

## بررسی تاثیر جانمایی میراگرها بر مقاوم سازی ساختمان های فولادی تحت بار انفجاری

علیرضا میرزا گلنبار روشن<sup>۱\*</sup>، علی ناصری<sup>۱</sup>، جابر نصیری لاریمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، مازندران، ایران  
<sup>۲</sup> گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۸ اسفند ۱۳۹۴  
بازنگری: ۲۴ بهمن ۱۳۹۵  
پذیرش: ۲ اسفند ۱۳۹۵  
ارائه آنلاین: ۲۶ فروردین ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

بارگذاری انفجار  
تاثیر جانمایی میراگرها  
میراگر آکاردئونی  
مقاوم سازی  
تحلیل دینامیکی غیرخطی

**چکیده:** لوله های جدار نازک به عنوان معمولترین شکل و احتمالاً قدیمی ترین شکل مورد استفاده در سیستم های جذب انرژی هستند. هدف از این تحقیق ارزیابی رفتار قابهای فولادی مجهز به میراگرهای فلزی جدار نازک آکاردئونی و تاثیرات جانمایی آن ها در بهبود رفتار اینگونه قاب ها در برابر بار انفجاری می باشد. به منظور بررسی اثر میراگر، یک بار قاب بدون میراگر و بار دیگر قاب مجهز به میراگر تحت اثر بار انفجار مورد ارزیابی قرار گرفت. سازه های فولادی مورد مطالعه، سازه تک دهانه ای با ارتفاع های مختلف یک و چهار طبقه بوده و تحت اثر دو نوع بار انفجاری با مقادیر مختلف قرار گرفتند. همچنین جهت استفاده میراگر در این سازه ها از دو روش برای جانمایی میراگر استفاده شده است. حالت اول استفاده از میراگر به همراه بادبند در تراز طبقه و دیگری تعبیه میراگر در میانه ستون برای کاهش اثرات ناشی از انفجار می باشد. برای تحلیل های دینامیکی غیرخطی مدل ها از نرم افزار ABAQUS استفاده شده است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که استفاده از میراگرهای جدار نازک آکاردئونی، به ویژه در انفجارهای بزرگ تا حد زیادی جابجایی کلی سازه را بهبود می بخشد (تا ۹۸ درصد برای سازه یک طبقه و ۶۴ درصد برای سازه چهار طبقه). در عین حال با جایگذاری آن در نقاطی که تغییر شکل های زیادی روی می دهد می توان تغییر شکل های پلاستیک موضعی نقاط را کاهش داد.

### ۱- مقدمه

وقوع حوادث گوناگون تروریستی در مورد سازه های مهم در سراسر جهان سبب شد که در سال های اخیر بارهای انفجاری مورد توجه ویژه ای قرار گیرند. حملات اخیر در جهان مثل حادثه مرکز تجارت جهانی نشان می دهد که متاسفانه فعالیت های تروریستی افزایش یافته است. یک نوع از حملات تروریستی رایج، استفاده از مواد منفجره می باشد. طراحی سازه در برابر بارهای انفجاری در گذشته فقط محدود به ساختمان های نظامی و ساختمان های مرتبط با فعالیت های هسته ای و سوختی می شد. اما اخیراً با پدیده های تروریستی در ساختمان های تجاری و دولتی در نظر گرفتن این پدیده در سازه های مهم، اهمیت پیدا کرده است.

تاریخچه زمانی فشار موج انفجار اغلب با توابع نمایی مثل معادله فریدلندر<sup>۱</sup> بیان می شود:

$$p(t) = p_s [1 - (t/\tau)] \exp(-bt/\tau) \quad (1)$$

که در آن  $P(t)$  فشار انفجار در لحظه  $t$ ،  $P_s$  بیشینه فشار مثبت،  $\tau$  مدت زمان فاز مثبت فشار انفجار و  $b$  ثابت کاهشی می باشد [۱].  
کراسمر<sup>۲</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در ادامه مطالعاتشان در یک بررسی سعی بر فهم بهتر رفتار اتصالات فولادی تحت تاثیر بارهای ضربه ای همانند بارهای انفجاری بواسطه مشخص کردن پایداری، مقاومت نهایی و شکل پذیری اتصالات نمودند [۲].  
تیلور<sup>۳</sup> از جمله دانشمندانی بود که مطالعاتش بر روی دینامیک موج های انفجار ناشی از مواد منفجره نقش بسیار زیادی در پیشرفت مرکز تحقیقات وزارت دفاع بریتانیا در سال های بین ۱۹۳۶ تا ۱۹۵۰ داشت. مقالات ابتدایی وی در مورد انتشار و استهلاك موج های انفجار ناشی از سلاح های متعارف بود ولی مطالعات بعدی وی بر روی رفتار موج های انفجار ناشی از نخستین انفجار اتمی در نیومکزیکو در سال ۱۹۴۶ متمرکز شد [۳].

چن<sup>۴</sup> و همکارش در سال ۲۰۰۵ از روش المان ترکیبی برای تحلیل انفجار و آتش استفاده کردند [۴]. بدین ترتیب که برای مدل سازی اعضای قاب که در معرض اثرات مستقیم انفجار و آتش نمی باشند، از المان beam

2 Krauthammer  
3 Taylor  
4 Longdon

\*نویسنده عهده دار مکاتبات: ar-goltabar@nit.ac.ir

1 Friedlander equation

میراگر، روشی مناسب به منظور افزایش برخی شاخص‌های رفتار میراگر مانند تعداد چرخه‌های قابل تحمل، میزان جذب انرژی و همچنین ظرفیت خمیری کشش و فشار میراگر بوده و اثر اندرکنش بین فوم و جدار آکاردئونی در افزایش جذب انرژی و افزایش ظرفیت خمیری سیستم به ویژه برای نمونه‌های جدار نازک آکاردئونی با ظرفیت باربری پایین، چشمگیر است [۸]. در سال ۲۰۱۰ نیز حیدری و همکارانش طی مطالعاتی که بر روی میراگرهای جدار نازک آکاردئونی داشتند، این میراگرها را برای مقاوم سازی سازه و ترکیب با بادبند شونر پیشنهاد نمودند [۹]. منیر در سال ۲۰۱۳ به بررسی رفتار میراگرهای غیر فعال تسلیمی در سازه‌های فولادی برای مقابله با اثر انفجار پرداخت. در یک سازه که با انعطاف پذیری جانبی بالا طراحی شده است، انرژی غیر فعال جذب شده می‌تواند انرژی انفجار داخلی را کاهش دهد. اما این شرایط باعث می‌شود که قاب پس از استهلاک انرژی به حالت اولیه خود برنگردد. ایشان در این تحقیق با ساخت یک میراگر تک متغیره غیرفعال به بررسی این مسئله پرداختند، که تحت بارگذاری کششی و فشاری رفتار متفاوتی را دارا خواهد بود. این میراگر، اضافه نیروی وارد شده به قاب را فقط در حالتی که از وضعیت تعادل خود دور شده است جذب می‌کند. هنگامی که قاب به سمت موقعیت اولیه خود حرکت می‌کند دستگاه غیرفعال شده و هیچ مانعی برای جابجایی سازه وجود نخواهد داشت. با استفاده از میراگر پیشنهادی در یک قاب انعطاف پذیر یک سیستم مقاوم در برابر انفجار حاصل می‌شود که این سیستم با جذب کردن انرژی ناشی از انفجار آن را غیر فعال می‌کند [۱۰]. ناطقی و همکارش در سال ۲۰۱۵ برای بهبود رفتار میراگرهای فلزی آکاردئونی به بررسی اثرات تعداد لایه‌های و پارامترهای تاثیر گذار پرداختند. میرایی میراگر به وسیله آزمایش تخمین زده شد و به وسیله تجزیه و تحلیل نرم افزاری، پارامترها مورد بررسی قرار گرفتند. مطالعات آزمایشگاهی در نمونه‌های تک لایه‌ای و دو لایه‌ای تحت بارگذاری محوری انجام شد. مدل سازی نرم افزاری نیز بر روی مدل‌های تک لایه‌ای و همچنین مدل‌های چند لایه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. سپس نتایج آن با نتایج آزمایشگاه صحت سنجی شد. همچنین تاثیر پارامترهای هندسی با قرار گیری تعداد لایه‌ها تخمین زده شد و طرح هندسی ایده آل پیشنهاد شد. این نتایج نشان داد که افزایش تعداد لایه‌ها سبب استهلاک بیشتر انرژی وارده به سازه شده که علت آن پایدارتر شدن سازه به علت تعداد بیشتر لایه‌های آکاردیونی است [۱۱].

## ۲- مدل سازی اجزای محدود به کمک نرم افزار

در این پژوهش، قاب‌های فولادی ۱ و ۴ طبقه‌ای در دو حالت ساده و مجهز به میراگر در نرم افزار ABAQUS مدل سازی، و تحت دو بار انفجاری با مقادیر مختلف به روش تحلیل دینامیکی غیر خطی آنالیز گردیده است. سپس نتایج حاصل از آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند.

و برای المان‌های بحرانی که در معرض انفجار و آتش قرار گرفته‌اند، از المان shell استفاده شده است. نتایج حاصل نشان داد، که این روش به قدر کافی برای در نظر گرفتن رفتار موضعی مقاطع و ناپایداری اعضا دقیق می‌باشد. متلی<sup>۱</sup> و همکارش در سال ۲۰۰۶ از نرم افزار ABAQUS برای بررسی کاربرد طناب‌های الیاف مصنوعی در قاب پرتال فولادی برای افزایش مقاومت در برابر بارهای انفجاری استفاده کردند. در این تحقیق سعی گردید تا اثر میراگرهای جاری شونده که در مقابل زلزله عملکرد خوبی دارند، در مقابل بارگذاری انفجاری استفاده گردد. برای این منظور یک قاب فولادی را در نظر گرفتند که در معرض ۱۳۵۰ کیلوگرم TNT در فواصل مختلف قرار داشت. پس از بررسی‌ها مقایسه بین نتایج قاب فولادی مهاربندی شده و مهاربندی نشده نشان داد که طناب‌های الیاف مصنوعی می‌توانند به طور قابل توجهی پاسخ قاب را کاهش دهند [۵].

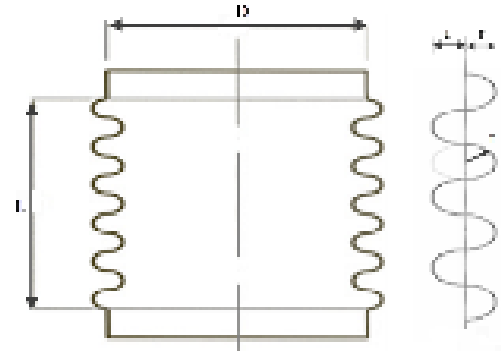
دانشی و همکارش ایجاد شیارهای<sup>۲</sup> حلقوی یک در میان در داخل و خارج لوله‌های جدار نازک دایره‌ای را به عنوان روش موثری در تقویت یکنواختی در رفتار نمودار بار-تغییر مکان و همچنین ظرفیت جذب انرژی در این نقاط معرفی کردند و بیان نمودند که نسبت قطر به ضخامت لوله و همچنین فاصله و عمق شیارها در تبدیل مد کمانشی الماسی به آکاردئونی تاثیر دارد. سپس یک مدل ریاضی نیز برای رفتار و جذب انرژی این لوله‌ها توسعه دادند. از نتایج آزمایش‌های صورت گرفته مشاهده گردید که با کاهش فواصل شیارها، بار کمانش اولیه، کاهش می‌یابد و همچنین ایجاد شیار میزان جذب انرژی را نسبت به لوله‌های ساده کاهش می‌دهد [۶].

معمدنی و همکارش از لوله جدار نازک آکاردئونی تحت بار چرخه‌ای به منظور تحریک الگوی کمانش آکاردئونی و در نتیجه افزایش جذب انرژی استفاده کردند. از آنجایی که بیشتر میراگرهای فلزی توسعه یافته در محدوده تغییر شکل‌های کوچک کاربرد دارند، ایشان بیان نمودند که ایده میراگر پیشنهادی قابلیت تحمل تغییر شکل‌های بزرگ را از طریق ایجاد مود کمانش آکاردئونی دارا می‌باشد. همچنین از لوله‌های جدار نازک آکاردئونی می‌توان به عنوان میراگر فلزی جاری شونده استفاده نمود. ایشان چهار شکل هندسی را برای میراگر پیشنهاد نمودند و در ادامه اعلام نمودند که از میراگر پیشنهادی می‌توان برای مقاوم سازی قاب‌های فولادی استفاده کرد [۷].

ایزدی زمان آبادی و همکارانش پس از معرفی میراگر آکاردئونی فلزی پرشده، شاخص‌های رفتاری میراگر پر شده و تو خالی برای بارگذاری محوری چرخه‌ای را مطالعه و بررسی نمودند. بدین منظور ابتدا به روش تحلیل اجزای محدود، مشخصات تقریبی پلیمر پر کننده تعیین و سپس چهار نمونه آزمایشگاهی شامل دو نمونه میراگر پر شده با نوع خاصی فوم پلیمریک و دو نمونه میراگر تو خالی متناظر با آنها در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان داده است که استفاده از ماده پر کننده مناسب در داخل

۲-۱- صحت سنجی نرم افزار

به منظور بررسی صحت مدل سازی عددی از مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته در مرجع [۸] استفاده شده است. شکل و مشخصات هندسی لوله های جدار نازک آکاردئونی نمونه مورد آزمایش در شکل ۱ و جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱: لوله جدار نازک آکاردئونی به همراه شکل هندسی جداره آن [۸]

Fig. 1. Geometry shape of Accordion thin-walled tube

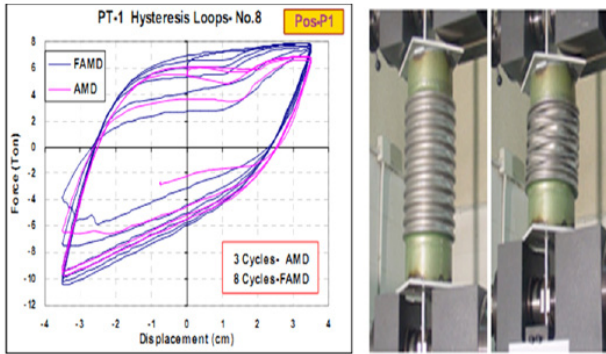
جنس این لوله از فولاد ضد زنگ A304 با تنش حد جاری شدن ۲۱۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، تنش حد نهایی ۵۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و کرنش حد گسیختگی ۶۰٪ است. پارامترهای معرفی شده در جدول ۱ به ترتیب: D قطر لوله، L طول لوله، t ضخامت جداره، r شعاع پلیسه، d طول بخش مستقیم پلیسه و n تعداد پلیسه ها می باشند.

جدول ۱: مشخصات هندسی نمونه مورد آزمایش

Table 1. Geometric characteristics of laboratory sample

n	d (mm)	r (mm)	t (mm)	L (mm)	D (mm)	نوع فولاد
۸	-	۸	۲	۲۵۶	۱۵۰	A 304

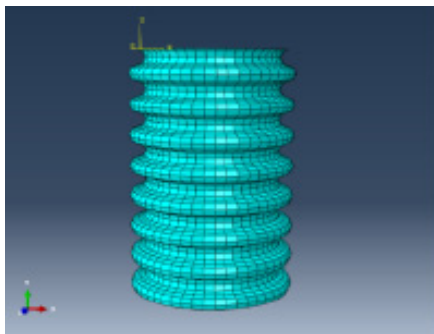
الگوی بارگذاری وارده از نوع سینوسی با دامنه متغیر بوده که از  $\pm 10$  میلیمتر آغاز شده و تا  $\pm 35$  میلیمتر تغییر یافته است. در حین انجام این آزمایش بدنه لوله های جدار نازک اندکی گرم شدند. شکل ۲ تغییر شکل محوری نمونه مورد آزمایش را در حالت کشش و فشار و رفتار هیسترتیک این لوله را تحت آزمایش دینامیکی نشان می دهد. همان طور که مشاهده می گردد رفتار لوله در کشش و فشار یکسان نیست.



شکل ۲: تغییر شکل محوری همراه با منحنی هیسترتیز لوله جدار نازک آکاردئونی (نمودار AMD) [۸]

Fig. 2. The axial deformation with the hysteresis curve of Accordion thin walled tube

در این بخش مدل آزمایشگاهی تشریح شده، به صورت عددی مدل سازی گردیده است. مدل عددی از نظر مشخصات هندسی و مصالح، با مدل آزمایشگاهی مطابقت دارد. در شکل ۳ نمونه مدل سازی شده عددی برای صحت سنجی مدل سازی، نشان داده شده است.



شکل ۳: مدل سازی عددی به روش اجزای محدود و مش بندی

Fig. 3. Numerical Modeling by Finite Element Method

شکل ۴ نتایج به دست آمده از تحلیل این مدل سازی را نشان می دهد. رفتار هیسترتیک به دست آمده از تحلیل این نمونه در برابر بارهای فشاری تطابق بهتری را نسبت به نتایج آزمایشگاهی از خود نشان می دهد. با اصلاح برخی پارامترهای معرفی شده در مدل سازی رفتار مصالح، می توان به تطابق بهتری دست یافت.

جدول ۳: مشخصات الاستیک فولاد مورد استفاده  
Table 3. Elastic properties of steel used

ضریب پواسون	ضریب الاستیسیته (kg/Cm <sup>2</sup> )	چگالی (kg/Cm <sup>3</sup> )
۰/۳	۲/۱×۱۰ <sup>۶</sup>	۷۸۵۰×۱۰ <sup>-۶</sup>

رابطه تنش-کرنش به صورت الاستیک-پلاستیک فرض گردید و مشخصات پلاستیک آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: ویژگی‌های پلاستیک فولاد مورد نظر

Table 4. Plastic properties of steel used

کرنش	تنش (Kg/cm <sup>2</sup> )
۰	۳۰۰۰
۰/۳۵	۴۰۰۰

جهت مدل‌سازی هندسی، کل اعضای قاب از نوع Shell مدل‌سازی شدند تا اثرات غیرخطی ناشی از برش زیاد ایجاد شده‌ی بار انفجاری، به صورت دقیق‌تری لحاظ گردند. برای نوع تحلیل نیز از تحلیل مسایل دینامیکی به روش Explicit و مدت زمان تحلیل ۰/۲۵ ثانیه در نظر گرفته شد. این زمان فرصت مناسبی به قاب می‌دهد تا پاسخ کاملی به انفجار از خود نشان دهد. تکیه‌گاه‌های پایه ستون‌ها به صورت گیردار مدل گردید و اتصال تیر به ستون‌ها در مونتاز کردن<sup>۱</sup> مدل به صورت صلب در نظر گرفته شدند. برای مش‌بندی عضوها از المان S4R استفاده گردید.

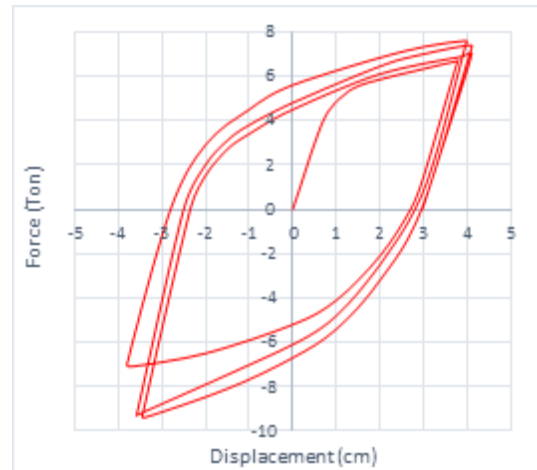
در این پژوهش جهت بررسی دقیق تر اثر انفجار از دو مقدار بار انفجاری در مدل‌سازی‌ها استفاده شد. در نیم قرن اخیر تحقیقات زیادی در مدل کردن بارهای انفجاری انجام شده است و نتایجی از رابطه بین حداکثر نیروی استاتیکی حاصله از بارهای انفجاری که ماهیتی دینامیکی دارند و طراحی سازه‌ها بر طبق این حداکثر نیروی استاتیکی به دست آمده است.

در این تحقیق P<sub>max</sub> به عنوان حداکثر نیروی استاتیکی حاصل از بار انفجاری معرفی شده است که این نیروی حداکثر با فاصله محل انفجار تا سازه مورد نظر رابطه‌ی عکس دارد و فاصله مقیاس شده معرفی شده در این تحقیق که با Z نشان داده شده است، از رابطه‌ی ۲ به دست می‌آید [۱۲].

$$Z=R/W^{(1/3)} \quad (2)$$

که R فاصله مورد نظر برحسب متر و W وزن ماده منفجره (TNT) بر حسب کیلوگرم می‌باشد.

با داشتن Z و با استفاده از شکل ۵ P<sub>s max</sub> بدست می‌آید.



شکل ۴: منحنی هیستریزس مدل عددی

Fig. 4. Hysteresis curve of numerical model

مقایسه نتایج به دست آمده از نمونه آزمایشگاهی و نمونه عددی شبیه سازی شده نشان می‌دهد که دامنه تغییر شکل در مدل آزمایشگاهی و مدل عددی بسیار نزدیک به هم می‌باشد (هر دو حدود ۳ الی ۴ سانتیمتر). در جدول ۲ تفاوت ظرفیت باربری در کشش و فشار در هر دو نمونه آورده شده است. نتایج نشان داده شده، حاکی از قابل اعتماد بودن نتایج تحلیل رایانه‌ای بوده و در نتیجه می‌توان از آن برای مطالعات پارامتری بعدی استفاده نمود.

جدول ۲: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی

Table 2. Comparison of laboratory and numerical results

ظرفیت باربری در کشش (ton)	ظرفیت باربری در فشار (ton)	
۶/۷	۹/۹	مدل آزمایشگاهی
۷/۶	۹/۲	مدل تحلیلی
۱۱/۹	۷/۶	اختلاف %

## ۲-۲- مدل‌سازی قاب فولادی یک طبقه ساده

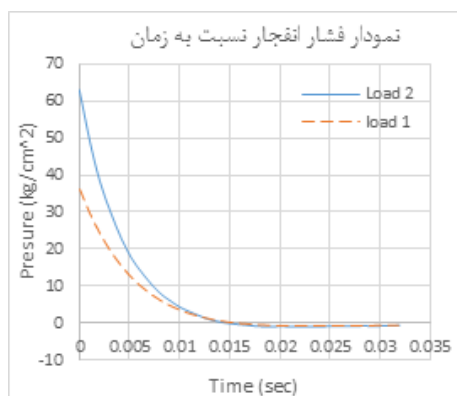
به منظور بررسی اثر میراگرهای جدارنازک آکاردئونی و تاثیرات جانمایی اینگونه میراگرها در کاهش پاسخ قاب‌ها تحت بار انفجار، ابتدا قاب فولادی یک طبقه مدل‌سازی گردید. ارتفاع قاب مورد بررسی ۳ متر و طول دهانه ۴ متر می‌باشد. پروفیل مقطع ستون قاب یک طبقه، از نوع ۱۰×۱۰ Box و به ضخامت ۰/۵ سانتیمتر و مقطع تیر از نوع IPE ۱۴۰ می‌باشد. همچنین طول ستون ۳۰۰ سانتی متر و طول تیر ۴۰۰ سانتیمتر می‌باشد. مقدار چگالی فولاد مورد نظر مطابق جدول ۳ برابر ۷۸۵۰×۱۰<sup>-۶</sup> کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب و ضریب پواسون برابر ۰/۳ و مدول الاستیسیته ۲/۱×۱۰<sup>۶</sup> کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و همچنین تنش حد تسلیم ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شده است.

جدول ۵: مشخصات بارهای وارده

Table 5. Characteristics of applied loads

نوع بارگذاری	حداکثر فشار (kg/Cm <sup>2</sup> )
بارگذاری اول	۳۶
بارگذاری دوم	۶۳

اما از آنجا که این بارگذاری در مدت زمان کمی و در حد میلی ثانیه اتفاق می افتد و همچنین نسبت به زمان متغیر می باشد، باید تغییرات آن نسبت به زمان را نیز مدنظر قرار داد و به مدل مساله اعمال کرد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود، پس از اعمال مقدار حداکثر بار وارده به نرم افزار باید تغییرات آن نسبت به زمان نیز لحاظ گردد. تغییرات بار وارده نسبت به زمان در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: نمودار فشار انفجار نسبت به زمان برای بارگذاری اول و دوم

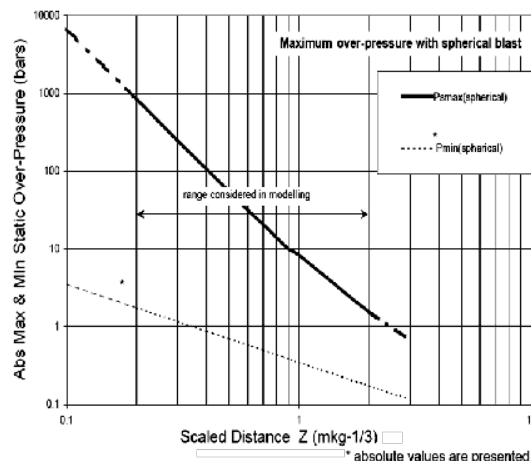
Fig. 6. Blast pressure diagram for blast loading 1 and 2

همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می شود مقدار بار با گذشت زمان به شدت کاهش می یابد تا جایی که مقدار آن منفی گشته و پدیده مکش روی می دهد.

۲-۳- مدل سازی قاب فولادی یک طبقه مجهز به میراگر

در این بخش از میراگر های آکاردئونی جهت تقویت قاب استفاده شده است. همچنین دو روش جهت جایگذاری میراگر و افزایش مقاومت انفجاری قاب مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در حالت اول میراگر با استفاده از مهاربند در تراز سقف (حالت الف) قرار گرفته است، و در حالت دوم میراگر جهت کاهش حداکثر تغییر مکان در میانه ستون (حالت ب) تعبیه گردیده است.

جهت مدل سازی میراگر از لوله های جدار نازک آکاردئونی مطابق با شکل هندسی و مشخصات جدول ۶ استفاده شده است. برای نوع و خصوصیات فولاد مصرفی جهت میراگر، از همان مصالح استفاده شده در تیر و ستون قاب استفاده گردیده است. در شکل ۱ نمونه ای از میراگر مدل سازی شده نمایش داده شده است.



شکل ۵: نمودار حداکثر و حداقل نیروی استاتیکی حاصله از انفجار در مدل کروی [۱۲]

Fig. 5. Abs Max and Min static over- pressure with spherical blast

رابطه ۳ که نشان دهنده بار دینامیکی حاصل از انفجار است در زیر نشان داده شده است [۱۳]:

$$P_s(t) = 1.8 P_{sMAX} (1 - t/T_s) e^{-(bt)/T_s} \quad (3)$$

در رابطه ۳ ضریب ۱/۸ نشان دهنده در نظر گرفتن تاثیرات شبه کره ای انفجار، پارامتر b ضریب کنترل کننده کاهش دامنه و  $T_s$  مدت زمان انفجاری می باشد.  $T_s$  با فاصله R کنترل می شود که در زیر رابطه بین  $T_s$  و R آمده است:

$$\log_{10}(T_s/W^{1/3}) = -2.75 + 0.27 \log_{10}(R/W^{1/3}) \quad (4)$$

رابطه بین Z و b نیز در رابطه ۵ آمده است:

$$b = Z^2 - 3.7Z + 4.2 \quad (5)$$

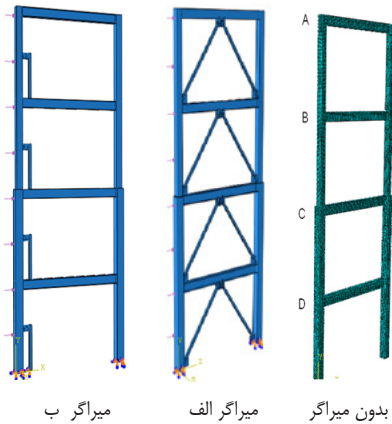
با استفاده از روابط فوق می توان مقدار بار ناشی از انفجار مواد منفجره را بدست آورد.

در این پژوهش از دو بارگذاری با مقادیر متفاوت استفاده شده است. در بارگذاری اول ۱۰۰۰ کیلوگرم TNT در فاصله ۷ متری از قاب و در بارگذاری دوم همان مقدار ماده منفجره در فاصله ۶ متری از ساختمان در نظر گرفته شده است. مقدار بارهای وارده و بدست آمده از روابط بالا در جدول ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است بار وارده از نوع فشاری بوده که در مدت زمان بسیار کمی به سطح ستون مقابل انفجار وارد خواهد شد.



۲-۵- مدل سازی قاب فولادی چهار طبقه مجهز به میراگر

در قاب چهار طبقه مجهز به میراگر نیز از اعضای مشابه با قاب یک طبقه مجهز به میراگر (میراگر، مهاربند، صفحات اتصال) استفاده شده است. هم چنین در قاب چهار طبقه نیز همانند قاب یک طبقه از دو روش جابگذاری جهت استفاده میراگرها در قاب استفاده شده است. در شکل ۸ نمایی از قاب چهار طبقه مجهز به میراگر آورده شده است.



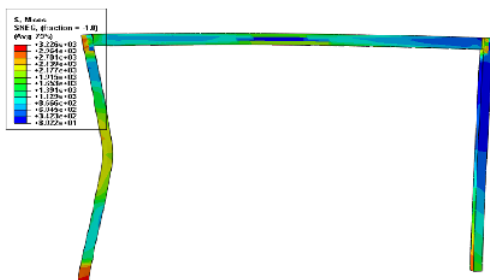
شکل ۸: نمایی از قاب چهار طبقه مجهز به میراگر

Fig. 8. View of Four-story frames with and without dampers and braces

۳- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی

۳-۱- تحلیل قاب یک طبقه ساده تحت بارگذاری اول ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

در هر تحلیل، تاریخچه‌ی جابجایی و تغییر شکل چندین نقطه‌ی کلیدی از قاب اندازه‌گیری شده است و نمودارهای به‌دست آمده از آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این نقطه‌ها شامل میانه‌ی ستون (B) و گوشه‌ی بالایی ستون مقابل انفجار (A) می‌باشند (شکل ۸). در نخستین تحلیل، قاب یک طبقه (قاب تنها) تحت بار انفجاری ( $36 \text{ kg/cm}^2$ ) مورد تحلیل قرار گرفت. این انفجار سبب تغییر شکل‌های پلاستیک در قاب گردید. بررسی نتیجه‌های به‌دست آمده از این انفجار نشان می‌دهد که محل اتصال تیر به ستون در سمت انفجار و هم چنین تکیه‌گاه ستون سمت انفجار و میانه ستون بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک را به خود می‌گیرند. شکل ۹ کانتور تنش فن میسز ایجاد شده در قاب را نشان می‌دهد.



شکل ۹: نمونه‌ای از توزیع تنش فن میسز قاب تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

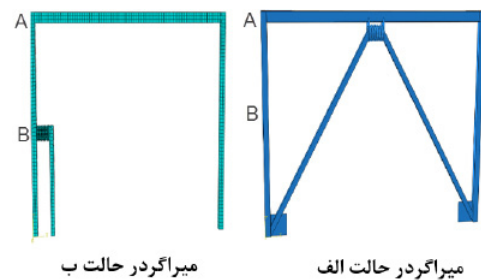
Fig. 9. Von-mises stress contour for one story single frame under a blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

جدول ۶: مشخصات هندسی میراگر

Table 6. Geometric characteristics of damper

n	d (cm)	r (cm)	t (cm)	L (cm)	D (cm)
۸	۱	۱	۰/۳	۲۸	۲۰

جهت استفاده میراگر در قاب در حالت (الف) از مهاربندهای با نوع مقطع  $8 \times 8 \text{ cm}$  Box و جهت اتصال مهاربند به ستون و میراگر آکاردئونی به تیر از  $30 \times 30 \times 2 \text{ cm}$  PL استفاده شده است. در حالت (ب) نیز از یک عضو به صورت نیم ستون با همان سطح مقطع مهاربند جهت اتصال میراگر به میانه ستون استفاده شده است. در شکل ۷ نمایی از قاب‌های مجهز به میراگر آورده شده است.



شکل ۷: نمایی از قاب مجهز به میراگر در دو حالت

Fig. 7. View of one-story frame with damper in two types

۲-۴- مدل سازی قاب فولادی چهار طبقه

پس از مدل سازی قاب یک طبقه به مدل سازی قاب چهار طبقه پرداخته شد. لازم به ذکر است در قاب چهار طبقه نیز ارتفاع هر طبقه ۳ متر و طول دهانه هر طبقه ۴ متر می‌باشد. جهت مدل سازی قاب چهار طبقه از دو نوع ستون استفاده شده است. برای ستون‌های طبقات اول و دوم از  $30 \times 30 \times 1/6 \text{ cm}$  Box استفاده شده و برای ستون‌های طبقه سوم و چهارم از  $24 \times 24 \times 1/42 \text{ cm}$  Box استفاده گردیده است. سطح مقطع تیر مورد استفاده در قاب چهار طبقه به شرح جدول ۷ می‌باشد.

جدول ۷: ابعاد مقطع تیر قاب چهار طبقه

Table 7. cross-sectional dimensions of beam in four story frame

تیر I شکل	
W	F
$1 \times 30 \text{ cm}$	$1/5 \times 24 \text{ cm}$

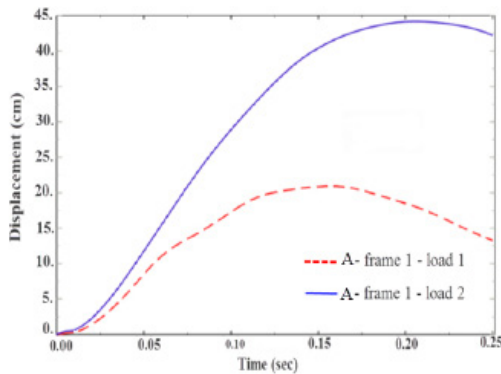
در جدول ۷، F معرف بال و W معرف جان تیر می‌باشد. در شکل ۸ نمایی از قاب چهار طبقه ساده آورده شده است. لازم به ذکر است. در قاب چهار طبقه نیز از مشخصات مصالح قاب یک طبقه استفاده شده است.



شکل ۱۱: ناحیه‌های تغییرشکل پلاستیک قاب یک طبقه تحت انفجار (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)

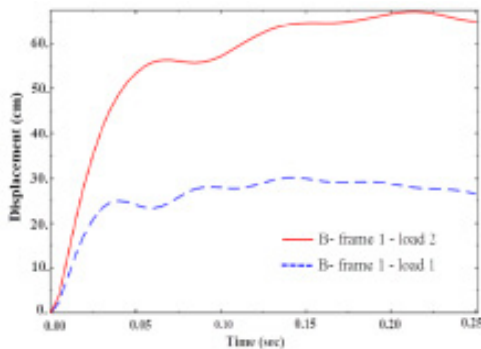
Fig. 11. Plastic deformation of one story frame under blast loading (63 kg/cm<sup>2</sup>)

جهت مقایسه بهتر تاثیر شدت انفجار بر پاسخ قاب، نمودارهای تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های A و B برای هر دو انفجار به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: مقایسه‌ی نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در دو انفجار در قاب یک طبقه ساده

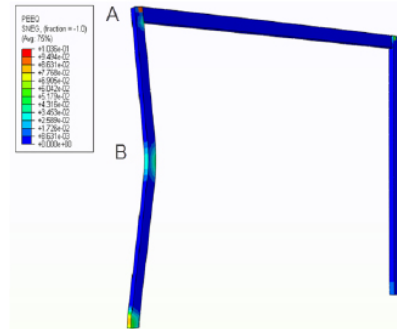
Fig. 12. Comparison of Time history for the displacement of joint A in a single frame under two blast loading



شکل ۱۳: مقایسه‌ی نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در دو انفجار در قاب یک طبقه ساده

Fig. 13. Comparison of Time history for the displacement of joint B in a single frame under two blast loading

همچنین در شکل ۱۰ نیز کانتور تغییرشکل پلاستیک نهایی قاب (sec) آورده شده است. ناحیه‌های آبی در کانتور تغییرشکل پلاستیک الزاما بیانگر مقدار صفر نیستند.



شکل ۱۰: ناحیه‌های تغییرشکل پلاستیک قاب تحت انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)  
Fig. 10. Plastic deformation of frame under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

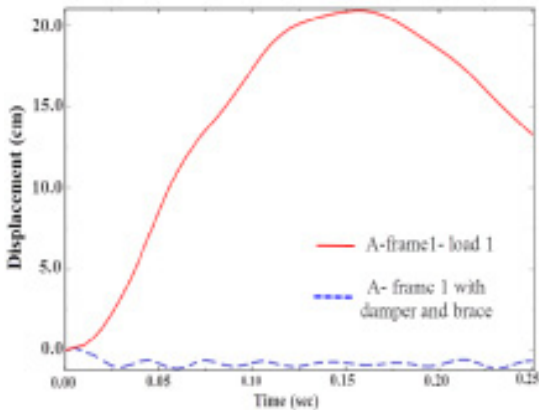
با دقت در این دو شکل می‌توان دریافت که بیشترین تغییرشکل‌ها در میانه ستون مقابل انفجار و در محل‌هایی از قاب ایجاد شده که دارای بیشترین تنش اعمالی بودند. این نوع از تغییرشکل‌ها سبب به وجود آمدن کرنش پلاستیک در قاب می‌شوند. با گذشت زمان و رسیدن به پایان انفجار، بخشی از این تغییر شکل‌ها به‌طور ماندگار باقی مانده و تغییرشکل‌های پلاستیک را سبب می‌شوند. نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A و B برای بار انفجاری اول به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ آورده شده است. همانطور که در این شکل‌ها نشان داده شده است، بیشینه جابجایی قاب مربوط به نقطه‌ی B به مقدار ۳۰/۱۸ cm می‌باشد و مقدار جابه جایی نقطه A برابر ۲۰/۹۰ cm می‌باشد.

### ۳-۲- تحلیل قاب یک طبقه تحت بارگذاری دوم (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)

دومین انفجاری که روی قاب مورد بررسی قرار گرفت مربوط به انفجار بزرگ‌تر با شدت ۶۳ kg/cm<sup>2</sup> می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود با نزدیک شدن یک متری فاصله انفجار، مقدار بار وارده به شدت افزایش داشته است. این انفجار سبب تغییر شکل‌های پلاستیک چشمگیری به‌ویژه در سرستون و میانه ستون سمت انفجار می‌گردد. بیشینه تغییر شکل قاب در نقطه‌ی B به اندازه‌ی ۶۷/۱۶ سانتیمتر می‌باشد. در شکل ۱۱ نیز تغییر شکل پلاستیک قاب تحت بارگذاری دوم آورده شده است. مطابق این شکل، جابجایی بزرگی در سرستون و میانه ستون سمت انفجار اتفاق افتاده در حالی که تیر قاب تغییرشکل کوچکی را تجربه کرده است.

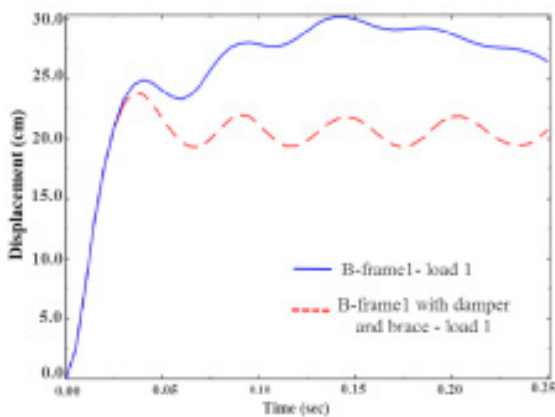
از مقایسه تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های کلیدی قاب می‌توان دریافت که پاسخ قاب در نقطه‌ی B شدیدتر از نقطه‌ی A می‌باشد. به‌طوری که برای این انفجار بیشینه‌ی جابجایی این دو نقطه به ترتیب برابر ۶۷/۱۶ و ۴۴/۱۶ سانتیمتر بوده است. علت این موضوع را می‌توان در خاص بودن هندسه‌ی ستون باکس شکل و نزدیک بودن سختی تیر به ستون جستجو کرد.

تاثیر به کارگیری میراگر بر پاسخ قاب به انفجار اول بسیار چشم‌گیر بوده است. این موضوع به روشنی در نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A، B، که به ترتیب در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ آورده شده، نمایان است. با دقت در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ می‌توان دریافت که میراگر تاثیر قابل توجهی بر جابجایی سرستون‌ها (نقطه‌ی A) داشته‌اند. در جدول ۸ مقدارهای بیشینه جابجایی نقطه‌ی A و B در ۲ حالت بدون میراگر و با میراگر، آورده شده است. تحلیل کلی جدول ۸ نشان می‌دهد که با استفاده از میراگر، بیشینه جابجایی سرستون سمت انفجار کاهش قابل توجهی یافته است.



شکل ۱۶: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر (الف) و قاب بدون میراگر

Fig. 16. Comparison of Time history for the displacement of joint A in one-story frame with damper (type 1) and without damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)



شکل ۱۷: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر (الف) و قاب بدون میراگر

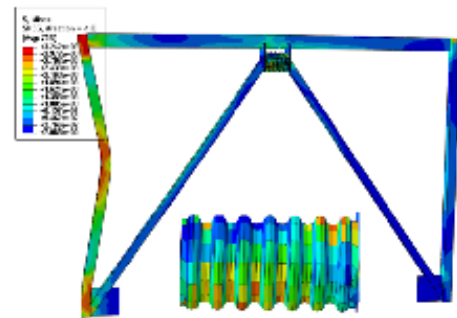
Fig. 17. Comparison of Time history for the displacement of joint B in one-story frame with damper (type 1) and without damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

شدت انفجار، بیشینه جابجایی نقطه‌های A و B به ترتیب ۲/۱۱ و ۲/۲۲ برابر رشد می‌کند. رشد بالاتر میزان جابجایی نقطه‌ی B به دلیل تغییر شکل پلاستیک موضعی شدیدی است که با افزایش شدت انفجار، در آن ایجاد می‌شود.

۳-۳- تحلیل قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) تحت بارگذاری اول (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

همان‌طور که در بالا نتیجه شد، "قاب تنها" در برابر انفجارهای بزرگ دچار چنان تغییرشکل‌هایی می‌شود که از توان باربری آن تا حد زیادی کاسته می‌شود. این موضوع ضرورت تقویت آن را نشان می‌دهد. در این بخش از میراگرهای آکاردئونی جهت تقویت قاب استفاده شده است.

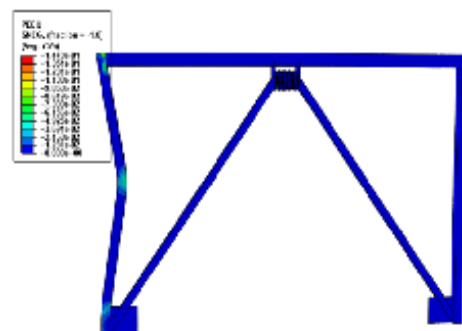
بررسی نتیجه‌های به دست آمده از این تحلیل نشان می‌دهد که در محل اتصال تیر به ستون، تکیه‌گاه ستون، میانه ستون سمت انفجار و میراگر بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک رخ می‌دهد. شکل ۱۴ کانتور تنش فن‌میسز ایجاد شده در قاب را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: نمونه‌ای از توزیع تنش فن‌میسز قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) تحت انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 14. Von-mises stress contour for one-story frame with damper (type 1) under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

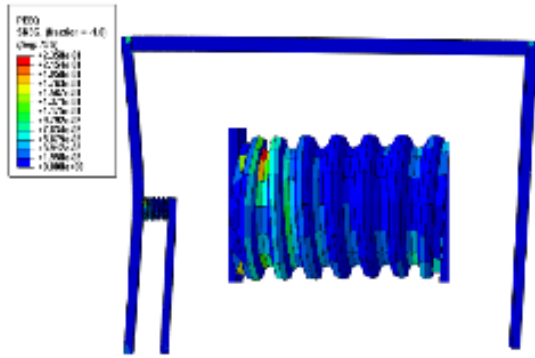
در شکل ۱۵ کانتور تغییرشکل پلاستیک نهایی قاب مجهز به میراگر (t=۰/۲۵ sec) آورده شده است.



شکل ۱۵: ناحیه‌های تغییرشکل پلاستیک قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) تحت انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 15. Plastic deformation of one-story frame with damper (type 1) under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)



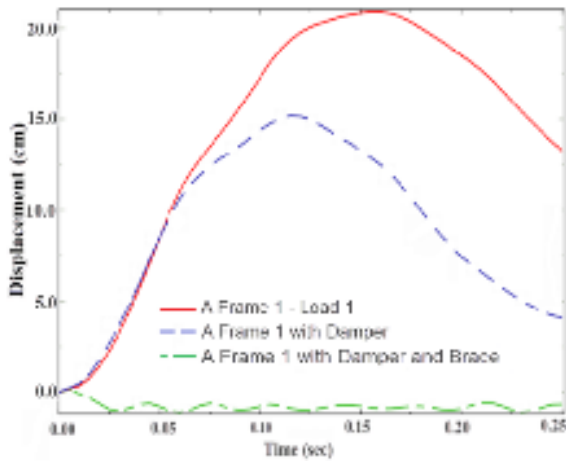


شکل ۱۹: ناحیه‌های تغییرشکل پلاستیک قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (ب) تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 19. Plastic deformation of one-story frame with damper (type 2) under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

از مقایسه تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های کلیدی قاب می‌توان دریافت که پاسخ قاب در نقطه‌ی A شدیدتر از نقطه‌ی B می‌باشد. به طوری که برای این انفجار بیشینه‌ی جابجایی این دو نقطه به ترتیب برابر  $15/18$  و  $13/27$  سانتیمتر بوده است.

در شکل های ۲۰ و ۲۱، مقایسه حالت های استفاده از میراگر در قاب در حالات (الف) و (ب) و بدون میراگر آورده شده است. در جدول ۸ مقادیر جابجایی نقطه‌ی A و B در ۳ حالت، یکی بدون میراگر و با میراگر در حالت های (الف) و (ب)، آورده شده است.



شکل ۲۰: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )، در قاب مجهز به میراگر در حالات (الف) و (ب) و قاب بدون میراگر

Fig. 20. Comparison of Time history for the displacement of joint A in one-story frame with damper (type 1 and type 2) and without damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

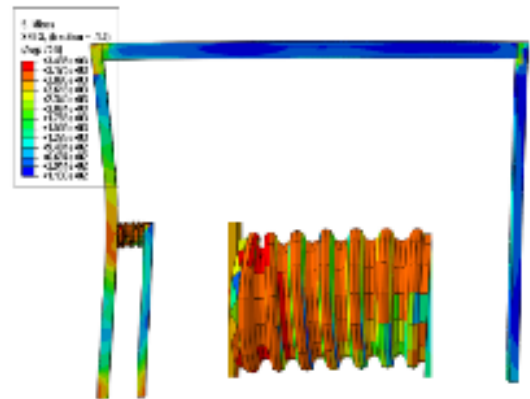
جدول ۸: مقایسه‌ی رفتار انفجاری قاب در نقطه‌های A و B در حالت‌های با میراگر در حالت های (الف) و (ب) و بدون میراگر برای انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Table 8. Comparison of behavior frames with damper (type 1 and type 2) and without damper in joints A and B under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

نقطه	نوع قاب	بیشینه جابه جایی (cm)	میزان تاثیر میراگر (%)
A	بدون میراگر	۲۰/۹	
A	با میراگر(الف)	۰/۱۵	۹۸
A	با میراگر(ب)	۱۵/۱۸	۲۷
B	بدون میراگر	۳۰/۱۸	
B	با میراگر(الف)	۲۳/۸۴	۲۱
B	با میراگر(ب)	۱۳/۲۷	۵۶

۳-۴- تحلیل قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (ب) تحت بارگذاری اول ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

از آنجا که در دو تحلیل قبل بیشترین تغییر مکان در میانه ستون سمت انفجار دیده شد، لذا برای تقویت قاب در این ناحیه در این مدل سازی از میراگر در میانه ستون سمت انفجار استفاده شده است. از آنجا که بیشترین تغییر مکان در حالت بدون میراگر در میانه ستون بوده است، لذا در این تحلیل میراگر دچار تغییر شکل‌های پلاستیک زیادی شده است.

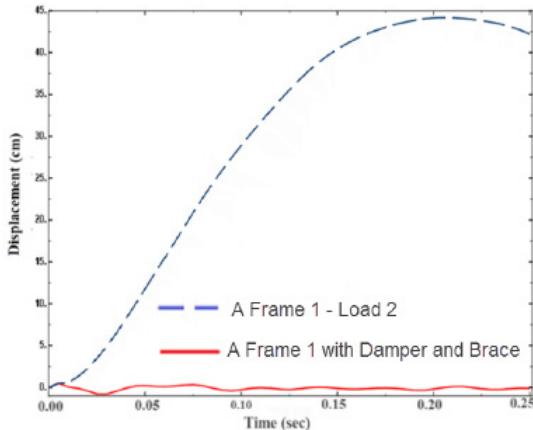


شکل ۱۸: نمونه‌ای از توزیع تنش فن میسز قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (ب) تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 18. Von-mises stress contour for one-story frame with damper (type 2) under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

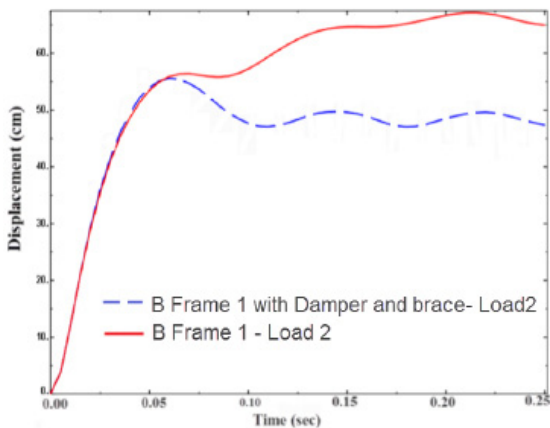
همچنین در شکل ۱۹ نیز کانتور تغییرشکل پلاستیک نهایی قاب آورده شده است.

جابجایی نقطه‌های A و B در این حالت در شکل ۲۴ نشان داده شده است. از مقایسه تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های کلیدی قاب می‌توان دریافت که بر خلاف بارگذاری اول در این حالت پاسخ قاب در نقطه‌ی B شدیدتر از نقطه‌ی A می‌باشد. به طوری که برای این انفجار بیشینه‌ی جابجایی این دو نقطه به ترتیب برابر  $35/67$  و  $29/08$  سانتیمتر بوده است. در جدول ۹ مقادیرهای بیشینه جابجایی نقطه‌ی A و B در ۳ حالت (بدون میراگر و با میراگر در حالت های الف و ب)، تحت بارگذاری دوم آورده شده است.



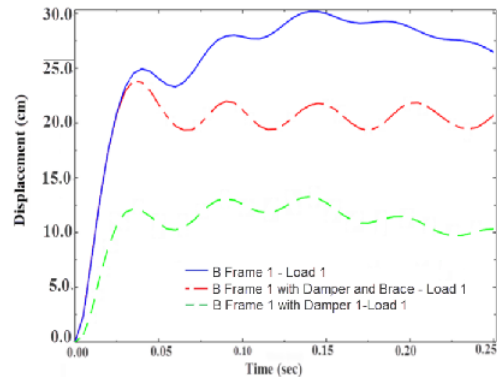
شکل ۲۲: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار  $(63 \text{ kg/cm}^2)$ ، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) و قاب بدون میراگر

Fig. 22. Comparison of Time history for the displacement of joint A in one-story frame with damper (type 1) and without damper under blast loading  $(63 \text{ kg/cm}^2)$



شکل ۲۳: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار  $(63 \text{ kg/cm}^2)$ ، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) و قاب بدون میراگر

Fig. 23. Comparison of Time history for the displacement of joint B in one-story frame with damper (type 1) and without damper under blast loading  $(63 \text{ kg/cm}^2)$



شکل ۲۱: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار  $(36 \text{ kg/cm}^2)$ ، در قاب مجهز به میراگر در حالت (الف) و (ب) و قاب بدون میراگر

Fig. 21. Comparison of Time history for the displacement of joint B in one-story frame with damper (type 1 and type 2) and without damper under blast loading  $(36 \text{ kg/cm}^2)$

تحلیل کلی شکل ۲۰ و ۲۱ و جدول ۸ نشان می‌دهد که با استفاده از میراگر در حالت الف، بیشینه جابجایی سرستون سمت انفجار کاهش قابل توجهی می‌یابد، اما در حالت ب جابجایی میانه ستون کاهش قابل توجهی می‌یابد. همچنین در حالت ب بیشترین تغییر مکان از لحاظ مقداری کمتر از حالت الف می‌باشد به طوری که در حالت الف بیشترین تغییر مکان مربوط به میانه ستون به مقدار  $23/84$  سانتیمتر و در حالت ب مربوط به سر ستون (تراز سقف) به مقدار  $15/18$  سانتیمتر می‌باشد.

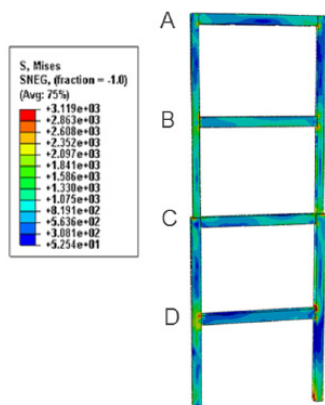
۳-۵- تحلیل قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) تحت بارگذاری دوم  $(63 \text{ kg/cm}^2)$

در این تحلیل قاب یک طبقه مجهز به میراگر تحت انفجار دوم مورد بررسی قرار می‌گیرد. تاثیر به کارگیری میراگر بر پاسخ قاب به انفجار دوم نیز  $(63 \text{ kg/cm}^2)$  بسیار چشم‌گیر بوده است. این موضوع به روشنی در نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A، B، به ترتیب در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ نمایان است. در این شکل‌ها نمودار تاریخچه‌ی جابجایی این نقطه‌ها در حالت با و بدون میراگر ترسیم گردیده است. همانطور که در دو نمودار شکل ۲۲ و ۲۳ مشاهده می‌شود، میراگر در این بارگذاری نیز تاثیری مشابه بارگذاری اول دارد و باعث بهبود رفتار قاب شده است.

۳-۵-۱- تحلیل قاب یک طبقه مجهز به میراگر در حالت (ب) تحت بارگذاری دوم  $(63 \text{ kg/cm}^2)$

از آنجا که در تحلیل قبل همانند بار انفجاری اول، بیشترین تغییر مکان در میانه ستون دیده شد، لذا برای تقویت قاب در این ناحیه در این بارگذاری نیز از میراگر در میانه ستون استفاده شده است. نمودار تاریخچه‌ی زمانی

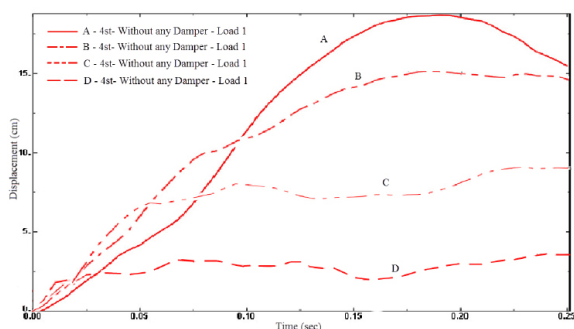
چهار طبقه نیز چندین نقطه کلیدی مانند شکل ۲۵ مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتیجه‌های به دست آمده از این انفجار نشان می‌دهد که در این تحلیل نیز محل اتصال تیر به ستون در سمت انفجار و هم‌چنین تکیه‌گاه ستون سمت انفجار بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک رخ می‌دهد.



شکل ۲۵: نمونه‌ای از توزیع تنش فن‌میسز قاب چهار طبقه تحت انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 25. Von-mises stress contour for four story frame under a blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

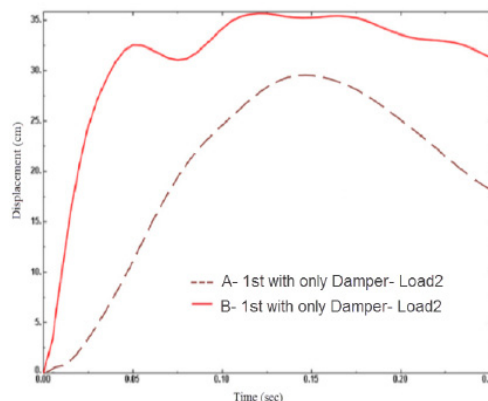
نمودار تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های A، B، C و D در شکل ۲۶ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، بیشینه جابجایی قاب مربوط به نقطه‌ی A به مقدار ۱۸/۶۷ cm می‌باشد و مقدار جابه‌جایی در دیگر نقاط کمتر است. از آنجا که مقدار تغییر مکان در ترازهای بالایی بیشتر شده و حداکثر آن در تراز سقف چهارم اتفاق می‌افتد، فقط نقاط A و B مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۲۶: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی طبقات مختلف در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، در قاب چهار طبقه بدون میراگر

Fig. 26. Comparison of Time history for displacement of Stories in four story frame without damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

۳-۵-۳- تحلیل قاب چهار طبقه ساده تحت بارگذاری اول (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)  
 در این تحلیل، قاب چهار طبقه تحت بار انفجاری ۳۶ kg/cm<sup>2</sup> مورد تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که تمامی گام‌های تحلیل مانند بار گذاری، نوع تحلیل و مش بندی، مانند قاب یک طبقه می‌باشد. برای قاب



شکل ۲۴: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A و B در قاب مجهز به میراگر در حالت (ب) تحت انفجار (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 24. Comparison of Time history for the displacement of joints A and B in one-story frame with damper (type 2) under blast loading (63 kg/cm<sup>2</sup>)

جدول ۹: مقایسه‌ی رفتار انفجاری قاب در نقطه‌های A و B در حالت‌های با میراگر در حالت‌های (الف) و (ب) و بدون میراگر برای انفجار (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)

Table 9. Comparison of behavior one-story frame with damper (type 1 and type 2) and without damper in joints A and B under blast loading (63 kg/cm<sup>2</sup>)

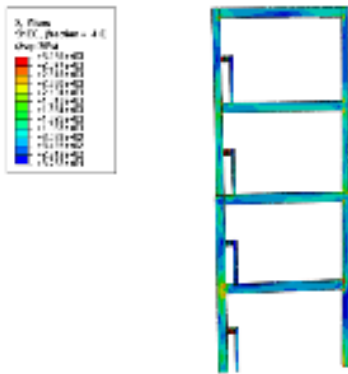
نقطه	نوع قاب	بیشینه جابه‌جایی (cm)	میزان تاثیر میراگر (%)
A	بدون میراگر	۴۴/۱۶	
A	با میراگر (الف)	۰/۵۱	۹۷
A	با میراگر حالت (ب)	۲۹/۰۸	۳۴
B	بدون میراگر	۶۷/۱۶	
B	با میراگر (الف)	۵۵/۵۶	۱۷
B	با میراگر حالت (ب)	۳۵/۶۷	۴۶

تحلیل کلی جدول ۹ نشان می‌دهد که در این انفجار با استفاده از میراگر در حالت الف، بیشینه جابجایی سرستون سمت انفجار کاهش قابل توجهی می‌یابد، اما در حالت ب جابه‌جایی میانه ستون کاهش قابل توجهی می‌یابد. هم‌چنین در حالت ب بیشترین تغییر مکان از لحاظ مقداری کمتر از حالت الف می‌باشد به طوری که در حالت الف بیشترین تغییر مکان مربوط به میانه ستون به مقدار ۵۵/۵۶ سانتیمتر و در حالت ب نیز مربوط به میانه ستون و به مقدار ۳۵/۶۷ سانتیمتر می‌باشد.

۳-۵-۲- تحلیل قاب چهار طبقه ساده تحت بارگذاری اول (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)  
 در این تحلیل، قاب چهار طبقه تحت بار انفجاری ۳۶ kg/cm<sup>2</sup> مورد تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که تمامی گام‌های تحلیل مانند بار گذاری، نوع تحلیل و مش بندی، مانند قاب یک طبقه می‌باشد. برای قاب

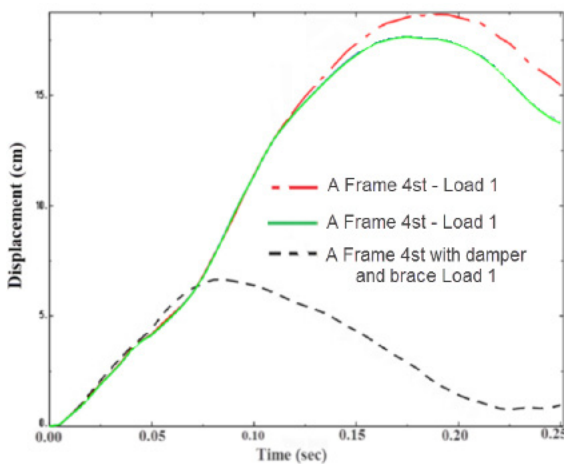
۳-۵-۵- تحلیل قاب چهارطبقه مجهز به میراگر در حالت (ب) تحت بارگذاری اول ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

بررسی نتیجه‌های به‌دست آمده از این انفجار نشان می‌دهد که در محل اتصال تیر به ستون در سمت انفجار و همچنین میراگرها بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک رخ می‌دهد. شکل ۲۹ کانتور تنش فن‌میسز ایجاد شده در قاب را نشان می‌دهد. همچنین در شکل‌های ۳۰ و ۳۱، مقایسه حالت‌های استفاده از میراگر در قاب چهار طبقه در حالت‌های (الف)، (ب) و بدون میراگر آورده شده است. در جدول ۱۰ مقادیرهای بیشینه جابجایی نقطه‌های A و B در ۳ حالت، یکی بدون میراگر و با میراگر در حالت‌های الف و ب، تحت بارگذاری اول آورده شده است.



شکل ۲۹: نمونه‌ای از توزیع تنش فن‌میسز قاب چهار طبقه مجهز به میراگر در حالت (ب) تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

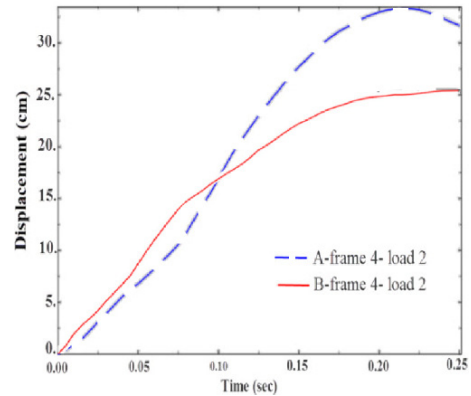
Fig. 29. Von-mises stress contour for four story frame with damper (type 2) under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )



شکل ۳۰: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )، در قاب چهار طبقه مجهز به میراگر در حالت الف و ب و قاب بدون میراگر

Fig. 30. Comparison of Time history for the displacement of joint A in four story frame with damper (type 1 and 2) and without damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A ، B در شکل ۲۷ نشان داده شده است.



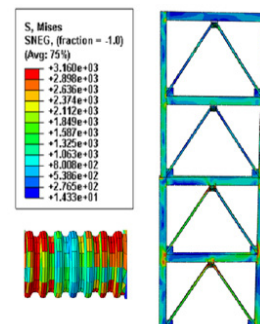
شکل ۲۷: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A و B در انفجار ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )، قاب چهار طبقه

Fig. 27. Comparison of Time history for the displacement of joints A and B in four story frame under blast loading ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

از مقایسه تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های کلیدی قاب می‌توان دریافت که پاسخ قاب در نقطه‌ی A شدیدتر از نقطه‌ی B می‌باشد. به‌طوری‌که بیشینه‌ی جابجایی این دو نقطه به‌ترتیب برابر  $33/32$  و  $24/92$  سانتیمتر بوده است.

۳-۵-۴- تحلیل قاب چهارطبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) تحت بارگذاری اول ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

در قاب چهار طبقه مجهز به میراگر نیز از اعضای مشابه با قاب یک طبقه مجهز به میراگر (میراگر، مهاربند، صفحات اتصال) استفاده شده است. بررسی نتیجه‌های به‌دست آمده از این انفجار نشان می‌دهد که در محل اتصال تیر به ستون در سمت انفجار و همچنین میراگرها بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک رخ می‌دهد. شکل ۲۸ کانتور تنش فن‌میسز ایجاد شده در قاب را نشان می‌دهد.



شکل ۲۸: نمونه‌ای از توزیع تنش فن‌میسز قاب چهار طبقه مجهز به میراگر در حالت (الف) تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 28. Von-mises stress contour for four story frame with damper (type 1) under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )



۳-۶- تحلیل قاب چهارطبقه مجهز به میراگر در حالت‌های (الف) و (ب) تحت بارگذاری دوم ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

در جدول ۱۱ مقادیرهای بیشینه جابجایی نقطه‌های A و B در ۳ حالت (با میراگر حالت (الف) و (ب) و بدون میراگر) تحت بارگذاری دوم در قاب چهار طبقه، آورده شده است. تحلیل کلی جدول ۱۱ نشان می‌دهد که با استفاده از میراگر در حالت الف، بیشینه جابجایی سمت انفجار کاهش قابل توجهی می‌یابد، اما در حالت ب جابه جایی کاهش قابل توجهی نمی‌یابد. در حالت الف بیشترین تغییر مکان از لحاظ مقداری کمتر از حالت ب می‌باشد به طوری که در حالت الف بیشترین تغییر مکان مربوط به تراز سقف آخر به مقدار  $12/9$  سانتیمتر و در حالت ب نیز مربوط به تراز سقف آخر و به مقدار  $31/97$  سانتیمتر می‌باشد.

جدول ۱۱: مقایسه‌ی رفتار انفجاری قاب چهار طبقه در نقطه‌های A و B در حالت‌های با و بدون میراگر برای انفجار ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

Table 11. Comparison of behavior four story frames with damper (type 1 and type 2) and without damper in joints A and B under blast loading ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

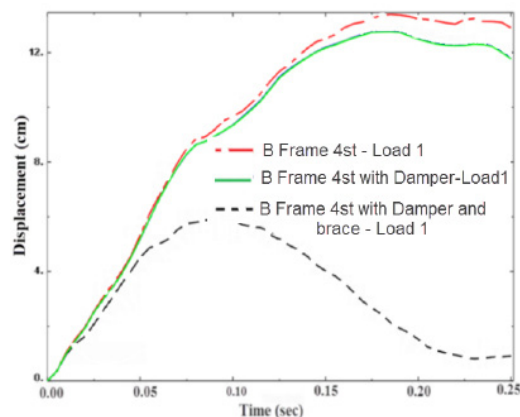
نقطه	نوع قاب	بیشینه جابه جایی (cm)	میزان تاثیر میراگر (%)
A	بدون میراگر	۳۳/۳۲	
A	با میراگر (الف)	۱۲/۹	۶۱
A	با میراگر (ب)	۳۱/۹۷	۴
B	بدون میراگر	۲۴/۹۲	
B	با میراگر (الف)	۱۱/۸۲	۵۲
B	با میراگر (ب)	۲۳/۶۹	۴

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر استفاده از میراگرهای جدار نازک آکاردئونی و همچنین جانمایی آن‌ها در کاهش پاسخ قاب‌ها تحت بار انفجاری مورد مطالعه قرار گرفته است. در نخستین بررسی، یک قاب یک طبقه‌ای ساده تحت دو بار انفجاری ارزیابی گردید. در گام دوم قاب یک طبقه مجهز به میراگرهای جدار نازک آکاردئونی تحت همان دو بار انفجاری مورد بررسی قرار گرفت و تاثیرات استفاده از این میراگرها ارزیابی گردید. همچنین جهت استفاده از میراگرها در قاب‌ها از دو شیوه نصب استفاده گردید. سپس در مراحل بعدی قاب‌های چهار طبقه ساده و مجهز به میراگر مورد مطالعه قرار گرفتند.

از تحلیل قاب‌ها نتیجه‌های زیر حاصل گردید:

۱. بررسی و تحلیل تاریخی جابجایی قاب یک طبقه تنها تحت دو انفجار نشان می‌دهد که، با افزایش  $1/75$  برابری فشار انفجار، بیشینه جابجایی سر ستون و میانه ستون سمت انفجار به ترتیب  $2/11$  و  $2/22$  برابر رشد می‌کند. رشد بالاتر میزان جابجایی میانه



شکل ۳۱: مقایسه نمودار تاریخی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )، در قاب چهار طبقه مجهز به میراگر در حالت الف و ب و بدون میراگر

Fig. 31. Comparison of Time history for the displacement of joint B in four story frame with damper (type 1 and 2) and without damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

جدول ۱۰: مقایسه‌ی رفتار انفجاری قاب چهار طبقه در نقطه‌های A و B با میراگر در حالت‌های با و بدون میراگر برای انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Table 10. Comparison of behavior four story frames with damper (type 1 and type 2) and without damper in joints A and B under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

نقطه	نوع قاب	بیشینه جابه جایی (cm)	میزان تاثیر میراگر (%)
A	بدون میراگر	۱۸/۶۷	
A	با میراگر (الف)	۶/۶۵	۶۴
A	با میراگر (ب)	۱۷/۷۱	۵
B	بدون میراگر	۱۳/۳۹	
B	با میراگر (الف)	۵/۹۹	۵۵
B	با میراگر (ب)	۱۲/۷۹	۴

تحلیل کلی جدول ۱۰ نشان می‌دهد که با استفاده از میراگر در حالت الف، بیشینه جابجایی سمت انفجار کاهش قابل توجهی می‌یابد اما در حالت ب جابه جایی کاهش قابل توجهی نمی‌یابد. همچنین از آنجا که در قاب چهار طبقه از ستون‌های قوی تری استفاده شده است، حداکثر تغییر مکانها در تراز سقف طبقات و بخصوص در تراز سقف افتاده است. به همین علت استفاده از میراگر در حالت (ب) تاثیر قابل توجهی نداشته است. در حالت الف بیشترین تغییر مکان از لحاظ مقداری کمتر از حالت ب می‌باشد به طوری که در حالت الف بیشترین تغییر مکان مربوط به تراز سقف آخر به مقدار  $6/65$  سانتیمتر و در حالت ب نیز مربوط به تراز سقف آخر و به مقدار  $17/71$  سانتیمتر می‌باشد.



- Protective Structures, 5(1) (2014) 1-19.
- [2] H.C. Yim, T. Krauthammer, Load-impulse characterization for steel connection, *International Journal of Impact Engineering*, 36(5) (2009) 737-745.
- [3] G. Taylor, The propagation and decay of blast waves, *The Scientific Papers of Sir Geoffrey Ingram Taylor*, 3 (1939) 221-235.
- [4] H. Chen, J. Liew, Explosion and fire analysis of steel frames using mixed element approach, *Journal of Engineering Mechanics*, 131(6) (2005) 606-616.
- [5] [5] M. Motley, R. Plaut, Application of synthetic fiber ropes to reduce blast response of a portal frame, *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 6(04) (2006) 513-526.
- [6] G. Daneshi, S. Hosseini-pour, Grooves effect on crashworthiness characteristics of thin-walled tubes under axial compression, *Materials & design*, 23(7) (2002) 611-617.
- [7] M. Motamedi, F. Elahi, Using Accordion Thin-Walled Tube as a Hysteretic Metallic Damper, in: 13 th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 2004.
- [8] E. Izadi Zaman Abadi, F. Nateghi-Alahi, M. Motamedi, Comparison of Accordion Metallic Dampers with Filled Accordion Metallic Dampers Using Polymeric Foam under Axial Cyclic Loading, *Modares Civil Engineering journal*, 10(2) (2010) 0-0.
- [9] P.S. Heidari, H. Kayhani, R.A. Jazany, INTRODUCING A NEW HYSTERETIC METALLIC DAMPER USING CIRCULAR JAGGED PLATES.
- [10] H.S. Monir, Flexible blast resistant steel structures by using unidirectional passive dampers, *Journal of Constructional Steel Research*, 90 (2013) 98-107.
- [11] A.F. NATEGHI, E.M. TORBAT, EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL BEHAVIOR OF ACCORDION METALLIC DAMPERS BY INCREASING THE NUMBER OF LAYERS, (2015).
- [12] A. Astaneh-Asl, Progressive collapse prevention in new and existing buildings, in: Proc., 9th Arab Structural Engineering Conf., Abu Dhabi, UAE, Nov, 2003.
- [13] N. Lam, P. Mendis, T. Ngo, Response spectrum solutions for blast loading, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 4(4) (2004) 28-44.

- ستون به دلیل تغییر شکل پلاستیک موضعی شدیدی است که با افزایش شدت انفجار، در آن ایجاد می‌شود.
۲. استفاده از میراگر به همراه مهاربند به روشنی تاثیر زیادی روی رفتار انفجاری قاب تنها در انفجار دارد. این عامل سبب کاهش جابجایی قاب در تمام بخش‌های آن می‌شود. میزان این کاهش برای قسمت‌های مختلف قاب متفاوت است. این کاهش در سرستون سمت انفجار بیشتر می‌باشد. به طوری که بیشترین کاهش برای سرستون سمت انفجار در انفجار اول، ۹۸ درصد بوده است. این میزان برای میانه ستون ۲۱٪ می‌باشد.
۳. بررسی و تحلیل قاب چهار طبقه تحت دو انفجار نشان می‌دهد که حداکثر جابه جایی در تراز سقف طبقه چهارم اتفاق افتاده است.
۴. میزان حداکثر جابه جایی قاب چهار طبقه کمتر از میزان حداکثر جابه جایی قاب یک طبقه بوده است. این موضوع اثر وزن سازه در بهبود رفتار آن تحت بار انفجار را نشان می‌دهد.
۵. بررسی و تحلیل تاریخچه‌ی جابجایی قاب چهار طبقه تنها تحت دو انفجار نشان می‌دهد که، با افزایش ۱/۷۵ برابری فشار انفجار، بیشینه جابجایی سقف چهارم و سوم سمت انفجار به ترتیب ۱/۷۸ و ۱/۸۶ برابر رشد می‌کند. این تفاوت رشد نسبت به قاب یک طبقه نیز تاثیرات افزایش وزن سازه را در بهبود رفتار آن تحت بار انفجار نشان می‌دهد.
۶. استفاده از میراگر به همراه مهاربند روی رفتار انفجاری قاب چهار طبقه نیز تاثیر زیادی دارد. این عامل سبب کاهش جابجایی قاب در تمام بخش‌های آن می‌شود. به طوری که بیشترین کاهش برای تراز سقف چهارم، ۶۴٪ بوده است. این میزان برای تراز سقف سوم ۵۵٪ می‌باشد.
۷. این پژوهش نشان داد که استفاده از میراگرهای آکاردئونی در قاب یک طبقه سبب بهبود مقاومت انفجاری قاب می‌شود. به طوری که به کار گیری آن به همراه مهاربند جابجایی‌های کلی قاب را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و تاثیر کمتری روی حداکثر تغییرشکل‌های موضعی دارد. در حالی که، این موضوع در قاب چهار طبقه جابجایی کلی و تغییرشکل‌های موضعی قاب را به میزان قابل توجهی کاهش داده است.

## مراجع

- [1] S.E. Rigby, A. Tyas, T. Bennett, S.D. Clarke, S.D. Fay, The negative phase of the blast load, *International Journal of*

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A. R. Mirza Goltabar Roshan, A. Naseri, J. Nasiri larimi, The Effects of Damper Location on the Retrofit of Steel Buildings under Blast Loading, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(2) (2018) 279-292.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11466.5022

