

بررسی رفتار مهاربند همگرای ضربدری و شورون تحت اثر بارگذاری انفجار

بهزاد محمدی^{۱*}، اسماعیل نظرخانی^۲، علی منصوری^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان

*behzad.mohamadi2014@gmail.com

ارسال: فروردین ۹۶ پذیرش: اردیبهشت ۹۶

خلاصه

یکی از تهدیداتی که امروزه علیه تجمعات انسانی و ساختمان‌ها وجود دارد، وقوع انفجار می‌باشد. از جمله حالاتی از بارگذاری انفجار که کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است، وقوع انفجارهای متواالی است. در این حالت انفجار دوم پس از انفجار اول و با فاصله زمانی مشخص از آن اتفاق افتاده و باعث افزایش شمار تلفات و خسارات وارد می‌گردد. در این مقاله با انتخاب سیستم سازه‌ای مهاربندی همگرا، تأثیر شکل مهاربند بر عملکرد سازه تحت بارهای انفجار متواالی مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور ارزیابی رفتار سازه‌های دارای مهاربند با شکل ضربدری و شورون توسط روش تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام شده است. مقایسه رفتار اشکال مذکور مهاربند تحت بارگذاری انفجار، با بررسی پارامترهایی همچون برش پایه، ستاب، جابجایی بام و سطوح عملکرد سازه انجام شده است. نتایج مدلسازی و تحلیل عددی، نشان‌دهنده شکل‌گیری رفتار غیرخطی بیشتری در طبقات فوقانی سازه نسبت به طبقات تحتانی، در هر دو سیستم برابر جانبی می‌باشد. مقایسه رفتار سیستم‌های سازه‌ای مورد مطالعه، نشان‌دهنده عملکرد و رفتار مناسب‌تر سیستم دارای مهاربند شورون، تحت بارگذاری ناشی از انفجار متواالی، در مقایسه با مهاربند ضربدری می‌باشد.

کلمات کلیدی: تحلیل دینامیکی غیرخطی، بار انفجار متواالی، مهاربند همگرای ضربدری، مهاربند همگرای شورون، عملکرد سازه.

۱. مقدمه

امروزه با بالا گرفتن ناآرامی در کشورهای دنیا به ویژه در منطقه خاورمیانه و بمب‌گذاری در محدوده‌های شهری و در مجاورت ساختمان‌های حساس و مهم، مطالعه اثرگذاری بار انفجار بر سازه‌ها بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران سازه قرار گرفته است و مطالعات زیادی بر روی ساختمان‌ها و عکس العمل آنها در مواجه با بارهای انفجاری با توجه به اهمیت موضوع آن انجام پذیرفته است. در حال حاضر تحقیقات گسترده‌ای به منظور شناخت ماهیت بار انفجار و همچنین عملکرد رفتار سازه‌ها در مقابل بار انفجار پرداخته شده است. زمان‌بندی انفجار یکی از راهکارهای جدیدی است که در حملات تروریستی، به منظور ایجاد تلفات و آسیب‌های بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در چنین مواردی ساختمان تحت انفجارهای متواالی با فاصله زمانی مشخص قرار می‌گیرد. حال با توجه به اینکه عموم سازه‌های شهری در برابر نیروهای زلزله طراحی می‌گردند و مقاومت

کافی در برابر این گونه انفجارهای حجیم و ناگهانی را ندارند، لذا در این تحقیق به بررسی رفتار یک ساختمان فولادی با با مهاربندی هم محور فولادی با اشکال ضربدری و شورون در برابر بار ناشی از انفجارهای متوالی با فاصله زمانی مشخص پرداخته شده است.

۲. تاریخچه مختصری از آیین نامه های موجود

اهمیت بررسی اثر انفجار بر روی سازه ها سبب شده است تا دستور العمل هایی که در زمینه طراحی ساختمان ها و فضاهای شهری در برابر انفجار تدوین گردد. دستورالعمل ۱-TM5-855-۱ که در سال ۱۹۸۶ توسط دپارتمان نیروی زمینی ارتش آمریکا برای سازه های مقاوم در برابر انفجار تهیه شده است را می توان عنوان یکی از اولین دستور العمل ها دانست که از اوایل دهه ۵۰ تهیه و تکمیل شده است. پس از آن، دستورالعمل TR87-57 در سال ۱۹۸۹ توسط بخش مهندسی نیروی هوایی آمریکا به منظور آنالیز و طراحی سازه های مقاوم در برابر انفجارهای غیر اتمی ارائه شد. در سال ۱۹۹۰ نیز دستورالعمل TM5-1300 بصورت مشترک توسط دپارتمان نیروی زمینی، هوایی و دریایی ارتش آمریکا تهیه شد که بصورت گسترده جهت طراحی سازه ها در برابر انفجار مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه دستور العمل هایی چون ASCE1995، FEMA428 و... تهیه شده است. نهایتاً در سال ۲۰۰۸ دستورالعمل UFC 3-340-02 [۱] که نسبت به دستور العمل های پیشین جامعیت بیشتری دارد و نسخه بروز شده TM5-1300 می باشد، توسط دپارتمان دفاع آمریکا تهیه شده است و هم اکنون اکثراً به عنوان مبنای اصلی طراحی و تحقیقات در این حوزه مورد استفاده قرار می گیرد.

۳. پیشینه تحقیق

تا امروز مطالعات گسترده ای توسط محققین در زمینه بررسی رفتار سازه های فولادی تحت اثرات بار انفجار بر سازه ها پرداخته شده است که می توان به موارد زیر اشاره کرد:

فراهانی و همکاران [۲] در پژوهشی به معرفی ماهیت بارهای انفجاری و پارامترهای مهم انفجار پرداخته شده و در آن مدل های مختلف بارگذاری انفجاری با تعداد طبقات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است و سپس با بکارگیری نرم افزارهای تحلیل سازه، پاسخ قابهای مختلف ساختمانی در مقابل بارهای ضربه ای ناشی از انفجار محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفته است در انتها نتایج نشان داد ساختمان های کوتاه مرتبه بدلیل بالا بودن نیروهای ناشی از انفجار در آن ها نسبت به نیروهای طراحی معمولی سازه، در مقایسه با ساختمان های بلند مرتبه دارای آسیب پدیدیری بیشتری در مقابل بارهای ناشی از انفجار خارج از ساختمان می باشند.

محتمل شده ای توسط محققین در زمینه بررسی رفتار سازه های فولادی با سیستم قاب خمی تحت اثر وقوع انفجار انجام دادند. در این مطالعات، سازه های فولادی سه طبقه و با مقاطع متفاوت تیر و ستون، تحت اثر بارهای انفجاری مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج مطالعات نشان داد که ستونها مهمترین عامل در تعیین رفتار قاب در مقابل بارهای ناشی از انفجار می باشند و با افزایش ابعاد آنها، رفتار به نحو قابل ملاحظهای بهبود و تغییر مکان طبقات کاهش می یابد.

کیم و همکاران [۴] عملکرد سازه های فولادی ۳، ۶ و ۱۵ طبقه با سیستم قاب خمی را تحت اثرات ثانویه انفجار در سازه (پدیده خرابی پیشرونده) مورد ارزیابی قرار دادند. براساس نتایج به دست آمده در صورت بروز آسیب در ستونهای گوشه، به نسبت ستونهای میانی احتمال بروز پدیده خرابی پیشرونده افزایش می یابد. خندلواں و همکاران [۵] رفتار سازه های فولادی مهاربندی را تحت اثر انفجار و بروز پدیده خرابی پیشرونده مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه قاب خمی را در سازه های فولادی مهاربندی ۱۰ طبقه دارای سیستم مهاربند هم محور و سیستم مهاربند بروز محور به صورت دو بعدی مورد مطالعه قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که هنگامی که مهاربندها در پیرامون سازه قرار گیرند، سازه ها با سیستم مهاربند برون محور رفتار بهتری به نسبت سیستم مهاربند هم محور از خود نشان می دهد.

در تحقیقی که توسط کوساز و همکاران^[۶] در مورد تئوری طراحی ساختمان های مقاوم در برابر انفجار انجام پذیرفت، بیانگر بود که افزایش امنیت ساختمان در برابر اثرات انفجار، در هر دو فرایند معماری و سازه ای انجام پذیرفته است و با استفاده از تکنیک هایی، افزایش ظرفیت ساختمان ها در برابر اثرات بارهای انفجاری با دو رویکرد معماری و سازه ای مورد بحث قرار گرفته است.

همچنین در پژوهشی که توسط فنگ فوی^[۷] صورت گرفت به بررسی پدیده تخریب پیشرونده ناشی از انفجار در ساختمان های بلند مرتبه پرداخته و پاسخ دینامیکی سازه را تحت بار انفجار مورد بررسی قرار داده است و سناریوهای تخریب پیشرونده که ناشی از انفجار در سازه می تواند رخ دهد مورد ارزیابی و آنالیز قرار داده است.

در تحقیقات دیگر که توسط بزرگوار و همکاران^[۸] انجام پذیرفت، رفتار ساختمان های مقاوم در برابر زلزله که در براساس آین نامه ۲۸۰۰ طراحی شده اند در برابر بارهای انفجاری بررسی شده است. بدین منظور، یک ساختمان ۴ طبقه مسکونی تحت ترکیبات مختلف بارگذاری قرار می گیرد و به صورت سه بعدی به کمک نرم افزار المان تحلیل می شود. سپس عملکرد سازه تحت این بارگذاری ها بررسی می شود. در ادامه پاسخ های ناشی از بارگذاری انفجار نظریه برش پایه و جابجایی طبقات با پاسخ های لرزمه ای نظریشان مقایسه می شوند و مقایسه پاسخ های بوجود آمده ناشی از انفجار و زلزله نشان می دهد که مدت زمان بارهای انفجاری با اینکه بسیار کمتر از زلزله می باشد ولی برش پایه و جابجایی بیشتری در ساختمان ایجاد می کند. بنابر نتایج بدست آمده، حاکی از آن بود ساختمان های مقاوم در برابر زلزله برای مقاومت در برابر بارهای انفجاری باید مورد ارزیابی مجدد قرار گیرند.

۴. مطالعات عددی

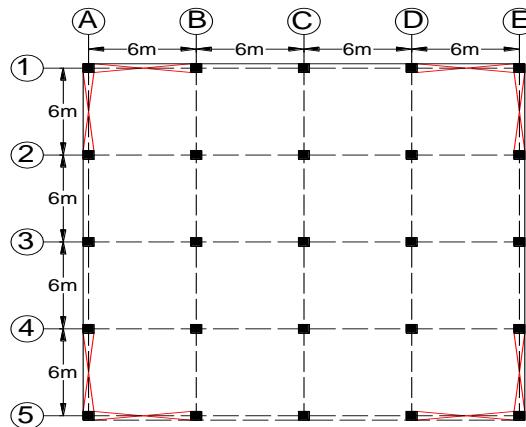
۴.۱. مشخصات سازه مورد مطالعه

در این پژوهش عملکرد ساختمان های مهاربند همگرای فولادیکه با توجه به ضوابط آین نامه های متداول لرزه ای مورد طراحی قرار گرفته اند، تحت اثر بارهای ناشی از انفجار سطحی مورد بررسی قرار می گیرد. بدین منظور رفتار ساختمان های فولادی هم محور دارای سیستم مهاربند ضربه ای و شورون با شکل ۸ تحت اثر بارهای ناشی از انفجار متواتی بررسی شده است. کاربری ساختمان مورد مطالعه اداری در نظر گرفته شده و در منطقه با خطر نسبی زلزله خیلی زیاد واقع شده است. طراحی اولیه سازه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰^[۹] و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان^[۱۰] انجام شده است.

مدلسازی عددی بر روی مدل های سازه ای سه بعدی با تعداد طبقه ۶ طبقه صورت گرفته است. تمام مدل ها دارای پلان مربعی شکل با ۴ دهانه ۶ متری در دو راستاوارتفاع طبقات ۳ متر می باشند. ضمناً مشخصات مقاطع اعضاء مطابق جدول شماره ۱ و ۲ و جانمایی مهاربند ها مطابق شکل شماره ۱ می باشد. کلیه ستون ها بصورت باکس مربعی و تیر دهانه مهاربندی در سیستم دارای مهاربند شورن، بصورت تیر ورق طراحی شده اند. نامگذاری مقطع ستون ها و تیورق ها به گونه ای انجام شده است که نشان دهنده ابعاد اجزاء مقطع نیز می باشد، به عنوان نمونه منظور از BOX40X2.5 ستون قوطی شکل به طول و عرض خارجی ۴۰ سانتی متر و ضخامت ۲/۵ سانتی متر و تیر ورق BW70X2.3F30X3 تیورقی به ارتفاع جان ۷۰ سانتی متر و ضخامت ۲/۳ سانتیمتر و بال متقارن به ابعاد عرض ۳۰ سانتیمتر و ضخامت ۳ سانتیمتر می باشد.

جدول ۱- مشخصات مقاطع سازه دارای مهاربند ضربدری

نوع مدل	طبقه	ستون پیرامونی	ستون داخلی	تیر پیرامونی	تیر داخلی	مهاربند
مهاربند ضربدری	۱	BOX43x2.5	BOX40x1	IPE30	IPE36	2UNP20
	۲	BOX43x2.5	BOX40x1	IPE30	IPE36	2UNP20
	۳	BOX37x1.6	BOX32x0.8	IPE30	IPE36	2UNP18
	۴	BOX37x1.6	BOX32x0.8	IPE30	IPE36	2UNP18
	۵	BOX30x0.8	BOX22x0.6	IPE30	IPE36	2UNP14
	۶	BOX30x0.8	BOX22x0.6	IPE27	IPE36	2UNP14



شکل ۱- پلان جانمایی مهاربندها

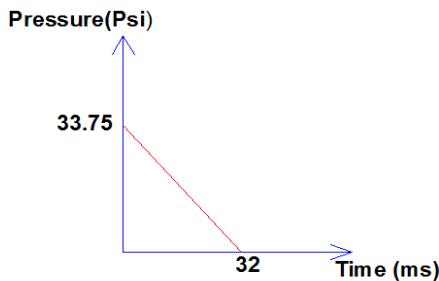
جدول ۲- مشخصات مقاطع سازه دارای مهاربند شورون

نوع مدل	طبقه	ستون پیرامونی	ستون داخلی	تیر پیرامونی	تیر داخلی	تیر دهانه مهار بندی	مهاربند
مهاربند شورون	۱	BOX40x2.5	BOX35x1	BW30x1F16x1	IPE36	تیر ورق BW70x2.3F30x3	2UNP32
	۲	BOX40x2.5	BOX35x1	BW30x1F16x1	IPE36	تیر ورق BW70x2.3F30x3	2UNP32
	۳	BOX33x1.5	BOX32x0.7	BW30x1F16x1	IPE36	تیر ورق BW65x2F30x3	2UNP32
	۴	BOX33x1.5	BOX32x0.7	BW30x1F16x1	IPE36	تیر ورق BW65x2F30x3	2UNP32
	۵	BOX20x0.8	BOX22x0.5	BW30x1F20x3	IPE36	تیر ورق BW60x1.8F20x3	2UNP16
	۶	BOX20x0.8	BOX22x0.5	BW35x0.8F16x1.2	IPE27	تیر ورق BW60x1.8F20x3	2UNP16

۲.۴. بارگذاری اعمالی به سازه

بارگذاری اعمالی به نمونه‌ها در مدلسازی و تحلیل عددی، شامل بارگذاری ثقلی و انفجار می‌باشد. بار مرده کف طبقات و بام معادل 700 kg/m^2 و بار زنده کف طبقات و بام به ترتیب معادل 250 و 150 kg/m^2 در نظر گرفته شده است. همچنین بار دیوارهای پیرامونی طبقات و جانپناه نیز به ترتیب معادل 700 و 250 kg/m لحاظ شده است. مدل‌ها بر اساس دستور العمل [۱] UFC-3-340-02 تحت اثر دو بار انفجار متواالی هر یک معادل 2500 کیلوگرم TNT با فاصله 50 متری از سازه و با فاصله زمانی 8 ثانیه از یکدیگر که در یک راستای سازه (راستای X) به آن اعمال می‌شوند، قرار می‌گیرند. شایان ذکر است که مدت زمان 8 ثانیه مقدار زمانی است که سازه تحت حالت انفجار اول به حالت سکون می‌رسد. ضمناً فرضیات زیر در تحلیل بکار گرفته شده است:

- ۱- بارگذاری انفجار مدل‌ها بر اساس فاز مثبت فشار ناشی از یک انفجار سطحی انجام گرفته و از اثرات فاز منفی فشار به علت ناچیز بودن مقادیر آن، صرف نظر شده است.
 - ۲- توزیع بار موثر وجه مقابل به انفجار در مدل‌ها بر اساس سطح بار گیر اعضا و با فرض اینکه دیوارهای پیرامونی سازه از مقاومت لازم جهت تحمل و توزیع بار وارد برخوردارند، انجام شده است.
- پس از محاسبه بار انفجار نمودار فشار - زمان وارد بر سازه مطابق شکل شماره ۲ می‌باشد.



شکل ۲- نمودار فشار- زمان بار انفجار معادل 2500 کیلوگرم TNT در فاصله 50 متری از ساختمن

۳.۴. مشخصات مصالح

بررسی وضعیت سازه‌ها در برابر انفجار مستلزم آگاهی از ویژگی‌های دینامیکی مصالح است. مصالح پاسخ‌های متفاوتی در مقابل بارهای دینامیکی نسبت به بارهای استاتیکی از خود نشان می‌دهند. تحت بارگذاری دینامیکی، مصالح به افزایش مقاومتی می‌رسند که به طور قابل ملاحظه‌ای مقاومت سازه را ارتقا می‌دهد. سازه‌های در معرض بارهای انفجاری جهت جذب انرژی، وارد محدوده تغییرشکل‌های فرا ارجاعی می‌شوند. در نتیجه مصالح تشکیل دهنده سازه باید دارای رفتار فرا ارجاعی و شکل‌پذیری مناسب باشند. همچنین در بارهای انفجاری، اعمال بار و افزایش تنش در اعضا بسیار سریع اتفاق می‌افتد. این بارگذاری به صورت آنی و گذراست و زمان تناوب آن در اکثر موارد بسیار کوتاه‌تر از زمان تناوب سازه می‌باشد.

پاسخ مصالح تحت بارگذاری دینامیکی به طور محسوسی متفاوت از بارگذاری استاتیکی است. در بارگذاری سریع، مصالح نمی‌توانند با نرخ مشابه بار وارد، تغییرشکل دهنند. این خاصیت باعث ایجاد افزایش در سطح تنش تسلیم و همچنین تنش نهایی قبل از گسیختگی می‌شود. به طور کلی، هرچه مصالح سریع تر تغییر شکل دهنند (افزایش سریع نرخ کرنش)، مقاومت مصالح افزایش می‌یابد. افزایش مقاومت ایجاد شده در مصالح به علت بارگذاری سریع، این امکان را فراهم می‌کند تا مقاومت سازه

نسبت به حالت استاتیکی افزایش یابد. این تأثیرات در بررسی انفجار با استفاده از ضربه افزایش دینامیکی در نظر گرفته خواهد شد.

در مطالعات عددی انجام شده، نوع فولاد ST37 در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور در نظر گرفتن تأثیر افزایش مقاومت مصالح با نرخ کرنش سریع، ضربه افزایش دینامیکی مطابق آین نامه [1ufc 3-340-02] به مقادیر مقاومت استاتیکی مصالح اعمال شده است. مقادیر مشخصات مکانیکی فولاد در دو حالت استاتیکی و دینامیکی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی

$E(\frac{Kg}{cm^2})$	ν	$F_y(\frac{Kg}{cm^2})$	$F_u(\frac{Kg}{cm^2})$	$F_{dy}(\frac{Kg}{cm^2})$ تیر و ستون	$F_{dy}(\frac{Kg}{cm^2})$ مهاربند	$F_{du}(\frac{Kg}{cm^2})$
2×10^6	0.3	2400	3700	3405	3141	4680

۴.۴. مدلسازی و تحلیل

مدلسازی و تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار SAP2000 انجام شده است. به منظور مدلسازی رفتار غیرخطی مصالح از روش مفصل پلاستیک استفاده شده است. پارامترهای مدلسازی مفاصل پلاستیک اعضای بر اساس نشریه FEMA 356 [11] در نظر گرفته شده است. همچنین تحلیل مدل‌ها با استفاده از روش دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی انجام شده است. بدین منظور از روش انتگرال‌گیری مستقیم و تکنیک HHT(Hilber-Hughes-Taylor) استفاده شده است. شایان ذکر است که روش مذکور ضمن داشتن دقت قابل قبول، از همگرایی مناسبی در روند حل غیر خطی نیز برخوردار است. این روش، پارامتری بنام α (Alpha) را بکار می‌برد که این پارامتر مقادیری بین ۰ و ۰.۳۳- را به خود می‌گیرد. برای $\alpha=0$ روش معادل روش نیومارک است، که شبیه روش شتاب متوسط است. استفاده از $\alpha=0$ بالاترین دقت را دارد، برای مقادیر منفی تر α ، مودهای فرکانس بالاتر باشد بیشتری میرا می‌شوند. این میرایی فیزیکی نیست بنابراین اگر گام‌های زمانی کوچکتری انتخاب شود، کاهش می‌یابد. هر چند، همگرا شدن پاسخ غیر خطی اغلب یک مقدار منفی α لازم دارد. برای گرفتن بهترین نتایج، باید کوچکترین گام زمانی لازم را بکار برد و α را تا حد ممکن نزدیک به صفر در نظر گرفت و سعی می‌شود مقادیر مختلف α و اندازه گام زمانی استفاده شود تا مطمئن شد که جواب از مقادیر این پارامترها مستقل است.

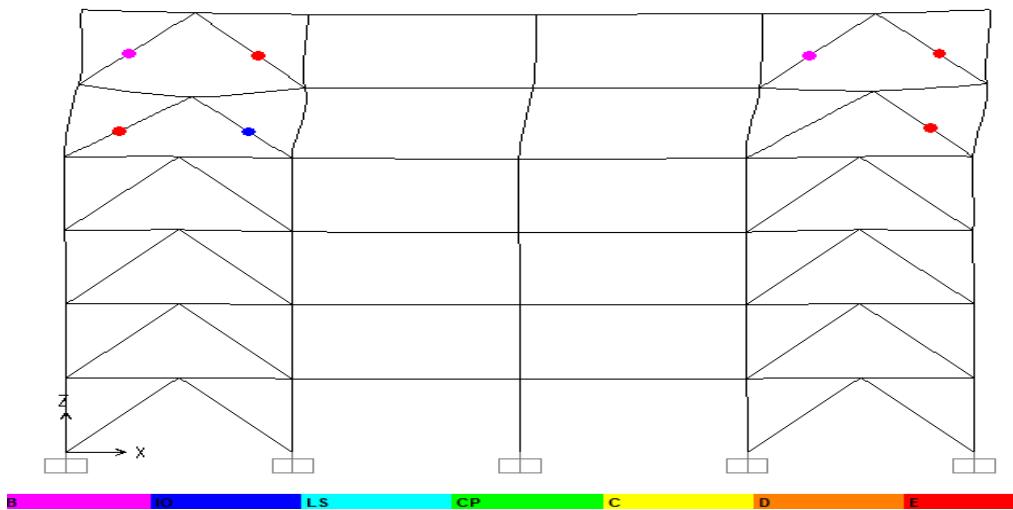
۵. نتایج تحلیل

در این بخش مقایسه نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های دارای مهاربندی ضربه‌بری و شورون، در قالب سطوح عملکرد سازه، شتاب و تغییر مکان مرکز جرم بام و برش پایه سازه انجام شده است. بر اساس نتایج تحلیل عددی انجام شده و با توجه به تقارن سازه مورد بررسی کلیه مفاصل پلاستیک در هر دو سیستم سازه‌ای در راستای اعمال بار انفجار تشکیل شده و در راستای عمود هیچگونه مفصل پلاستیکی تشکیل نشده است. مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سازه‌های با سیستم باربر جانبی مهاربند ضربه‌بری و شورون به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. با توجه به شکل‌های مذکور در هر دو سیستم سازه‌ای رفتار غیرخطی بیشتری در طبقات فوقانی سازه تحت بارگذاری انفجار مشاهده می‌شود. همچنین با توجه میزان تغییر شکل پلاستیک در مفاصل و تعداد مفاصل تشکیل شده، سازه دارای مهاربند شورون مطلوب‌تری را تحت بارگذاری انفجار از خود

نشان داده است. همچنین در هر دو سیستم سازه‌ای مفاصل پلاستیک در مهاربندها تشکیل شده‌اند و هیچگونه رفتار غیرخطی یا شکست ترد تحت بار فشاری در ستون‌ها مشاهده نشد.

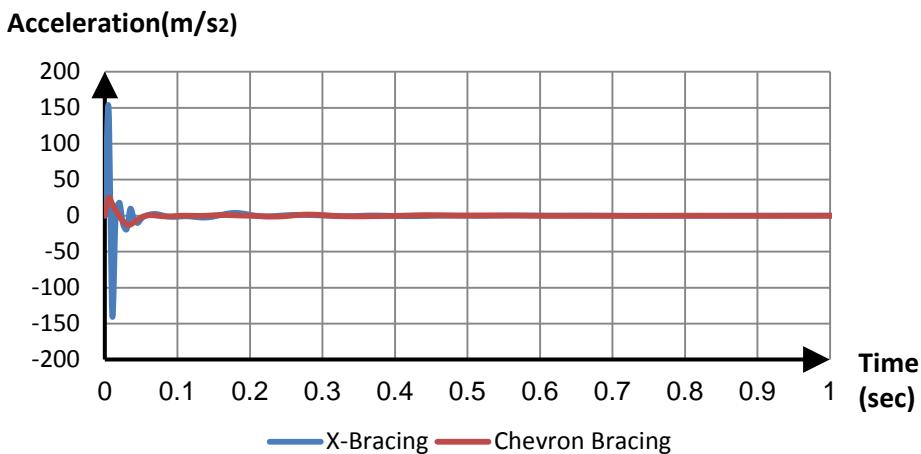


شکل ۳- روند تشکیل مفصل قاب دارای مهاربند ضربدری در راستای بار انفجار

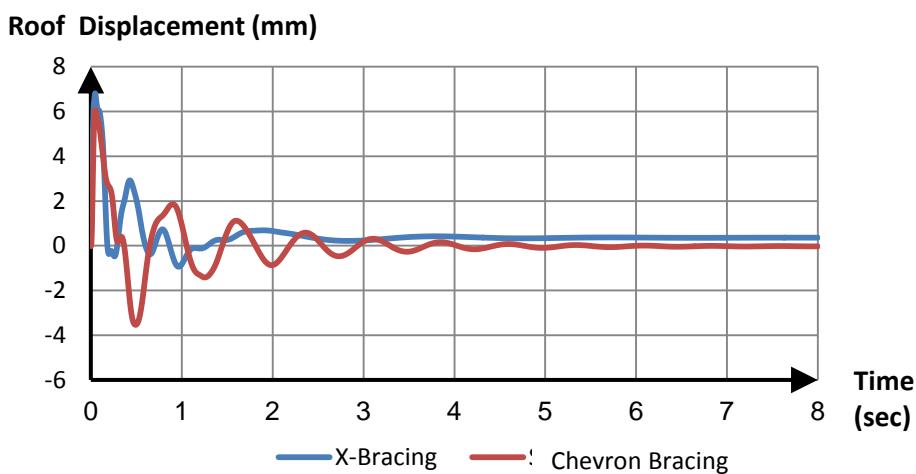


شکل ۴- روند تشکیل مفصل قاب دارای مهاربند شورون در راستای بار انفجار

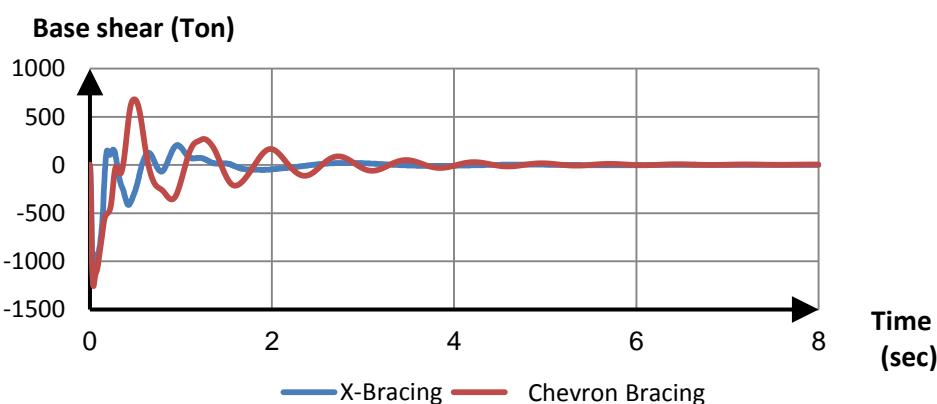
شکل ۵ نمودار شتاب در مرکز جرم با مدو سیستم سازه‌ای را بر حسب زمان نشان می‌دهد که با توجه به این شکل مقدار شتاب حداقل سیستم دارای مهاربند ضربدری به میزان قابل توجهی بیشتر از سیستم دارای مهاربند شورون می‌باشد که علت آن رفتار غیرخطی قابل توجه در مهاربندهای طبقات فوقانی این سیستم سازه‌ای و کاهش قابل توجه سختی در این طبقات می‌باشد. شایان ذکر است که مقدار قابل توجه شتاب می‌تواند آسیب جدی به عناصر سازه‌ای و عناصر غیر سازه‌ای ساختمان وارد نماید. نمودار جابجایی بام بر حسب زمان در دو سیستم سازه‌ای در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به این شکل مقدار جابجایی حداقل سیستم دارای مهاربند ضربدری بزرگتر از مقدار متناظر در سیستم دارای مهاربند شورون است. همچنین در سیستم دارای مهاربند ضربدری پس از اتمام بارگذاری تغییرشکل ماندگار در سازه ایجاد شده است که این موضوع می‌تواند باعث ایجاد اثرات ثانویه ($P-\Delta$) در سازه شده و باعث افزایش تغییرشکل و نهایتاً ایجاد ناپایداری در سازه گردد. علت این امر نیز تغییر شکل پلاستیک قابل توجه در مهاربندهای این سیستم سازه‌ای می‌باشد.



شکل ۵-نمودار شتاب-زمان سازه (مرکز نقل بام) در راستای بار انفجار



شکل ۶-نمودار جابجایی-زمان سازه در راستای بار انفجار



شکل ۷-نمودار برش پایه-زمان سازه در راستای بار انفجار

نمودار برش پایه بر حسب زمان دو سیستم سازه‌ای نیز در شکل ۷ ارائه شده است. بر اساس این شکل مقدار برش پایه سیستم دارای مهاربند شورون اندکی بیشتر از سیستم دارای مهاربند ضربدری است. لکن از آنجا که این موضوع باعث ایجاد رفتار

غیرخطی قابل توجه در این سیستم نسبت به مهاربند ضربدری نشده است، نمی‌تواند باعث ارجحیت سیستم دارای مهاربند ضربدری نسبت به شورون قلمداد گردد. با توجه به مطالب فوق الذکر در مجموع عملکرد ساختمان فولادی با مهاربند همگرا با شکل شورون ۸ تحت بارگذاری انفجار، نسبت به ساختمان فولادی با مهاربند همگرا با شکل ضربدری مناسب‌تر ارزیابی می‌گردد.

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش رفتار سازه‌های فولادی با سیستم باربر جانبی مهاربندی همگرا با شکل‌های ضربدری و شورون تحت بارگذاری انفجار مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. در این راستا از مدل‌سازی و تحلیل دو ساختمان ۶ طبقه فولادی با سیستم‌های سازه‌ای مذکور تحت بار انفجار انجام شده است. مهمترین نتایج به دست آمده به قرار زیر است:

- ۱- در هر دو سیستم سازه‌ای مفاصل پلاستیک در مهاربندها تشکیل شدن و هیچگونه رفتار غیرخطی و یا شکست ترد تحت بار محوری فشاری در ستونها مشاهده نشد.
- ۲- در هر دو سیستم سازه‌ای رفتار غیرخطی بیشتری در مهاربندهای طبقات فوقانی سازه تحت بارگذاری انفجار مشاهده گردید.
- ۳- با توجه میزان تغییر شکل پلاستیک در مفاصل و تعداد مفاصل تشکیل شده، سازه دارای مهاربند شورون عملکرد مطلوب‌تری را تحت بارگذاری انفجار از خود نشان داده است.
- ۴- مقدار شتاب حداقل سیستم دارای مهاربند ضربدری تحت بارگذاری انفجار به میزان قابل توجهی بیشتر از سیستم دارای مهاربند شورون می‌باشد که علت آن رفتار غیرخطی قابل توجه در مهاربندهای طبقات فوقانی این سیستم سازه‌ای می‌باشد.
- ۵- بر اساس نتایج تحلیل مقدار جابجایی حداقل سیستم دارای مهاربند ضربدری بزرگتر از مقدار متاظر در سیستم دارای مهاربند شورون است. همچنین در سیستم دارای مهاربند ضربدری پس از اتمام بارگذاری تغییر شکل ماندگار در سازه ایجاد شده است.
- ۶- مقدار برش پایه سیستم دارای مهاربند شورون اندکی بیشتر از سیستم دارای مهاربند ضربدری به دست آمده است.
- ۷- مقایسه رفتار سیستم‌های سازه‌ای مورد مطالعه، نشان‌دهنده عملکرد و رفتار مناسب‌تر سیستم دارای مهاربند شورون، تحت بارگذاری ناشی از انفجار در مقایسه با مهاربند ضربدری می‌باشد.

۷. مراجع

- 1-Unified Facilities Criteria (UFC 3-340-02) (2008.), “Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions”; US Department of Defense, Washington DC.
- ۲- احمد فراهانی، محمد علی هادیان فر "بررسی اثر بارهای ناشی از انفجار بر روی سازه‌های ساختمانی" پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹ ، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
- ۳- محتشمی ا، سینایی س، شوشری . (۱۳۸۹)، "ارزیابی رفتار قابهای فولادی در برابر بارهای انفجاری" ، پنجمین کنگره ملی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی.
- 4-Kim J., Kim T. (۲۰۰۹) "Assessment of Progressive Collapse Resisting Capacity of Steel Moment Frames". J. Constr. Steel Res. . ۱۷۹-۶۵, ۱۶۷
- 5- Khandelwal K., El-Tawil Sh., Sadek F. (۲۰۰۹) "Progressive Collapse Analysis of Seismically Designed Steel Braced Frames". J. Constr. Steel Res., ۶۵, ۷۰۸-۶۶۹
- 6-Koccaz Z, Sutcu F , Torunbalci N.2008. Architecttural and structural design for blast resistant building ,The 14th World.

7-Feng F.2012. Dynamic response and robustness of tall buildings under blast loading ,Journal of Constructional Steel Research.

۸- بزرگوار، شوستری ا. ۱۳۹۰. اثرات انفجار بر ساختمان‌های بتُنی مقاوم در برابر زلزله. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ۵ و ۷ اردیبهشت، دانشگاه سمنان، سمنان.

۹- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. ۱۳۸۴. آین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۳-۲۸۰۰).

۱۰- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان. ۱۳۹۲. طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی.

11- Federal Emergency Management Agency; Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA356, November 2000.