶/۷	۶۰۹۴	۲۵/۲	۴۸۱۰	۱۴/۲	۴۲۳۳	۱۱/۲	5-PS	۵
--	--	--	--	۱/۰	۴/۹	۱/۴	۲/۷	۱/۴	۱/۸	درصد کاهش (%)	
۶۹۹۷	۷۰/۱	۶۸۱۷	۴۵/۰	۵۹۱۸	۲۳/۶	۴۷۳۱	۱۳/۲	۳۹۷۸	۱۰/۰	5-JS	۶
--	--	--	--	۳/۹	۱۰/۹	۳/۱	۹/۶	۷/۲	۱۲/۳	درصد کاهش (%)	

با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها موارد زیر قابل مشاهده است:

- ۱- در زلزله با حداکثر شتاب زمین کم (PGA=0.2, 0.3) تمام ساختمانها با و بدون تقویت، در برابر بارهای وارده مقاوم بوده و رفتار تقریباً یکسانی از خود نشان می‌دهند.
- ۲- ساختمان (5-NS) که سازه بدون تقویت است، در زلزله با حداکثر شتاب زمین (PGA=0.7) قابلیت تحمل بارهای وارده را نداشته و فرو می‌ریزد. به این معنی که تعداد و محل مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه به نحوی است که دیگر توان تحمل بار جانبی را نداشته و تغییر مکان آن به سمت بی‌نهایت میل می‌کند.
- ۳- مشاهده می‌شود ساختمان بدون تقویت (5-NS) و همچنین ساختمان (5-FS) که در آن ستونهای طبقه اول و دوم به وسیله محصورشدگی با FRP تقویت شده‌اند، هنگامی که در معرض زلزله با  $PGA=0.85$  واقع می‌شوند توان تحمل نیروهای وارده را نداشته و تخریب می‌گردند. سایر سازه‌ها گرچه تغییر مکانهای بسیار بزرگی را از خود نشان می‌دهند، اما زلزله را بدون فروپاشی تحمل می‌کنند. در بین ساختمانهایی که زلزله با حداکثر شتاب  $PGA=0.85$  تحمل کرده‌اند (5-CS و 5-BCS و 5-PS و 5-JS)، سازه (5-PS) که در آن ستونهای محیطی تقویت شده بودند، رفتار نامناسب‌تری نشان داده و تغییر مکانهای آن بیشتر از سایر سازه‌ها می‌باشد. این مطلب نشان می‌دهد که تقویت سازه کافی نبوده و در مقایسه با سایر روشهای تقویت، نامناسب می‌باشد. در شکل (۱۰) این مطلب قابل مشاهده است.
- ۴- رسم نمودار رفتار هیستریزیسی یک سازه که در آن، تغییرات برش پایه در مقابل تغییر مکان بام به نمایش درآمده است می‌تواند به خوبی رفتار کلی سازه را در بارگذاریهای لرزه‌ای مشخص نماید. به طوریکه می‌توان توسط این نمودارها مقادیر حداکثر برش و تغییر مکان و تغییرات سختی سازه را مشاهده نمود. بر این اساس در شکل (۹) رفتار هیستریزیسی سازه‌های (5-FS) و (5-BCS) ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، استفاده از FRP بیشتر در سازه (5-BCS) قابلیت جذب و اتلاف انرژی را افزایش داده به طوریکه سازه (5-FS) در حین زلزله ناپایدار شده و فرو می‌ریزد اما سازه (5-BCS) زلزله را تا انتها تحمل می‌کند.



شکل ۱۰- نمودار تاریخچه زمانی تغییر مکان بام سازه‌های (5-FS و 5-PS و 5-BCS و 5-CS و 5-JS) تحت اثر زلزله طبس.

## ۵. نتایج

تغییر رفتار بتن محصور شده با FRP که باعث افزایش مقاومت و شکل پذیری آن می‌گردد در عملکرد لرزه‌ای ساختمانهای بتن مسلح حائز اهمیت است. به نحوی که سازه بدون تقویتی که در زلزله شدید تخریب می‌شود، می‌تواند با محصور شدگی به وسیله FRP همان زلزله را بدون فروپاشی تحمل کند. با این توضیح در این پژوهش سعی گردیده تا ضمن آشنایی با رفتار بتن محصور شده، تاثیر محصور شدگی در کاهش تغییر مکان و برش پایه مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به نمودارها و نتایج تحلیل که در قسمت قبل ارائه شده است، نتایج زیر قابل استنباط است:

- ۱- محصور کردن ساختمانهای بتن مسلح با FRP می‌تواند در هنگام زلزله حداکثر تغییر مکان بام و برش پایه را برای ساختمانهای تحلیل شده، بین ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش دهد که این میزان بستگی به شکل و نحوه محصور شدگی دارد.
- ۲- با توجه به جدول (۲) برای ساختمان پنج طبقه که در آن مقدار FRP مصرف شده در هر ساختمان و میزان کاهش تغییر مکان بام برای زلزله طبس با حداکثر شتاب برابر شتاب مبنای طرح  $PGA=0.3g$  درج شده است، مشاهده می‌شود اقتصادی‌ترین حالت که اثر بخشی مناسبی هم دارد، کاربرد FRP در محل اتصالات تیر و ستون می‌باشد که تغییر مکان حداکثر بام به میزان  $9/6$  درصد کاهش پیدا کرده است و در مقایسه با سازه (5-CS)،  $12/6$  درصد و در مقایسه با سازه (5-BCS)،  $69/9$  درصد در مصرف FRP صرفه جویی می‌شود.

جدول ۲- مقایسه در صد کاهش حداکثر تغییر مکان بام و مقدار FRP مصرفی در حالت‌های مختلف تقویت ساختمان پنج طبقه برای  $PGA=0.3g$  در زلزله طبس.

ردیف	حالت سازه	نوع تقویت	در صد کاهش حداکثر تغییر مکان بام (%)	مقدار FRP مصرف شده ( $m^2$ )
۱	5-FS	ستونهای طبقه اول و دوم	۱/۲	۲۰۴/۸
۲	5-CS	تمام ستونها	۹/۶	۵۱۲/۳
۳	5-BCS	کل تیر و ستونها	۱۱/۶	۱۴۸۸/۵
۴	5-PS	ستونهای محیطی	۲/۷	۳۵۸/۴
۵	5-JS	اتصالات	۹/۶	۴۴۷/۶

۳- استفاده از تکنیک محصور شدگی در تقویت ساختمانهای بتن مسلح باعث افزایش شکل پذیری و قابلیت استهلاک انرژی سازه می‌گردد و رفتار سازه را در محدوده غیر خطی و تغییر شکلهای بزرگ بهبود می‌بخشد. به نحوی که ساختمان بدون تقویت که در یک زلزله خاص تحمل نیروی زلزله و تغییر شکلهای بزرگ را نداشته است، در حالتی که با تکنیک محصور سازی به شکل مناسب تقویت شود می‌تواند قابلیت تحمل نیروی زلزله و تغییر شکلهای بزرگ را داشته باشد.



## ۶. مراجع

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Seismostructure Program, Version 4.0.3, [WWW.Seismosoft.com](http://WWW.Seismosoft.com)
- [4] Teng J.G, Lam L. " Behavior and modeling of fiber reinforced polymer-confined concrete " Journal of structural engineering, Vol. 130, No. 11, November 1, ASCE 2004, pp: 1713-1723.
- [5] Xiao Y, Wu H. " Compressive behavior of concrete confined by carbon fiber composite jackets " Journal of materials in civil engineering, Vol. 12, No. 2, May, ASCE 2000, pp: 139-145.
- [6] Wu G, Wu Z.S, Lu Z.T. " Design oriented stress-strain model for concrete prisms confined with FRP composites " Construction and building materials 21 (2007), pp: 1107-1121.
- [7] Ozcan O, Binici B, Ozcebe G. " Improving seismic performance of deficient reinforced concrete columns using carbon fiber-reinforced polymers " Engineering structures (2007), pp: 1-15.
- [8] Ozbakkaloglu T, Saatcioglu M. " Seismic behavior of high-strength concrete columns confined by fiber-reinforced polymer tubes. ", Journal of composites for construction, Vol. 10, No. 6, December 1, ASCE 2006, pp: 538-549.
- [۹] آیین نامه حداقل بار وارد بر ساختمانها، استاندارد شماره ۵۱۹ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۰.
- [۱۰] آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۱۳۸۴، کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- [۱۱] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، ۱۳۸۳، "آیین نامه بتن ایران (آبا)"، تجدید نظر اول، ویرایش سوم، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات.