



## بررسی اثر میراگرهای جدارنازک آکاردئونی در کاهش پاسخ قاب‌ها تحت بار انفجاری

علیرضا میرزا گل‌تبار 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> دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۵ فروردین ۱۳۹۴  
بازنگری: ۲۴ آبان ۱۳۹۵  
پذیرش: ۹ آبان ۱۳۹۵  
ارائه آنلاین: ۳ آذر ۱۳۹۵

### کلمات کلیدی:

میراگر جدارنازک آکاردئونی  
بارگذاری انفجار  
تحلیل دینامیکی غیرخطی  
پاسخ انفجاری  
سازه‌های فولادی

**چکیده:** انفجارها می‌توانند سبب خرابی پیشرونده و یا خرابی کامل در سازه گردند. در حالی که طراحی سازه‌ها برای انفجارهای بزرگ ممکن است گران و غیرعملی باشد، لذا می‌توان با بهره‌گیری از انواع مستهلک کننده‌ها سبب افزایش مقاومت انفجاری سازه گردید. هدف از این تحقیق ارزیابی رفتار قاب‌های فولادی مجهز به میراگرهای فلزی آکاردئونی در برابر بار انفجاری می‌باشد. به منظور بررسی اثر میراگر، یک بار قاب بدون میراگر و بار دیگر قاب مجهز به میراگر تحت اثر بار انفجار مورد مطالعه قرار گرفته است. قاب‌های فولادی مورد مطالعه، قاب‌های تک دهانه‌ای با ارتفاع‌های مختلف (یک و چهار طبقه) می‌باشند و تحت اثر دو نوع بار انفجاری با مقادیر مختلف قرار گرفته‌اند. برای این منظور تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی روی قاب‌های مختلف مورد بررسی، صورت گرفته است. برای تحلیل از نرم افزار ABAQUS استفاده شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از میراگرهای جدار نازک آکاردئونی، به‌ویژه در انفجارهای بزرگ تا حد زیادی جابجایی کلی قاب را بهبود می‌بخشد. به طوری که در قاب یک طبقه بیشترین کاهش برای سر ستون سمت انفجار (در انفجار  $36 \text{ kg/cm}^2$ )،  $98\%$  بوده است. این میزان کاهش برای میانه ستون  $21\%$  می‌باشد و در قاب چهار طبقه بیشترین کاهش برای تراز سقف چهارم،  $64\%$  بوده است. این میزان برای تراز سقف سوم  $55\%$  می‌باشد.

### ۱- مقدمه

امروزه، با توجه به رشد روز افزون فعالیت‌های تروریستی خطر مواجهه سازه‌ها با بارهای انفجاری افزایش یافته است. وقوع حوادث گوناگون تروریستی در مورد سازه‌های مهم در سراسر جهان سبب شده که در سال‌های اخیر بارهای انفجاری مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرند. حملات اخیر در جهان مثل حادثه مرکز تجارت جهانی نشان می‌دهد که متاسفانه فعالیت‌های تروریستی افزایش یافته است. یک نوع از حملات تروریستی رایج، استفاده از مواد منفجره می‌باشد.

بارانفجاری<sup>۱</sup> غالباً به صورت بمب گذاری وسایل نقلیه، انفجار ناگهانی مهمات انبار شده و شکل‌های مختلفی از شوک‌های شدید زمین اتفاق می‌افتند. با این وصف، ساخت سازه‌های مقاوم در برابر بارهای انفجاری بسیار ضروری می‌باشد.

تعاریف متعددی از پدیده انفجار در منابع مختلف موجود می‌باشد. در کتاب مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان (پدافند غیر عامل) انفجار را واکنشی معرفی می‌کند که در آن نرخ سوختن مواد با سرعتی به مراتب بیشتر از سرعت صوت انجام می‌شود که در نتیجه دما و فشار بسیار بالایی

ایجاد و موج انفجار بلافاصله تولید و با سرعت بسیار زیادی منتشر می‌شود. در منبع دیگری آمده انفجار آزاد شدن بسیار سریع انرژی به صورت نور، گرما، صوت و امواج ضربه‌ای می‌باشد. موج ضربه‌ای شامل هوای بسیار متراکمی می‌باشد که به صورت شعاعی از منبع انفجار به سمت خارج با سرعت مافوق صوت در حرکت است [۱].

مواد منفجره مختلف، انرژی جرمی خاص خود را دارند که با واحد کیلوژول بر کیلوگرم سنجیده می‌شود. برای راحتی مقایسه، به صورت قراردادی TNT به عنوان ماده منفجره پایه انتخاب شده و سایر مواد به کمک ضریبی با آن معادل‌سازی می‌شوند. این ضریب از تقسیم انرژی مخصوص جرمی ماده مورد نظر بر انرژی مخصوص جرمی TNT بدست می‌آید.

تاریخچه زمانی فشار موج انفجار اغلب با توابع نمایی مثل معادله فریلاندر<sup>۲</sup> بیان می‌شود:

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

که  $t$  زمان،  $P_0$  فشار اتمسفر،  $P_s$  اضافه فشار حداکثر،  $T_s$  مدت زمان فاز مثبت و  $b$  ثابت مثبتی می‌باشد که پارامتر شکل موج نامیده می‌شود و وابسته به فشار حداکثر می‌باشد [۱].

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

رفتار کلی اتصالات سازه‌های بتنی و فولادی در برابر بارهای انفجاری انجام داد. او در ادامه به بررسی رفتار، نحوه پاسخ و نقش آرماتورها در اتصالات زانویی سازه‌های بتنی تحت بارهای انفجاری با استفاده از روش عددی پرداخته است [۷].

سیبوالا<sup>۷</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۵ به مطالعه به روش اجزا محدود در برخی اتصالات پیچی فولادی تحت اثر بارهای انفجاری پرداخته و با بررسی معیارهای TM5-1300 برای جزئیات طراحی اتصالات در برابر انفجار آن‌ها را ناکافی شمرده و پیشنهاد بازنگری معیارهای TM5-1300 را می‌نمایند [۸].

در چند دهه اخیر استفاده از سیستم جداسازی لرزه‌ای، قطعات اتلاف انرژی نافع و سیستم‌های کنترل فعال و نیمه‌فعال برای مقاوم سازی یا طراحی مقاوم سازه‌ها به سرعت در حال توسعه است. میراگرهای نافع یکی از انواع سیستم‌های جاذب انرژی ارتعاش‌ها در سازه‌ها هستند که شامل قطعات وابسته به سرعت مانند میراگر ویسکوز، میراگر ویسکوالاستیک و قطعات وابسته به تغییر مکان مانند میراگر اصطکاکی و میراگر فلزی جاری شونده و قطعات مرکب‌اند. میراگرهای فلزی دارای میرایی هیستریک هستند و از طریق مکانیسم تسلیم شدن در اثر تغییر شکل‌های چرخه‌ای و وارد شدن به محدوده کرنش‌های پلاستیک، انرژی اعمال شده را مستهلک می‌کنند. این امر موجب تمرکز خسارت در میراگر و اتلاف قسمت اعظم انرژی ورودی به سازه می‌شود که پاسخ دینامیکی سازه را کاهش می‌دهد.

دانشی و همکارش ایجاد شیارهای<sup>۸</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 [۹].

معمودی و همکارش از لوله جدار نازک آکاردئونی تحت بار چرخه‌ای به منظور تحریک الگوی کمانش آکاردئونی و در نتیجه افزایش جذب انرژی استفاده کردند. ایشان بیان نمودند که ایده میراگر پیشنهادی قابلیت تحمل تغییر شکل‌های بزرگ را از طریق ایجاد مود کمانش آکاردئونی دارا می‌باشد [۱۰].

معمودی و همکارانش به مطالعه آزمایشگاهی و تحلیلی و پارامتری این میراگرها پرداختند. در این کار استهلاک انرژی در لوله‌های فلزی جدار نازک آکاردئونی و رفتار آنها در برابر بارهای رفت و برگشتی مطالعه گردید. ابتدا مطالعات آزمایشگاهی و سپس مطالعات تحلیلی صورت گرفت. سپس تاثیر پارامترهای هندسی و مکانیکی این لوله‌ها از قبیل هندسه شکل، ضخامت ورق، قطر و تعداد پلیسه‌ها بر میزان استهلاک انرژی و سختی محوری بررسی گردید [۱۱].

تیلور<sup>۱</sup> از جمله دانشمندی بود که به بررسی دینامیک موج‌های انفجار ناشی از مواد منفجره پرداخت. مطالعات وی نقش بسیار زیادی در پیشرفت مرکز تحقیقات وزارت دفاع بریتانیا در سالهای ۱۹۳۶ تا ۱۹۵۰ ایفا نمود. مقالات ابتدایی وی در مورد انتشار و استهلاک موج‌های انفجار ناشی از سلاح‌های متعارف بود ولی در مطالعات بعدی به بررسی رفتار موج‌های انفجار ناشی از نخستین انفجار اتمی در نیومکزیکو در سال ۱۹۴۶ پرداخت [۲].

نگو<sup>۲</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به تاثیرات انفجار بر روی سازه‌ها پرداخته و یک تفسیر از انفجارات و مکانیزم موج‌های انفجاری در فضای باز ارائه دادند و همچنین روش‌های مختلفی برای ارزیابی بارهای انفجاری و نحوه پاسخ سازه معرفی کردند [۳].

محققین زیادی از آنالیزهای المان محدود برای بررسی پاسخ تیرها و صفحات تحت بارگذاری انفجاری استفاده کرده‌اند. برای مثال لانگدون<sup>۳</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۵ از نرم‌افزار ABAQUS/Explicit برای مدل‌سازی پاسخ صفحات با بارگذاری انفجاری استفاده کردند. هدف این مطالعات، بررسی اثر مصالح وابسته به دما در تخمین پارگی، و اثر نرخ کرنش‌ها در کاهش تغییرمکان صفحات بوده است [۴].

چن<sup>۴</sup> و همکارش در سال ۲۰۰۵ از روش المان ترکیبی برای تحلیل انفجار و آتش استفاده کردند [۵]. بدین ترتیب که برای مدل‌سازی اعضای قاب که در معرض اثرات مستقیم انفجار و آتش نیستند، از المان beam استفاده شده است و برای المان‌های بحرانی که در معرض انفجار و آتش قرار گرفته‌اند، از المان shell استفاده شده است. مطالعه آن‌ها نشان داد که این روش به قدر کافی برای در نظر گرفتن رفتار موضعی مقاطع و ناپایداری اعضا دقیق می‌باشد.

متلی<sup>۵</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. آن‌ها یک قاب فولادی را در نظر گرفتند که در معرض ۱۳۵۰ کیلوگرم TNT در فواصل مختلف قرار داشت. مقایسه بین قاب فولادی مهاربندی شده و مهاربندی نشده نشان داد که طناب‌های الیاف مصنوعی می‌توانند به طور قابل توجهی پاسخ قاب را کاهش دهند [۶].

یکی از افرادی که در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیار زیادی در زمینه پدیده انفجار و نحوه پاسخ المان‌های سازه در برابر این نوع بارها ارائه داده کراسمر<sup>۶</sup> می‌باشد. وی در سال ۱۹۹۹ یک سری مطالعات عددی در مورد

1 Taylor

2 Ngo

3 Longdon

4 Chen and Liew

5 Motley

6 Theodor Krauthammer

7 Sabuwala

8 Groove

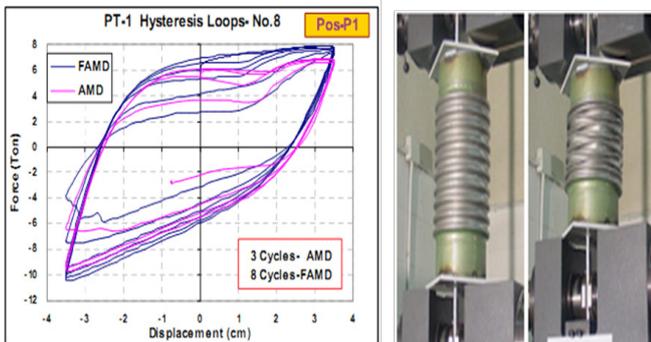
مشخصات هندسی نمونه مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. جنس این لوله از فولاد ضد زنگ A304 با تنش حد جاری شدن ۲۱۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، تنش حد نهایی ۵۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و کرنش حد گسیختگی ۶۰ درصد است. پارامترهای معرفی شده در جدول ۱ به ترتیب: D قطر لوله، L طول لوله، t ضخامت جداره، r شعاع پلیسه، d طول بخش مستقیم پلیسه و n تعداد پلیسه‌ها می‌باشند.

### جدول ۱: مشخصات هندسی نمونه مورد آزمایش

Table 1. Geometric characteristics of laboratory sample

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

الگوی بارگذاری وارده از نوع سینوسی با دامنه متغیر بوده که از  $\pm 10$  میلیمتر آغاز شده و تا  $\pm 35$  میلیمتر افزایش یافته است. در حین انجام این آزمایش بدنه لوله‌های 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 می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌گردد رفتار لوله در کشش و فشار یکسان نیست.



شکل ۲: تغییر شکل محوری همراه با منحنی هیسترتیس لوله جدار نازک آکاردئونی [۱۳]

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

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

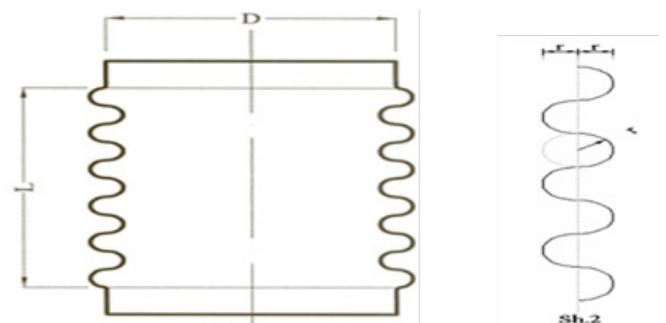
معمدی و همکارانش به منظور مطالعه کاربرد میراگر فلزی آکاردئونی در مقاوم سازی لرزه‌ای قاب‌های فولادی از مطالعات آزمایشگاهی استفاده کردند. ایشان برای این مطالعه یک قاب فولادی یک طبقه یک دهانه و سه نمونه آزمایشگاهی از میراگر پیشنهادی را فراهم نمودند. میراگرها را متناسب با نیاز زلزله و ظرفیت سازه طراحی نمودند. سپس با نصب میراگر مورد نظر بر روی قاب، عکس العمل آزمایشگاه در دو حالت قاب تنها و قاب مجهز به میراگر فلزی آکاردئونی با جک هیدرولیکی مورد آزمایش‌های چرخه‌ای قرار گرفت. سپس تاثیر الحاق میراگر بر قاب مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۲]. در این تحقیق به منظور بررسی کاربردی این میراگر در ساختمان، قاب فولادی یک طبقه و چهار طبقه، تک دهانه در دو حالت با میراگر و بدون میراگر با کمک نرم افزار ABAQUS بررسی گردیده است. در ادامه قاب معرفی شده تحت دو بار انفجاری با مقادیر مختلف قرار گرفته و به روش دینامیکی غیرخطی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند و نتایج به دست آمده در هر دو حالت باهم مقایسه گردیدند.

### ۲- مدل سازی اجزای محدود

در این پژوهش، قاب‌های فولادی ۱ و ۴ طبقه‌ای در دو حالت، ساده و مجهز به میراگر مدل‌سازی و تحت دو بار انفجاری با مقادیر مختلف به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی آنالیز گردیده‌اند و نتایج حاصله از آن‌ها با یکدیگر مقایسه و مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

### ۲-۱- صحت سنجی نرم‌افزار

گام نخست در استفاده از هر نرم‌افزار تجاری، اطمینان از درستی تکنیک مدل‌سازی، شبکه‌سازی، روند حل و سرانجام پاسخ‌های خروجی آن است. به منظور بررسی صحت مدل‌سازی عددی از مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته در مرجع [۱۳] استفاده شده است. لوله مورد آزمایش از نمونه‌های مشابه و موجود در بازار که برای استفاده در اتصالات لوله‌های صنعتی ساخته شده بودند، انتخاب گردیده است.



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

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

**جدول ۲: مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی**

Table 2. Comparison of laboratory and numerical results

| ظرفیت باربری<br>در فشار (t) | ظرفیت باربری<br>در کشش (t) | مدل آزمایشگاهی |
|-----------------------------|----------------------------|----------------|
| ۶/۲۵                        | ۶/۷                        | مدل آزمایشگاهی |
| ۵/۲                         | ۷/۶                        | مدل تحلیلی     |
| ۱۶                          | ۱۳                         | اختلاف (%)     |

**۲-۲- مدل سازی قاب فولادی یک طبقه**

به منظور بررسی اثر میراگرهای جدارنازک آکاردئونی در کاهش پاسخ قابها تحت بار انفجاری، ابتدا به مدل سازی قاب فولادی یک طبقه می پردازیم. قابهای مورد بررسی به ارتفاع طبقات ۳ متر و طول دهانه ۴ متر می باشد. پروفیل مقطع ستون قاب یک طبقه از نوع  $10 \times 10$  Box و به ضخامت  $0.5$  سانتیمتر و مقطع تیر از نوع IPE ۱۴۰ می باشد. هم چنین طول ستون ۳۰۰ و طول تیر ۴۰۰ سانتیمتر می باشد. مقدار چگالی فولاد مورد نظر را مطابق جدول ۳ برابر  $7850 \times 10^{-6}$  کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب و ضریب پواسون را برابر  $0.3$  و مدول الاستیسیته را برابر  $210 \times 10^6$  کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و هم چنین تنش حد تسلیم را  $3000$  کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته ایم.

**جدول ۳: مشخصات الاستیک فولاد مورد استفاده**

Table 3. Elastic properties of steel used

| چگالی ( $kg/cm^3$ )   | ضریب الاستیسیته ( $kg/cm^2$ ) | ضریب پواسون |
|-----------------------|-------------------------------|-------------|
| $7850 \times 10^{-6}$ | $210 \times 10^6$             | $0.3$       |

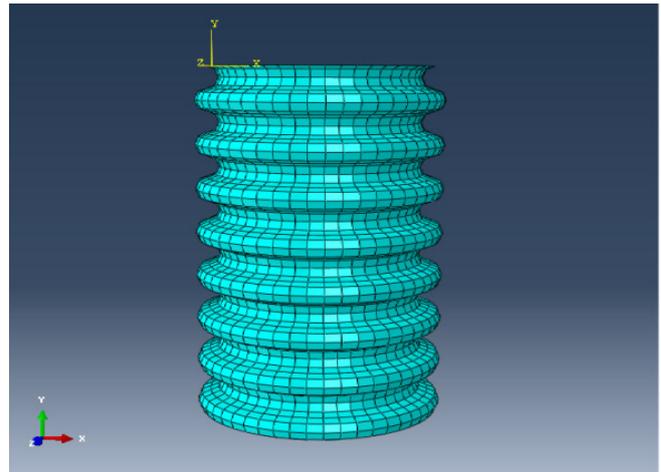
رابطه تنش- کرنش به صورت الاستیک- پلاستیک فرض شده است و مشخصات پلاستیک آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

**جدول ۴: ویژگی های پلاستیک فولاد مورد نظر**

Table 4. Plastic properties of steel used

| کرنش   | تنش ( $kg/cm^2$ ) |
|--------|-------------------|
| ۰      | ۳۰۰۰              |
| $0.35$ | ۴۰۰۰              |

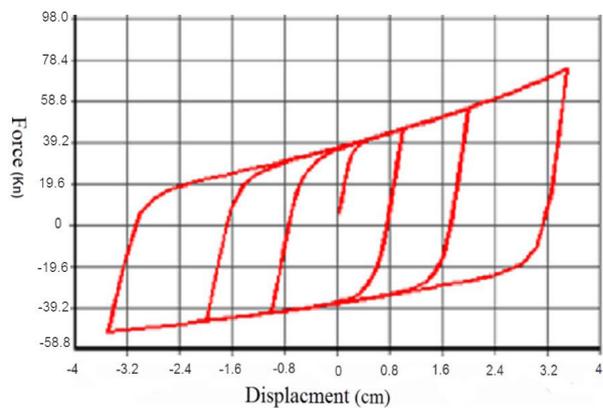
جهت مدل سازی هندسی، کل اعضای قاب از نوع Shell مدل سازی شدند تا اثرات غیرخطی ناشی از برش زیاد ایجاد شدهی بار انفجاری، به صورت دقیق تری لحاظ گردند. برای نوع تحلیل نیز از تحلیل مسایل



**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 کششی 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. با این وجود رفتار فشاری نمونه آزمایشگاهی در سیکل های بالاتر با رفتار به دست آمده از نمونه عددی، مطابقت بهتری را نشان داده است.



**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 می دهد که دامنه تغییر شکل در مدل آزمایشگاهی و مدل عددی بسیار نزدیک به هم می باشد (هر دو حدود  $3/5$  سانتی متر). 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 رایانه ای بوده و در نتیجه می توان از آن برای مطالعات پارامتری بعدی استفاده نمود.

در رابطه فوق ضریب ۱/۸ بیانگر در نظر گرفتن تاثیرات شبه کره‌ای انفجار، پارامتر  $b$  ضریب کنترل کننده کاهش دامنه و  $T_s$  مدت زمان انفجاری می‌باشد.

$T_s$  با فاصله  $R$  کنترل می‌شود که در زیر رابطه بین  $T_s$  و  $R$  آمده است:

$$\log_{10}(T_s/W^{1/3}) = -2.75 + 0.27 \log_{10}(R/W^{1/3}) \quad (۴)$$

رابطه بین  $Z$  و  $b$  نیز در معادله زیر آمده است:

$$b = Z^2 - 3.7Z + 4.2 \quad (۵)$$

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

در این پژوهش از دو بارگذاری با مقادیر متفاوت استفاده شده است. در ابتدا ۱۰۰۰ کیلوگرم TNT در فاصله ۷ متری از قاب و سپس 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.

#### جدول ۵: مشخصات بارهای وارده

Table 5. Characteristics of applied loads

| نوع بارگذاری | حداکثر فشار ( $\text{kg/cm}^2$ ) |
|--------------|----------------------------------|
| بارگذاری اول | ۳۶                               |
| بارگذاری دوم | ۶۳                               |

اما از آنجا که فشار و مکش (ناشی از انفجار) وارده به تمامی اعضای سازه در مدت زمان کمی و در حد میلی ثانیه اتفاق می‌افتد و همچنین نسبت به زمان متغیر می‌باشد، باید تغییرات آن نسبت به زمان را نیز مدنظر قرار داد و به مدل مساله اعمال کرد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، پس از اعمال مقدار حداکثر بار وارده به نرم افزار باید تغییرات آن نسبت به زمان را نیز لحاظ نمود.

تغییرات بار وارده نسبت به زمان در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود مقدار بار با گذشت زمان به شدت کاهش می‌یابد تا جایی که مقدار آن منفی گشته و پدیده مکش روی می‌دهد.

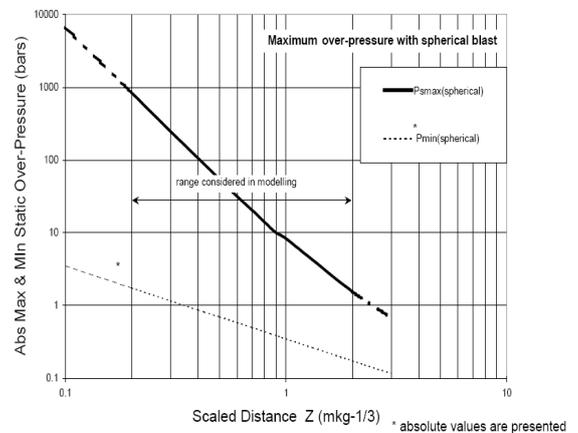
دینامیکی به روش Explicit استفاده شده است. همچنین مدت زمان تحلیل را برابر با ۰/۲۵ در نظر گرفته‌ایم. این زمان فرصت مناسبی به قاب می‌دهد تا پاسخ کاملی به انفجار از خود نشان دهد. تکیه گاه‌های پایه ستون‌ها به صورت گیردار مدل گردیده و اتصال تیر و ستون‌ها در مونتاژ کردن مدل به صورت صلب در نظر گرفته شدند. برای مش بندی عضوها از امان S4R استفاده گردید.

در این پژوهش جهت بررسی دقیق‌تر از دو مقدار بار انفجاری در مدل‌سازی‌ها استفاده شده است. در نیم قرن اخیر تحقیقات زیادی در مدل کردن بارهای انفجاری انجام شده است و نتایج حاکی از این است که طراحی سازه‌ها باید بر طبق ماکزیمم نیروی استاتیکی حاصل از انفجار محاسبه گردد. در این تحقیق  $P_{s \max}$  به عنوان حداکثر نیروی استاتیکی حاصله از بار انفجاری معرفی شده است که این نیروی حداکثر با فاصله‌ی محل انفجار تا سازه مورد نظر رابطه‌ی عکس دارد. فاصله‌ی مقیاس شده معرفی شده در این تحقیق که با  $Z$  نشان داده شده است، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید [۱۴].

$$Z = R/W^{1/3} \quad (۲)$$

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  $P_{s \max}$  بدست می‌آید.



شکل ۵: نمودار حداکثر و حداقل نیروی استاتیکی حاصله از انفجار در مدل کروی [۱۴]

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

معادله زیر که نشان دهنده بار دینامیکی حاصل از انفجار است در رابطه زیر نشان داده شده است [۱۵-۱۹]:

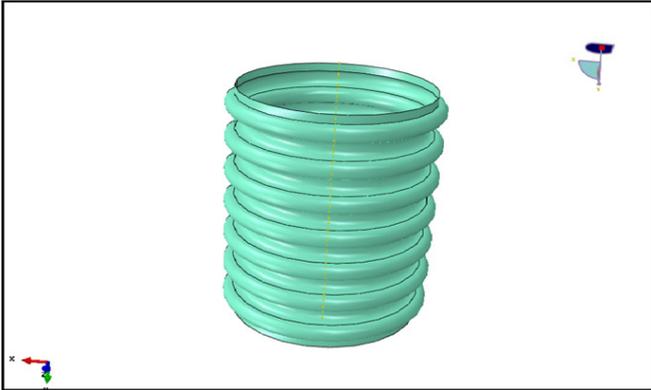
$$P_s(t) = 1.8 P_{s \max} (1 - t/T_s) e^{-(bt/TS)} \quad (۳)$$

جدول ۶: مشخصات هندسی میراگر

Table 6. Geometric characteristics of damper

| d (cm) | r (cm) | t (cm) | L (cm) | D (cm) |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| ۱      | ۱      | ۰/۳    | ۲۸     | ۲۰     |

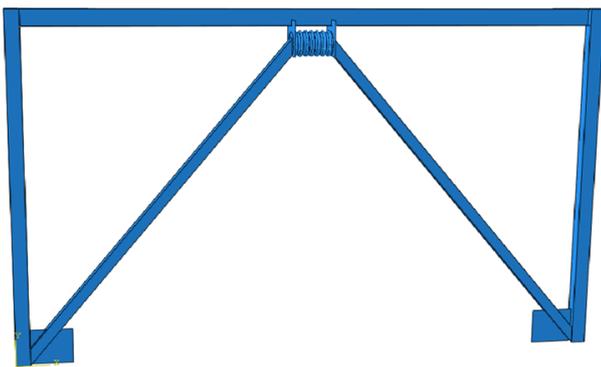
در جدول فوق به ترتیب: D قطر لوله، L طول لوله، t ضخامت جداره، r شعاع پلیسه، d طول بخش مستقیم پلیسه می‌باشند. در شکل زیر نمونه‌ای از میراگر مدل‌سازی شده نمایش داده شده است.



شکل ۸: نمایی از میراگر آکاردئونی مدل‌سازی شده

Fig. 8. View of Accordion damper

جهت استفاده میراگر در قاب از مهاربندهای با نوع مقطع  $8 \times 8$  cm و صفحات اتصال جهت اتصال مهاربند به ستون و میراگر به تیر از نوع Box و صفحات اتصال جهت اتصال مهاربند به ستون و میراگر به تیر از نوع PL  $30 \times 30 \times 2$  cm استفاده شده است. در شکل ۹ نمایی از قاب مجهز به میراگر آورده شده است.

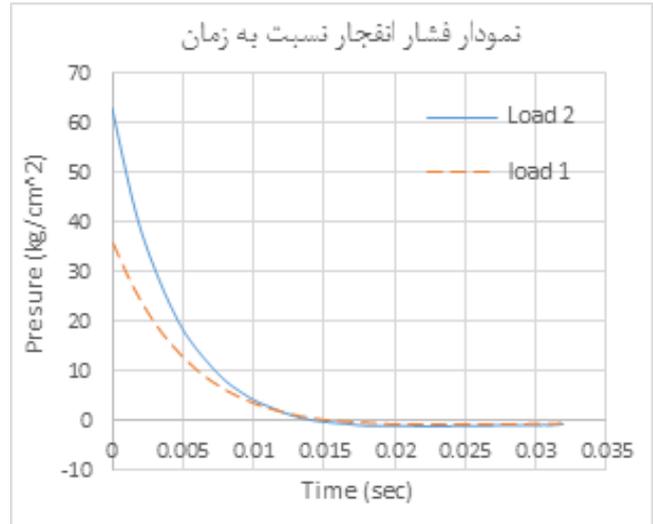


شکل ۹: نمایی از قاب مجهز به میراگر

Fig. 9. View of one-story frame with damper

۲-۳- مدل‌سازی قاب فولادی چهار طبقه

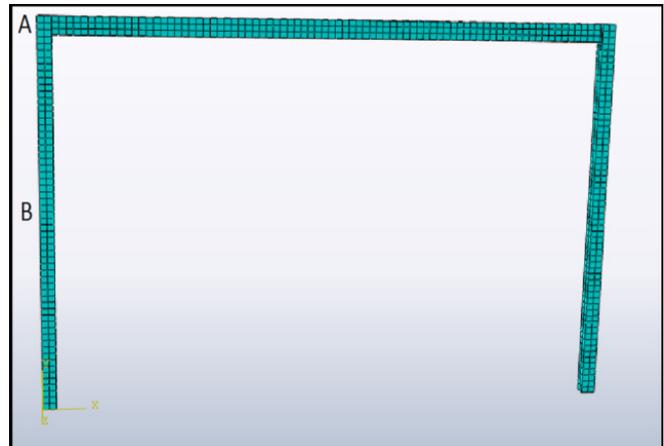
پس از مدل‌سازی قاب یک طبقه به مدل‌سازی قاب چهار طبقه پرداخته خواهد شد. لازم به ذکر است در قاب چهار طبقه نیز ارتفاع هر طبقه ۳ متر



شکل ۶: نمودار فشار انفجار نسبت به زمان برای انفجار ۱۰۰۰ Kg TNT در فاصله ۶ متری و ۷ متری از قاب مورد نظر

Fig. 6. Blast pressure diagram for blast 1000kg TNT at distance of 6 meters and 7 meters from the desired frame

در شکل ۷ نمایی از قاب یک طبقه مدل‌سازی شده آورده شده است و نقاط A و B معرفی گردیده است.



شکل ۷: نمایی از قاب یک طبقه ساده و نقاط مورد بررسی

Fig. 7. View of one-story frame and specified node

در مدل‌سازی قاب یک طبقه مجهز به میراگر، جهت مدل‌سازی میراگر از لوله‌های جدار نازک آکاردئونی مطابق با 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.

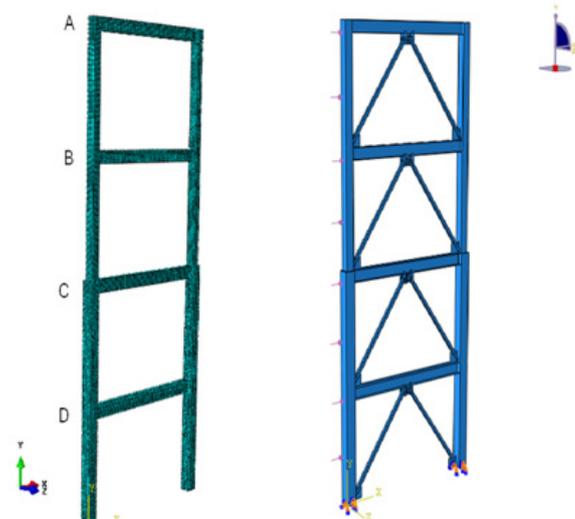
و طول دهانه هر طبقه ۴ متر می‌باشد. جهت مدل‌سازی قاب چهار طبقه از دو نوع ستون استفاده شده است. برای ستون‌های طبقات اول و دوم از Box  $30 \times 30 \times 1/6$  و از Box  $24 \times 24 \times 1/42$  cm برای ستون‌های طبقه سوم و چهارم استفاده شده است. سطح مقطع تیر مورد استفاده در قاب چهار طبقه به شرح جدول زیر 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                  |
| $1 \times 30$ cm | $24 \times 1/5$ cm |

در جدول فوق F معرف بال و W معرف جان تیر می‌باشد. در قاب چهار طبقه نیز از اعضای مشابه با قاب یک طبقه استفاده شده است. در شکل ۱۰ نمایی از قاب چهار طبقه در حالت با میراگر و بادبند و در حالت قاب تنها آورده شده است.



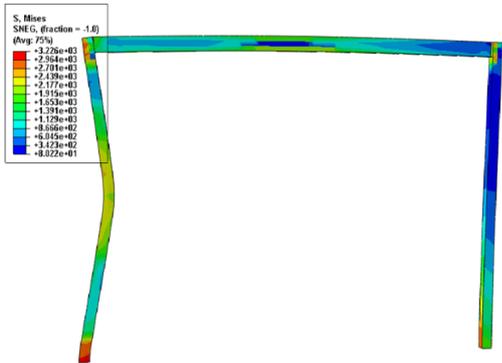
شکل ۱۰: نمایی از قاب چهار طبقه در حالت با میراگر و بادبند و در حالت قاب تنها

Fig. 10. View of Four-story frames with and without dampers and braces

**۳- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی در قاب یک طبقه**

۳-۱- تحلیل قاب یک طبقه ساده تحت بارگذاری اول ( $36 \text{ kg/cm}^2$ ) در هر تحلیل تاریخچه‌ی جابجایی و تغییر چندین نقطه‌ی کلیدی از قاب اندازه‌گیری شده است و نمودارهای به دست آمده از آن‌ها، با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این نقطه‌ها مطابق شکل ۷ شامل میانه‌ی ستون (B) و گوشه‌ی بالایی (A) ستون مقابل انفجار می‌باشند.

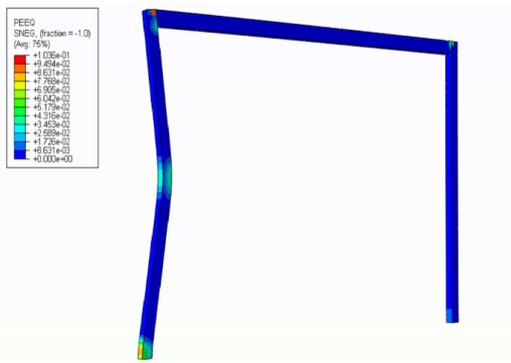
در نخستین تحلیل، قاب یک طبقه (قاب تنها) تحت بار انفجاری



شکل ۱۱: نمونه‌ای از توزیع تنش فن میسز قاب تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 11. Von-mises stress contour for one story single frame under a blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

همچنین در شکل ۱۲ نیز کانتور تغییر شکل پلاستیک نهایی قاب (sec  $t=0/25$ ) آورده شده است. ناحیه‌های آبی در کانتور تغییر شکل پلاستیک الزاماً بیانگر مقدار صفر نیستند.

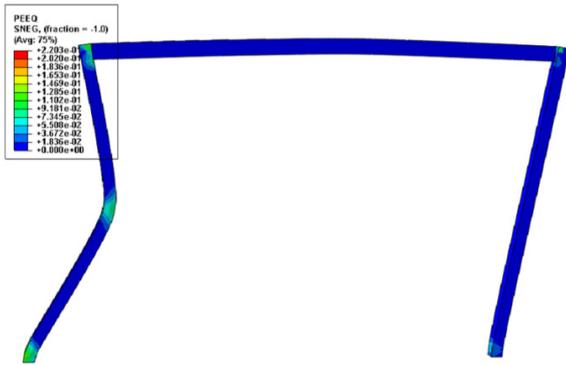


شکل ۱۲: ناحیه‌های تغییر شکل پلاستیک قاب تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 12. Plastic deformation of frame under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

با دقت در شکل ۱۱ و ۱۲ می‌توان دریافت که بیشترین تغییر شکل‌ها در میانه ستون مقابل انفجار و در محل‌هایی از قاب ایجاد شده که دارای بیشترین تنش اعمالی بودند. این نوع از تغییر شکل‌ها سبب به‌وجود آمدن کرنش پلاستیک در قاب می‌شوند. شکل ۱۲ نشان می‌دهد زمانی که موج انفجاری از قاب عبور می‌کند، با توجه به طبیعت ضربه‌ای خود، سبب ایجاد

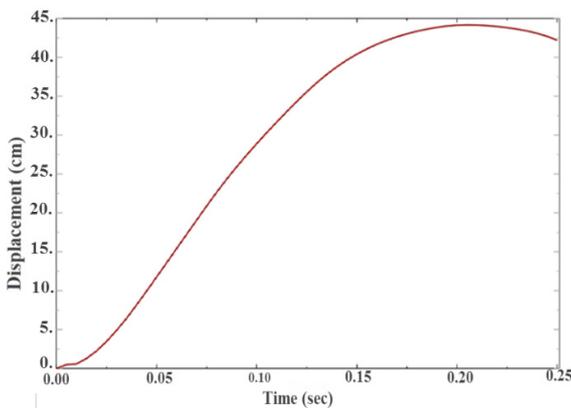
۳-۲- تحلیل قاب یک طبقه تحت بارگذاری دوم ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )  
 دومین انفجاری که روی قاب مورد بررسی قرار گرفت مربوط به انفجار بزرگ‌تر با بزرگی ( $63 \text{ kg/cm}^2$ ) باشد. همانطور که مشاهده می‌شود با نزدیک شدن یک متری فاصله انفجار، مقدار بار وارده به شدت افزایش داشته است. این انفجار سبب تغییر شکل‌های پلاستیک چشمگیری به‌ویژه در سرستون و میانه ستون سمت انفجار می‌گردد. بیشینه تغییر شکل قاب در نقطه‌ی B به اندازه‌ی  $67/16$  سانتیمتر ایجاد گردید. در شکل ۱۵ 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.



شکل ۱۵: ناحیه‌های تغییرشکل پلاستیک قاب تحت انفجار ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 15. Plastic deformation of frame under blast loading ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های کلیدی قاب در این تحلیل در شکل‌های ۱۶ تا ۱۷ نشان داده شده است.

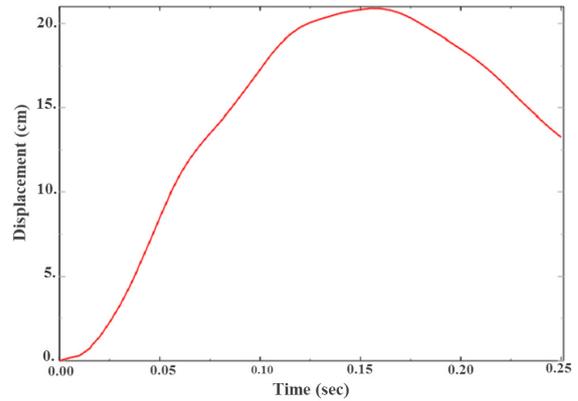


شکل ۱۶: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 16. Time history for the displacement of joint A under blast loading ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

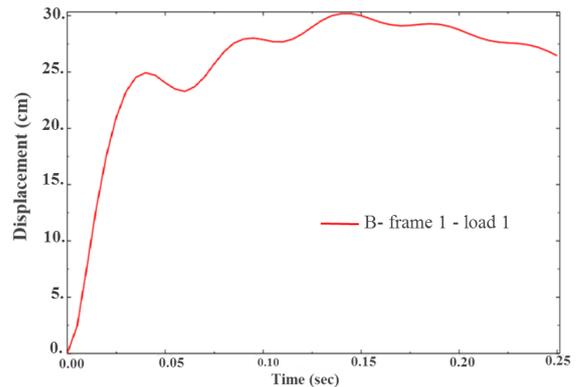
تنش‌های سنگین و به پیروی از آن موجب تغییرشکل‌های گسترده‌ای در سرتاسر قاب به ویژه در ناحیه‌های تکیه‌گاهی و محل اتصال تیر و ستون و میانه ستون مقابل انفجار می‌شود. با گذشت زمان و رسیدن به پایان انفجار، بخشی از این تغییر شکل‌ها به‌طور ماندگار باقی مانده و تغییرشکل‌های پلاستیک را سبب می‌شود.

نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A و B به ترتیب در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ آورده شده است. همانطور که در این شکل‌ها نشان داده شده است، بیشینه جابجایی قاب مربوط به نقطه‌ی B به مقدار  $30/18 \text{ cm}$  می‌باشد و مقدار جابجایی نقطه A برابر  $20/90 \text{ cm}$  می‌باشد.



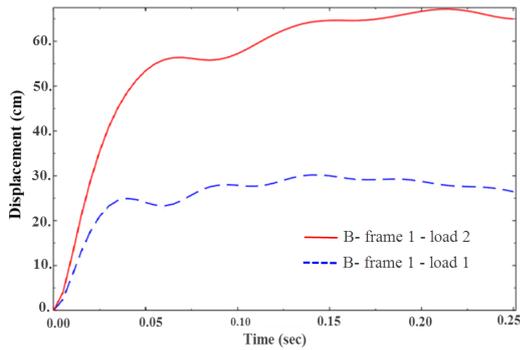
شکل ۱۳: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 13. Time history for the displacement of joint A under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )



شکل ۱۴: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 14. Time history for the displacement of joint B under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )



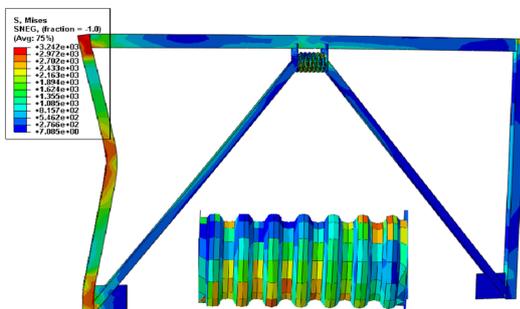
شکل ۱۹: مقایسه‌ی نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در دو انفجار در قاب یک طبقه ساده

Fig. 19. Comparison of Time history for the displacement of joint B in a single frame under two blast loading

بررسی دو شکل بالا نشان می‌دهد که با افزایش ۱/۷۵ برابری 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.

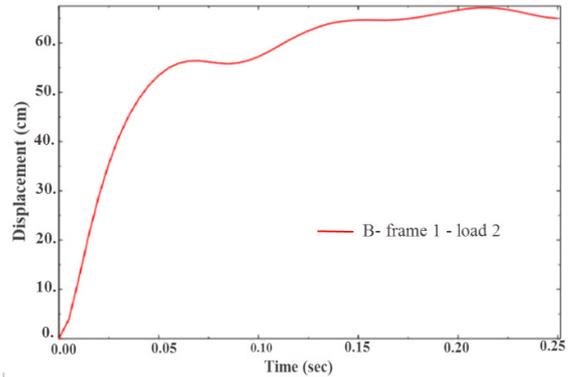
### ۳-۳- تحلیل قاب یک طبقه مجهز به میراگر تحت بارگذاری اول (kg/cm<sup>2</sup>)

همان‌طور که در بخش قبل نتیجه شد، "قاب تنها" در برابر انفجارهای بزرگ دچار تغییرشکل‌های بزرگی 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 به‌دست آمده از این تحلیل نشان می‌دهد که محل اتصال تیر به ستون در سمت انفجار و همچنین تکیه‌گاه ستون سمت انفجار و همچنین میانه ستون و میراگر بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک را به خود می‌گیرند. شکل ۲۰ کانتور تنش فن‌میسز ایجاد شده در قاب را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰: نمونه‌ای از توزیع تنش فن‌میسز قاب یک طبقه مجهز به میراگر تحت انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 20. Von-mises stress contour for one-story frame with damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

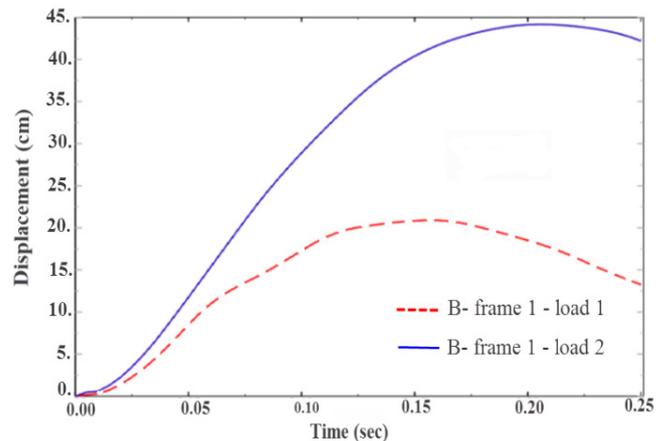


شکل ۱۷: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 17. Time history for the displacement of joint B under blast loading (63 kg/cm<sup>2</sup>)

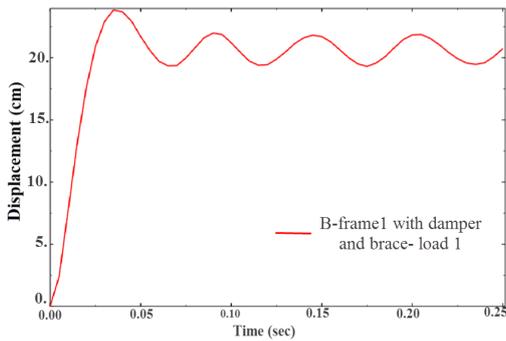
از مقایسه تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های کلیدی قاب می‌توان دریافت که پاسخ قاب در نقطه‌ی B شدیدتر از نقطه‌ی A می‌باشد. به‌طوری که برای این انفجار بیشینه‌ی جابجایی این دو نقطه به ترتیب برابر ۶۷/۱۶ و ۴۴/۱۶ سانتیمتر بوده است. علت این موضوع را می‌توان در خاص بودن هندسه‌ی ستون باکس شکل و نزدیک بودن سختی تیر به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

جهت مقایسه بهتر تاثیر شدت انفجار بر پاسخ قاب، نمودارهای تاریخچه‌ی جابجایی نقطه‌های A و B برای هر دو انفجار به ترتیب در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ آمده است.

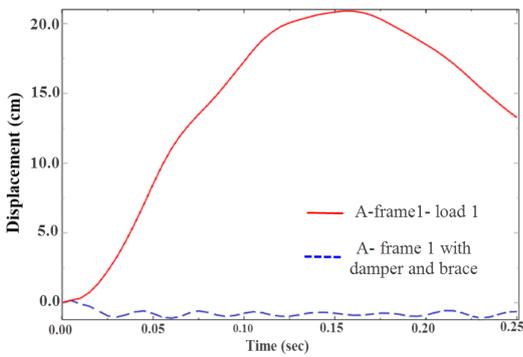


شکل ۱۸: مقایسه‌ی نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در دو انفجار در قاب یک طبقه ساده

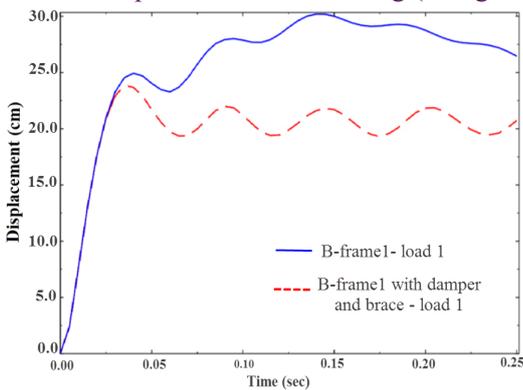
Fig. 18. Comparison of Time history for the displacement of joint A in a single frame under two blast loading



شکل ۲۳: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در قاب مجهز به میراگر تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )  
 Fig. 23. Time history for displacement of joint B in one-story frame with damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

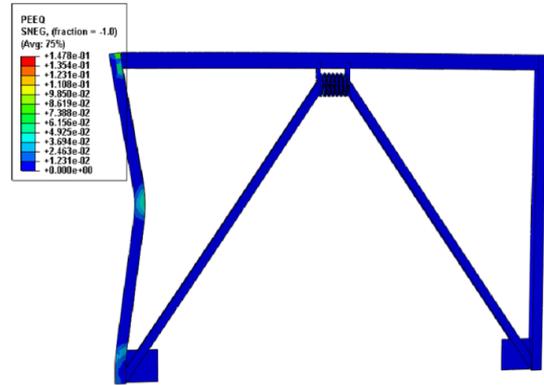


شکل ۲۴: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر و بدون میراگر  
 Fig. 24. Comparison of Time history for the displacement of joint A in one-story frame with damper and without damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )



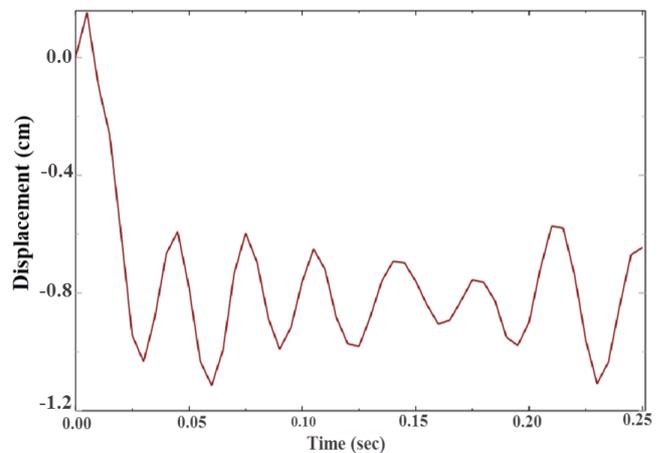
شکل ۲۵: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر و بدون میراگر  
 Fig. 25. Comparison of Time history for the displacement of joint B in one-story frame with damper and without damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

در شکل ۲۱ کانتور تغییرشکل پلاستیک نهایی قاب مجهز به میراگر در  $t=0/25 \text{ sec}$  آورده شده است.



شکل ۲۱: ناحیه‌های تغییرشکل پلاستیک قاب یک طبقه مجهز به میراگر تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )  
 Fig. 21. Plastic deformation of one-story frame with damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

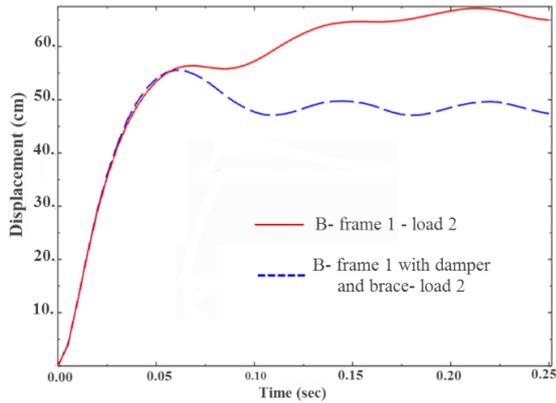
نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A و B در قاب مجهز به میراگر به ترتیب در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ آورده شده است.



شکل ۲۲: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در قاب مجهز به میراگر تحت انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Fig. 22. Time history for displacement of joint A in one-story frame with damper under blast loading ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

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 ۲۴ و ۲۵ آورده شده، نمایان است. این تاثیرات در نقطه A چشمگیر بوده است.



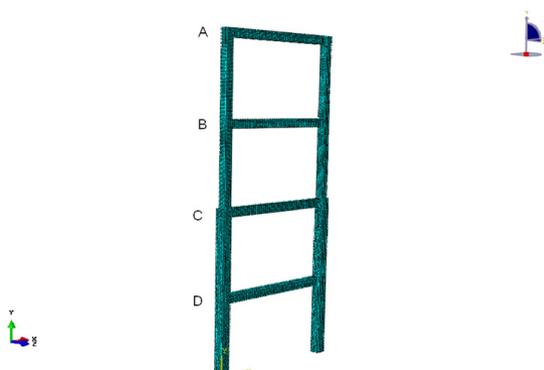
شکل ۲۷: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر و بدون میراگر

Fig. 27. Comparison of Time history for the displacement of joint B in one-story frame with damper and without damper under blast loading ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

همانطور که در دو نمودار بالا مشاهده می‌شود، میراگر در این بارگذاری نیز تاثیری مشابه بارگذاری اول دارد و باعث بهبود رفتار قاب شده است.

#### ۴- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی در قاب چهار طبقه

۴-۱- تحلیل قاب چهار طبقه ساده تحت بارگذاری اول ( $36 \text{ kg/cm}^2$ ) در این تحلیل، قاب چهار طبقه تنها تحت بار انفجاری ( $36 \text{ kg/cm}^2$ ) 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 چهار طبقه نیز چندین نقطه کلیدی مانند شکل زیر مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۲۸: نمای از نقاط کلیدی قاب چهار طبقه

Fig. 28. View of four story frame and specified node

این انفجار سبب تغییر شکل‌های پلاستیک در قاب گردید. 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

با دقت در این شکل‌ها می‌توان دریافت که میراگر تاثیر قابل توجهی بر جابجایی سرستون‌ها (نقطه‌ی A) داشته‌اند. در جدول ۸ مقادیرهای 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. همچنین دوره‌ی تناوب قاب در حالت استفاده از میراگر کاهش یافته است.

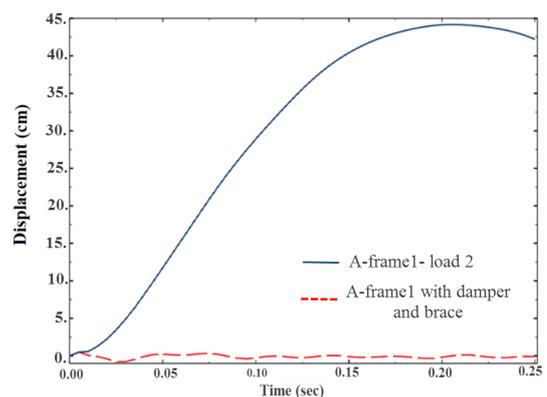
#### جدول ۸: مقایسه‌ی رفتار انفجاری قاب در نقطه‌های A و B در حالت‌های با و بدون میراگر برای انفجار ( $36 \text{ kg/cm}^2$ )

Table 8. Comparison of behavior frames with damper 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                  | ۹۸                     |
| A    | با میراگر   | ۰/۱۵                  |                        |
| B    | بدون میراگر | ۳۰/۱۸                 | ۲۱                     |
| B    | با میراگر   | ۲۳/۸۴                 |                        |

۳-۴- تحلیل قاب یک طبقه مجهز به میراگر تحت بارگذاری دوم ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

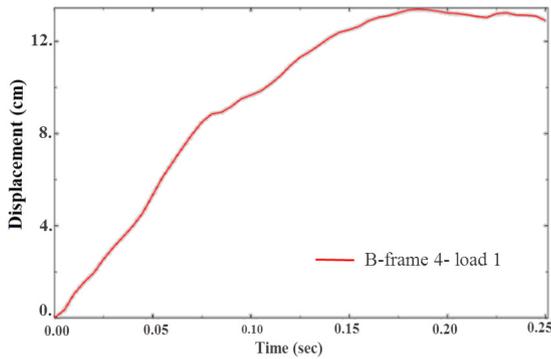
در این تحلیل نیز قاب یک طبقه مجهز به میراگر را تحت انفجار مورد بررسی قرار داده‌ایم. تاثیر به کارگیری میراگر بر پاسخ قاب به انفجار دوم ( $63 \text{ kg/cm}^2$ ) نیز بسیار چشم‌گیر بوده است. این موضوع به روشنی در نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A و B به ترتیب در شکل‌های ۲۶ و ۲۷ نمایان است. در این شکل‌ها نمودار تاریخچه‌ی جابجایی این نقطه‌ها در حالت با و بدون میراگر ترسیم گردیده است.



شکل ۲۶: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )، در قاب یک طبقه مجهز به میراگر و بدون میراگر

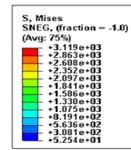
Fig. 26. Comparison of Time history for the displacement of joint A in one-story frame with damper and without damper under blast loading ( $63 \text{ kg/cm}^2$ )

انفجار بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک را به خود می‌گیرند.



شکل ۳۱: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، قاب چهار طبقه

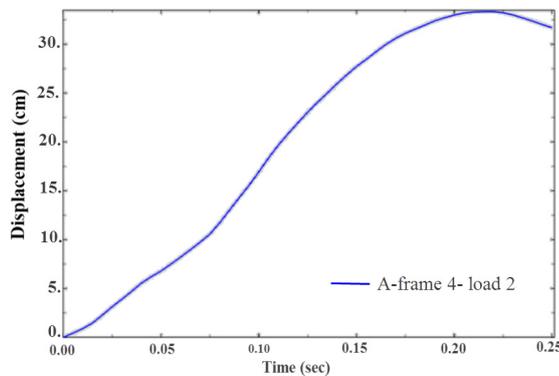
Fig. 31. Time history for displacement of joint B in four story frame under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)



شکل ۲۹: نمونه‌ای از توزیع تنش فن میسز قاب چهار طبقه تحت انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

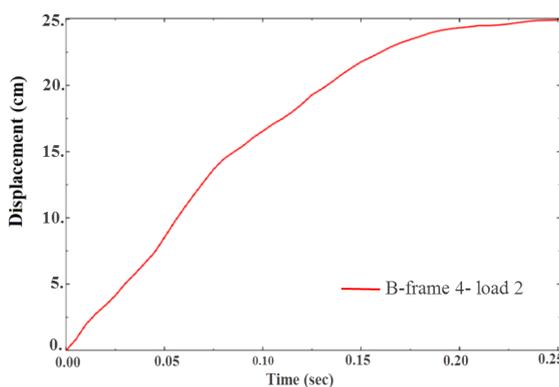
Fig. 29. Von-mises stress contour for four story frame under a blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A، B به ترتیب در شکل‌های ۳۰ و ۳۱ آورده شده است. همانطور که در این شکل‌ها نشان داده شده است، بیشینه جابجایی قاب مربوط به نقطه‌ی A به مقدار ۱۸/۶۷ cm می‌باشد و مقدار جابجایی 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 را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.



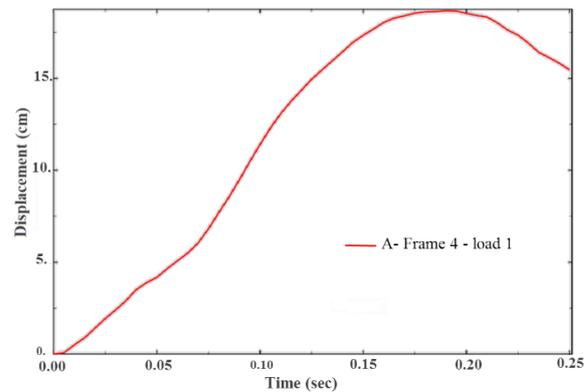
شکل ۳۲: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)، قاب چهار طبقه

Fig. 32. Time history for displacement of joint A in four story frame under blast loading (63 kg/cm<sup>2</sup>)



شکل ۳۳: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)، قاب چهار طبقه

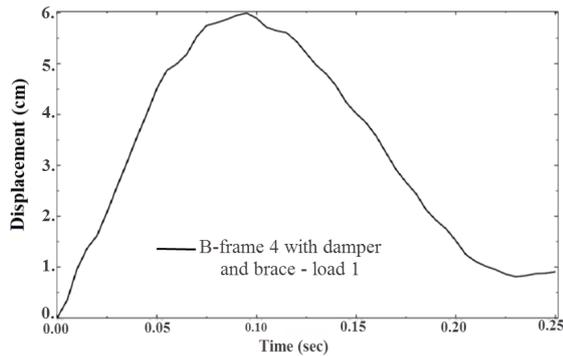
Fig. 33. Time history for displacement of joint B in four story frame under blast loading (63 kg/cm<sup>2</sup>)



شکل ۳۰: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، قاب چهار طبقه

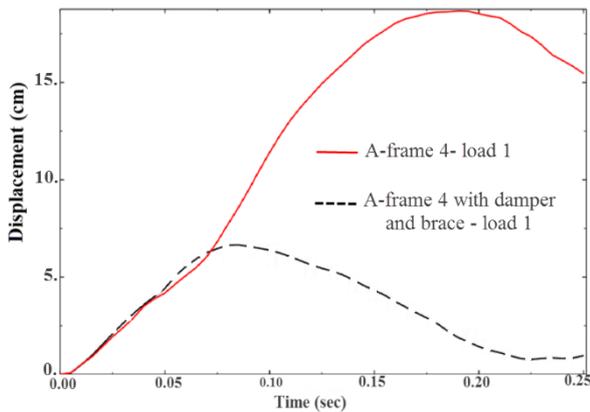
Fig. 30. Time history for displacement of joint A in four story frame under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

۴-۲- تحلیل قاب چهار طبقه ساده تحت بارگذاری دوم (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)  
دومین انفجاری که روی قاب چهار طبقه تنها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد مربوط به انفجار بزرگ‌تر و با بزرگی (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>) می‌باشد. نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A، B در این تحلیل به ترتیب در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



شکل ۳۶: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، قاب چهار طبقه مجهز به میراگر  
 Fig. 36. Time history for displacement of joint B in four story frame with damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

تاثیر به کارگیری میراگر بر پاسخ قاب چهار طبقه به انفجار (۳۶kg/cm<sup>2</sup>) بسیار چشم‌گیر بوده است. این موضوع به روشنی در نمودارهای جابجایی نقطه‌های A، B، که به ترتیب در شکل‌های ۳۷ و ۳۸ آورده شده است، نمایان است.



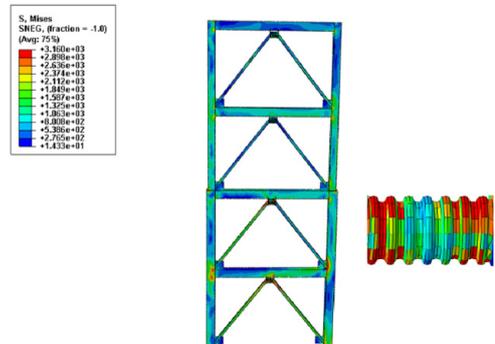
شکل ۳۷: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، در قاب چهار طبقه مجهز به میراگر و بدون میراگر  
 Fig. 37. Comparison of Time history for the displacement of joint A in four story frame with damper and without damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

با دقت در این شکل‌ها می‌توان دریافت که میراگرها تاثیر قابل توجهی بر جابجایی نقطه‌ی A و B داشته‌اند.

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 ۳۳/۳۲ و ۲۴/۹۲ سانتیمتر بوده است.

#### ۴-۳- تحلیل قاب چهار طبقه مجهز به میراگر تحت بارگذاری اول (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

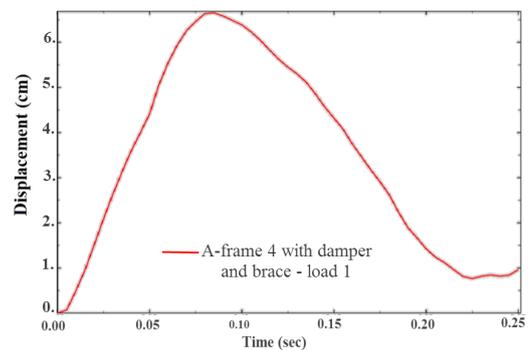
در قاب چهار طبقه مجهز به میراگر نیز از اعضای مشابه با قاب یک طبقه مجهز به میراگر (میراگر، مهاربند، صفحات اتصال) استفاده شده است. بررسی نتیجه‌های به دست آمده از این انفجار نشان می‌دهد که محل اتصال تیر به ستون در سمت انفجار و همچنین میراگرها بیشترین تغییر شکل‌های پلاستیک را به خود می‌گیرند. شکل ۳۴ کانتور تنش فن میسز ایجاد شده در قاب را نشان می‌دهد.



شکل ۳۴: نمونه‌ای از توزیع تنش فن میسز قاب چهار طبقه مجهز به میراگر تحت انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 34. Von-mises stress contour for four story frame under a blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌های A و B به ترتیب در شکل‌های ۳۵ و ۳۶ آورده شده است.



شکل ۳۵: نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی A در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، قاب چهار طبقه مجهز به میراگر

Fig. 35. Time history for displacement of joint A in four story frame with damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

آورده شده است. تحلیل کلی جدول ۱۰ نشان می‌دهد که با استفاده از میراگر، بیشینه جابجایی ستون سمت انفجار کاهش قابل توجهی یافته است. به طوری که بیشترین کاهش برای نقطه‌ی A، ۶۱٪ بوده است. این میزان برای نقطه‌ی B، ۵۲٪ می‌باشد.

**جدول ۱۰: مقایسه‌ی رفتار انفجاری قاب چهار طبقه در نقطه‌های A و B در حالت‌های با و بدون میراگر برای انفجار (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)**

Table 10. Comparison of behavior four story frames with damper and without damper in joints A and B under blast loading (63 kg/cm<sup>2</sup>)

| نقطه | نوع قاب     | بیشینه جابه جایی (cm) | میزان تاثیر میراگر (%) |
|------|-------------|-----------------------|------------------------|
| A    | بدون میراگر | ۳۳/۳۲                 | ۶۱                     |
| A    | با میراگر   | ۱۲/۹                  |                        |
| B    | بدون میراگر | ۲۴/۹۲                 | ۵۲                     |
| B    | با میراگر   | ۱۱/۸۲                 |                        |

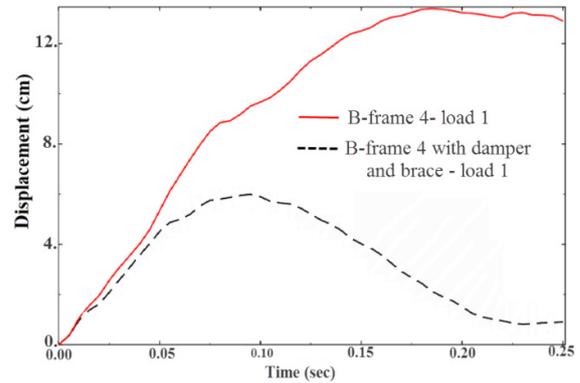
به دلیل شدت انفجار در بارگذاری دوم، میراگرها تاثیر کمتری نسبت به بارگذاری اول داشته‌اند.

**۵- نتیجه گیری**

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

از تحلیل قاب‌ها نتیجه‌های زیر به دست آمد:

۱. بررسی و تحلیل تاریخچه‌ی جابجایی قاب یک طبقه تنها تحت دو انفجار نشان می‌دهد که، با افزایش ۱/۷۵ برابری فشار انفجار، بیشینه جابجایی سر ستون و میانه ستون سمت انفجار به ترتیب ۲/۱۱ و ۲/۲۲ برابر رشد می‌کند رشد بالاتر میزان جابجایی میانه 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 یک طبقه دارد. این عامل سبب کاهش جابجایی قاب در تمام بخش‌های آن می‌شود. میزان این کاهش برای قسمت‌های مختلف قاب متفاوت است. این کاهش



**شکل ۳۸: مقایسه نمودار تاریخچه‌ی زمانی جابجایی نقطه‌ی B در انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)، در قاب چهار طبقه مجهز به میراگر و بدون میراگر**

Fig. 38. Comparison of Time history for the displacement of joint B in four story frame with damper and without damper under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

در جدول ۹ مقادیرهای بیشینه جابجایی نقطه‌ی A و B در دو حالت، بدون میراگر و با میراگر، آورده شده است.

تحلیل کلی جدول ۹ نشان می‌دهد که با استفاده از میراگر، بیشینه جابجایی ستون سمت انفجار کاهش قابل توجهی یافته است. به طوری که بیشترین کاهش برای نقطه‌ی A، ۶۴٪ بوده است. این میزان برای نقطه‌ی B، ۵۵٪ می‌باشد.

همچنین دوره‌ی تناوب قاب در حالت استفاده از میراگر کاهش می‌یابد.

**جدول ۹: مقایسه‌ی رفتار انفجاری قاب چهار طبقه در نقطه‌های A و B در حالت‌های با و بدون میراگر برای انفجار (۳۶ kg/cm<sup>2</sup>)**

Table 9. Comparison of behavior four story frames with damper and without damper in joints A and B under blast loading (36 kg/cm<sup>2</sup>)

| نقطه | نوع قاب     | بیشینه جابجایی (cm) | میزان تاثیر میراگر (%) |
|------|-------------|---------------------|------------------------|
| A    | بدون میراگر | ۱۸/۶۷               | ۶۴                     |
| A    | با میراگر   | ۶/۶۵                |                        |
| B    | بدون میراگر | ۱۳/۳۹               | ۵۵                     |
| B    | با میراگر   | ۵/۹۹                |                        |

**۴-۴- تحلیل قاب چهار طبقه مجهز به میراگر تحت بارگذاری دوم (۶۳ kg/cm<sup>2</sup>)**

در جدول ۱۰ مقادیرهای بیشینه جابجایی نقطه‌ی A و B در ۲ حالت، یکی بدون میراگر و با میراگر تحت بارگذاری دوم در قاب چهار طبقه،

221-235.

- [3] T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta, J. Ramsay, Blast loading and blast effects on structures—an overview, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 7(S1) (2007) 76-91.
- [4] G. Langdon, S.C.K. Yuen, G. Nurick, Experimental and numerical studies on the response of quadrangular stiffened plates. Part II: localised blast loading, *International Journal of Impact Engineering*, 31(1) (2005) 85-111.
- [5] H. Chen, J. Liew, Explosion and fire analysis of steel frames using mixed element approach, *Journal of Engineering Mechanics*, 131(6) (2005) 606-616.
- [6] 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.
- [7] T. Krauthammer, Blast-resistant structural concrete and steel connections, *International journal of impact engineering*, 22(9-10) (1999) 887-910.
- [8] T. Sabuwala, D. Linzell, T. Krauthammer, Finite element analysis of steel beam to column connections subjected to blast loads, *International Journal of Impact Engineering*, 31(7) (2005) 861-876.
- [9] G. Daneshi, S. Hosseini-pour, Grooves effect on crashworthiness characteristics of thin-walled tubes under axial compression, *Materials & design*, 23(7) (2002) 611-617.
- [10] M. Motamedi, F. Nateghi-Elahi, Using Accordion Thin-Walled Tube as a Hysteretic Metallic Damper, in: 13 th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 2004.
- [11] M. Motamedi, F. Nateghi-Elahi, M. Ziaefar, Study of Energy Dissipation in Accordion Thin-Walled Tubes under Axial Cyclic Loads, *Esteghlal*, 25(1) (2006) 101-119.
- [12] M. Motamedi, F. Nateghi-Elahi, M. Ziaefar, Experimental Study of Application of Accordion Metallic Damper in Seismic Retrofitting of Steel Frames, 5th International Conference on Seismology & Earthquake Engineering (SEE5), Tehran, Iran, (2007).
- [13] 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) (2011) -.
- [14] A. Aastaneh-Asl, Progressive collapse prevention in new and existing buildings, in: Proc., 9th Arab Structural Engineering Conf., Abu Dhabi, UAE, Nov, 2003.
- [15] N. Lam, P. Mendis, T. Ngo, Response spectrum solutions

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 درصد می‌باشد.

۳. میزان حداکثر جابه‌جایی قاب چهارطبقه کمتر از میزان حداکثر جابه‌جایی قاب یک طبقه بوده است. این موضوع اثر وزن سازه در بهبود رفتار آن تحت بار انفجار را نشان می‌دهد.

۴. بررسی و تحلیل تاریخچه‌ی جابه‌جایی قاب چهار طبقه تنها تحت دو انفجار نشان می‌دهد که، با افزایش ۱/۷۵ برابری فشار انفجار، بیشینه جابه‌جایی 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.

۵. استفاده از میراگر به همراه مهاربند روی رفتار انفجاری قاب چهار طبقه نیز تاثیر زیادی دارد. این عامل سبب کاهش جابه‌جایی 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.

#### ضمیمه

در این بخش در جدول ۱۱ مشخصات بارهای وارده و پارامترهای مربوط به آن آورده شده است.

#### جدول ۱۱: مشخصات بارهای وارده و پارامترهای مربوطه

Table 11. Characteristics of the loads and related parameters

| نوع بارگذاری |              | پارامتر            |
|--------------|--------------|--------------------|
| بارگذاری اول | بارگذاری دوم | (W)(kg)            |
| ۱۰۰۰         | ۱۰۰۰         | (R)(m)             |
| ۶            | ۷            | Z                  |
| ۰/۰۱۵        | ۰/۰۱۶        | T <sub>s</sub>     |
| ۲/۳۴         | ۲/۱          | b                  |
| ۳۵           | ۲۰           | P <sub>s</sub>     |
| ۶۳           | ۳۶           | P <sub>s max</sub> |

#### مراجع

- [1] Primary Draft for National Building Regulations 21th Topic. (Passive Defense), Sixth Edition ed., Building and Housing Research Center, 2009.
- [2] Taylor, The propagation and decay of blast waves, The Scientific Papers of Sir Geoffrey Ingram Taylor, 3 (1939)

- [18] S.C.K. Yuen, G. Nurick, The Use of Tubular Structures as Cores for Sandwich Panels Subjected to Dynamic and Blast Loading: A Current “State of the Art”, in: Blast Mitigation, Springer, 2014, pp. 229-248.
- [19] S. Reid, Plastic deformation mechanisms in axially compressed metal tubes used as impact energy absorbers, International Journal of Mechanical Sciences, 35(12) (1993) 1035-1052.
- for blast loading, Electronic Journal of Structural Engineering, 4(4) (2004) 28-44.
- [16] G. Langdon, A. Ozinsky, S.C.K. Yuen, The response of partially confined right circular stainless steel cylinders to internal air-blast loading, International Journal of Impact Engineering, 73 (2014) 1-14.
- [17] C. Geretto, S.C.K. Yuen, G. Nurick, An experimental study of the effects of degrees of confinement on the response of square mild steel plates subjected to blast loading, International Journal of Impact Engineering, 79 (2015) 32-44.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A. MirzaGoltabar Roshan, A. Naseri, J. Nasiri larimi, Investigating the Effect of Accordion thin Walled Dampers on Reducing the Response of Frames Subjected to blast Loading. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(4) (2018) 707-722.

DOI: 10.22060/ceej.2016.855

