



فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))

دوره ۲، شماره ۳، آذر ۱۴۰۲

عنوان مقالات

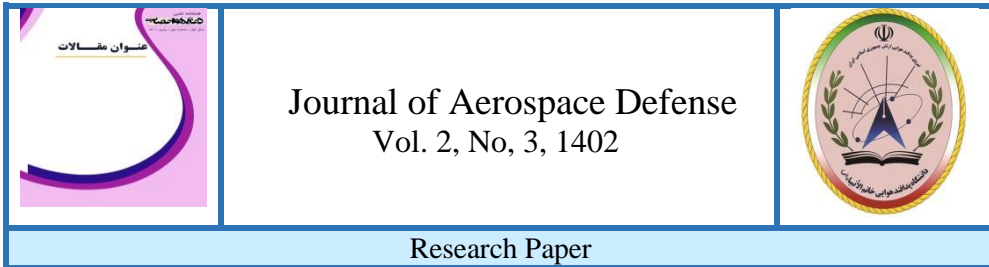
مقاله پژوهشی

افزایش قابلیت دفاعی سازه‌های فولادی با تعیین اتصالات فولادی بهینه در مقابل بار انفجار و ارائه روشی جهت بهبود عملکرد آنها

حسن صالحی^۱

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء(ص)، تهران، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در این مطالعه به بررسی عددی اتصالات‌های از پیش تأیید شده مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تحت بارگذاری انفجاری پرداخته شد. بدین منظور، شش قاب سه طبقه دو دهانه با اتصالات‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که تحت بارگذاری انفجاری، قاب با اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده دارای کمترین جابجایی و بهینه‌ترین عملکرد است. همچنین قاب با اتصال گیردار مستقیم توسط تیر با مقطع کاهش‌یافته دارای بیشترین جابجایی و ضعیف‌ترین عملکرد بود. کاهش و یا افزایش تعداد طبقات تأثیری بر عملکرد بهینه قاب با اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده نداشت. به ازای ۵ متر نزدیک‌تر شدن محل انفجار به قاب، فشار موج انفجار معادل افزودن ۵۰ کیلوگرم TNT افزایش یافت. افزودن صفحه فولادی با ضخامت ۱ سانتی‌متر به محل چشمه اتصال و دو انتهای تیرها به‌صورت جداگانه باعث کاهش ۱۱ و ۵ درصدی حداکثر جابجایی قاب شد. این در حالی است که افزودن صفحه فولادی با ضخامت ۱ cm هم‌زمان به دو انتهای تیرها و چشمه اتصال ستون، باعث کاهش ۱۵ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب شد که روش بسیار مناسبی برای بهبود عملکرد اتصالات‌ها در مقابل انفجار است.</p>	<p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱</p> <p>کلمات کلیدی: اتصالات‌های فولادی، بارگذاری انفجاری، مقاوم در برابر انفجار، روش اجزاء محدود، آباکوس.</p> <hr/> <p>doi</p> <p>نویسنده مسئول: حسن صالحی ایمیل: h.salehi@sru.ac.ir</p>
<p>استناد به مقاله: حسن صالحی، تعیین اتصالات‌های فولادی بهینه در مقابل بار انفجار و ارائه روشی جهت بهبود عملکرد آنها، مجله علمی پژوهشی دفاع هوافضایی دوره ۲، شماره ۳، آذر ۱۴۰۲.</p>	



Increasing the defense capability of steel structures by determining optimal steel connections against blast load and providing methods to improve their performance

Hasan Salehi ¹

1. Assistant Professor of Department of Mechanical Engineering, Khatam Ol Anbia University, Tehran, Iran.

Article Information

Accepted: 1402/12/09

Received: 1402/03/31

Keywords:

Steel connections,
Explosive loading,
Resistance to blast load,
Finite element method,
ABAQUS software.

Abstract

In this study, the numerical investigation of the pre-approved connections of the 10th topic of the National Building Regulations under explosive loading was done. For this purpose, six three-story, two-span frames with different connections were examined. These frames had similar beams and columns, and their connection types differed. The results showed that the frame with a bolted unstiffened extended end-plate connection (BUEEP) had the minimum displacement and optimal performance under explosive loading. Also, the frame with the reduced beam section connection (RBS) had the highest displacement and the weakest performance. Decreasing or increasing the number of floors did not affect the optimal performance of the frame with a bolted unstiffened extended end-plate (BUEEP) connection. To improve the performance of these connections, various methods were investigated. It was found that adding a steel plate with a thickness of 1 cm to the center of the column and the two ends of the beams separately reduced the maximum displacement of the frame by 11 and 5%. Meanwhile, adding a steel plate with a thickness of 1 cm to the two ends of the beams and the middle of the column at the same time caused a 15% reduction in displacement at the level of the third roof of the frame, which is a very suitable method to improve the performance of connections against explosion.



Corresponding author:

Hasan Salehi

Email: h.salehi@sru.ac.ir

HOW TO CITE: Hasan Salehi, Determining optimal steel connections against blast load and providing methods for improvement in performance, Journal of Aerospace Defense, Vol. 2, No 3, 1402.

۱- مقدمه

تحلیل اثر بارگذاری انفجار بر روی سازه‌ها از دهه ۱۹۶۰ آغاز گردید. در سال ۱۹۵۹، ارتش آمریکا، نشریه‌ای تحت عنوان سازه‌های مقاوم در برابر اثرات انفجارهای تصادفی منتشر نمود. نسخه ویرایش شده این نشریه در سال ۱۹۹۰ منتشر گردید. پس از آن پژوهشگران مختلفی به بررسی تأثیر بارگذاری انفجاری بر سازه‌ها پرداختند که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد. نگو^۱ و همکاران [۱] در مطالعه خود پیرامون تحلیل و طراحی سازه‌ها تحت اثر بارهای انفجاری به این نتیجه رسیدند که از مشکلات اصلی که سازه‌ها در مواجه با بارگذاری‌های انفجاری روبرو می‌شوند این است که نیروهایی که سازه برای آن طراحی می‌گردد از نیروهایی که به واسطه انفجار به وجود می‌آید به مراتب کمتر است. در حدود سه دهه بر روی توسعه روش‌های مختلف برای پیدا کردن روش مناسب برای طراحی در مقابل بارهای انفجاری تلاش شد. تحلیل و طراحی سازه‌ها در مقابل بارگذاری انفجاری نیازمند داشتن اطلاعاتی پیرامون جزئیات انفجار بوده که نگو و همکارانش [۱] به‌طور مفصل در مطالعه خود به آن پرداخته‌اند. همچنین نگو و همکاران [۱] انفجارهای طبیعی و نحوه گسترش امواج در فضاهای باز و روش‌های تخمین بارگذاری سازه و پاسخ سازه‌ها را مورد مطالعه قرار دادند.

در این راستا صالحی [۲] به مطالعه عملکرد لایه‌های ژئوگرید در مقاوم‌سازی خاک‌های مختلف پرداخت. بدین منظور مطالعه آزمایشگاهی و عددی بر روی بسترهای مسلح به ژئوگرید در دو حالت استاتیکی و انفجاری انجام گرفت. نتایج نشان داد که برای بستر خاکی با مدول الاستیسیته‌های متفاوت، در حالت بارگذاری استاتیکی تأثیر لایه‌های ژئوگرید در بهبود میزان نشست پی به‌طور متوسط حدود ۶۵٪ و در بارگذاری انفجاری به‌طور متوسط حدود ۶۸٪ است. در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد درب‌های قوسی در برابر بار انفجار به کمک نرم‌افزار ال‌اس‌داینامورد تحلیل قرار گرفت [۳]. مشاهدات ثابت نمودند که در میان روش‌های مختلف مقاوم‌سازی درب، استفاده از رویه چند قوسی، بیشترین افزایش را در مقاومت درب ایجاد می‌کند. این روش مقاوم‌سازی سبب می‌شود که ضمن استفاده از مقدار فولاد کمتر، توزیع تنش در سطح درب یکنواخت‌تر صورت گرفته و تمرکز تنش کاهش یابد [۳].

کیو^۲ و همکاران [۴] به بررسی پاسخ دینامیکی لوله‌ها تحت بار انفجار پرداختند. بدین منظور پارامترهای مختلفی از جمله حالت انفجار، فشار داخلی، بازه زمانی انفجار، مقادیر مختلف بار انفجار

¹ Ngo

² Qu

و نسبت قطر به ضخامت لوله را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فشار داخلی مناسب لوله می‌تواند به‌طور مؤثری از تغییر شکل و کمانش لوله جلوگیری کند. همچنین مشخص شد که در مقایسه با لوله مستقیم معمولی، استفاده از لوله فولادی با اتصال فلنجی پیچ شده می‌تواند به‌طور مؤثری تغییر شکل ناشی از کمانش موضعی را کاهش داده و با افزایش سختی موضعی و جذب انرژی، مقاومت لوله در برابر انفجار را بهبود بخشد. ونگ^۱ و همکاران [۵] استفاده از جداسازهای پایه در ستون‌ها را برای مقابله با بارهای لرزه‌ای و انفجاری مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با در نظر گرفتن بارهای انفجاری مختلف، ارتفاع‌های انفجار متعدد و فشارهای محوری مختلف به مقایسه نتایج پرداختند و در نهایت نشان دادند که استفاده از جداساز در بالای ستون و یا هم‌زمان در بالا و پایین ستون، علاوه بر بهبود عملکرد لرزه‌ای، سبب حفظ ظرفیت در برابر انفجار و در برخی موارد افزایش این ظرفیت نیز می‌گردد. استفاده از ستون‌های فولادی پر شده با بتن در مقابل بار انفجار، به‌عنوان یک سیستم کارآمد در سال‌های گذشته به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. مشکل اصلی استفاده از این نوع ستون نحوه اتصال تیر به ستون است. علی‌اکبری و همکاران [۶] رفتار سه نوع اتصال تیر به این نوع ستون‌ها را با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی صریح مورد بررسی قرار دادند. از تحلیل نتایج مشخص شد که اتصال بهینه در حالتی است که امتداد تیر به داخل ستون نفوذ کند. در این حالت تمامی بخش‌های ستون در حمل بار و جذب انرژی نقش داشت و اتصال پلاستیک نیز بر روی تیر و به دور از وجه ستون تشکیل شد.

هوگتن^۲ و کرنز^۳ [۷] تأثیر استفاده از صفحات جانبی در محل اتصال‌ها تحت بارگذاری انفجاری را با تحلیل یک قاب سه دهانه هشت طبقه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود سه نوع سیستم اتصال استاندارد، TA و Side plate در نظر گرفتند و برای بارگذاری انفجاری از نمودار تاریخچه زمان-فشار استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که اتصال‌ها از نوع ورق جانبی ظرفیت خمشی را افزایش داده، کرنش سخت‌شدگی کاملی را در المان‌های اتصال به وجود آورده و ظرفیت دورانی تحت بارگذاری چرخه‌ای و تغییر مکان نسبی طبقه را تأمین می‌کند [۷]. سابوالا^۴ و همکاران [۸] رفتار سیستم اتصال گیردار ورق کناری جان به ستون و سیستم ورق جوش شده به بال را برای دو نوع اتصال که توسط آئین‌نامه AISC معرفی شده بود تحت تأثیر بارگذاری انفجاری مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بر پایه نتایج مطالعه خود معیارهای آئین‌نامه‌ی TM5-1300 را مورد بررسی قرار داده و نواحی بحرانی در جزئیات اتصال‌ها را مشخص و روش ساده‌ای را برای تعیین جزئیات

¹ Wang

² Houghton

³ Karns

⁴ Sabuwala

اتصال‌ها تحت بار انفجار معرفی نمودند. در مطالعه‌ای دیگر، صفحات سخت شده کاملاً گیردار با استفاده از روش‌های اجزاء محدود و تفاضل محدود مرکزی تحت اثر بار انفجار مورد مطالعه قرار گرفت [۹]. هدف از این مطالعه تعیین پاسخ دینامیکی صفحات با سخت‌کننده‌های متفاوت و منظور نمودن اثرات حساسیت تراکم مش، مدت زمان انفجار و نرخ کرنش بر آن‌ها بود. نتایج نشان دادند که مدل‌هایی که ظرفیت نرخ کرنش آن‌ها بالا است، دارای سختی بیشتری بوده و میزان جابه‌جایی وسط صفحه کمتر است [۹]. برویک^۱ و همکاران [۱۰] پاسخ یک مخزن فولادی را تحت اثر بارهای انفجار مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که فرمول‌های لاگرانژی به تنهایی می‌توانند پاسخ‌های سازه تحت اثر بارگذاری انفجاری را تعیین کنند و اگر این روابط کمی اصلاح شود قادر هستند که مانند فرمول‌های کوپل لاگرانژی و اولری نتایج قابل قبولی ارائه دهد.

سان^۲ و همکاران [۱۱] عملکرد عرشه پل را در حالت‌های مختلف برای سه نوع مصالح فولادی و دو نوع مصالح بتنی تحت سناریوی انفجار ماشین بر روی عرشه پل مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل حاکی از آن بود که مصالح فولادی یا بتنی با مقاومت پایین‌تر ولی با انعطاف‌پذیری بیشتر عملکرد به مراتب بهتری از مصالح با مقاومت بالا ولی شکننده داشتند. سیستم قاب فولادی در توقف خرابی پیش‌رونده ناشی از تخریب یک یا چند عضو باربر که بارهای قائم را تحمل می‌کنند توانایی بالایی دارد. ضوابط رایجی که طراحی به‌وسیله آن‌ها صورت می‌گیرد در هنگام خرابی پیش‌رونده و باز توزیع نیروها باعث می‌شود، اعضا انعطاف‌پذیری کمتری از خود نشان داده و تعدادی از المان‌ها نیز رفتار ترد و با مقاومت پایین از خود نشان دهند [۱۲]. همچنین اتصال‌ها برای مقابله با خرابی پیش‌رونده نیاز به طراحی خاص دارند و انواع جدید اتصال‌ها باید توسعه پیدا کنند. شاپ^۳ [۱۳] به بررسی ستون‌های بال‌پهن تحت اثر بار محوری ثابت و بارگذاری جانبی انفجاری پرداخت. در این مطالعه نتایج تاریخچه زمانی جابه‌جایی نقاط و تغییر شکل‌های پلاستیک برای مقادیر مختلف بار محوری بررسی شده و نتایج به دست آمده به‌عنوان یک روش بهینه شده برای طراحی و تحلیل ارائه گردید.

نتایج مطالعه‌های آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی نشان داده است که دیوارهای حائل محافظ می‌توانند به‌طور قابل توجهی بار انفجار را کاهش داده و سازه‌ها را در برابر انفجار خارجی محافظت کنند. با این حال، هیچ رابطه‌ای برای تخمین بارهای انفجاری در سازه پشت دیوار حائل وجود ندارد [۱۴]. کراس‌آمر^۴ و کیپولا^۱ [۱۵] روش بسیار مهمی برای طراحی اتصال‌ها تحت بارگذاری انفجار

¹ Borvik

² Son

³ Shope

⁴ Krauthammer

ارائه نمودند. آنها نشان دادند که تحلیل اجزای محدود خرابی پیش‌رونده به واسطه اثرات انفجار اطلاعات مفیدی را پیرامون نحوه شکست سازه‌ها ارائه می‌کند. همچنین مشخص شد که تحلیل اجزای محدود قاب سازه‌های فولادی به مدهای شکست اتصال‌ها بسیار حساس است. باترا^۲ و حسن [۱۶] با استفاده از آنالیز اجزاء محدود به بررسی تغییر شکل کامپوزیت‌های لایه‌ای تحت اثر بارگذاری انفجاری پرداختند. نتایج به دست آمده از این مطالعه نخستین اطلاعاتی بود که از آنها برای طراحی سازه‌های کامپوزیت تحت اثر انرژی شکست ناشی از انفجار استفاده شد. در دستورالعمل سازه‌های فولادی انجمن مهندسين آمریکا^۳، قواعد کلی در خصوص تأثیر امواج حاصل از انفجار بر سازه‌های فولادی و تعداد زیادی از مطالعه‌های موردی سازه‌های آسیب دیده در انفجار بیان شده است. این دستورالعمل توسط محققان مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن در مطالعه‌های متعدد پاسخ دینامیکی سازه‌های فولادی تحت بار انفجار مورد مطالعه قرار گرفته و رفتار ستون‌های فولادی شکل‌پذیر و اتصال‌های فولادی در مقابل بارگذاری انفجار مورد بررسی قرار گرفته است [۱۷].

در طراحی سازه‌های فولادی تحت بارگذاری زلزله، در قاب‌های خمشی برای اتصال تیرها به ستون‌ها از اتصال‌های از پیش تأیید شده‌ای که در آئین‌نامه‌ی AISC358 [۱۸] به آنها اشاره شده استفاده می‌شود. این اتصال‌ها شامل اتصال گیردار پیچی با ورق روسری و زیر سری^۴، اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده^۵، اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و با سخت‌کننده^۶، اتصال گیردار مستقیم تقویت نشده جوشی^۷، اتصال گیردار جوشی با ورق روسری و زیر سری^۸ و اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش‌یافته^۹ است. لازم به ذکر است که اتصال‌های مذکور در مطالعات مختلف تحت بار زلزله مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت در آیین‌نامه‌های متعدد از جمله مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران جهت بهره‌برداری در سازه پیشنهاد شده است. در این مبحث، الزامات عمومی اتصال‌های گیردار از پیش تأیید شده و الزامات فنی هر یک از آنها بیان شده است. نکته‌ای که در این حین وجود دارد این است که آیین‌نامه‌های ساختمانی، همگی سازه‌ها را برای بارهای رایج و به‌خصوص بار زلزله طراحی می‌نمایند و این در حالی است که طراحی آنها

¹ Cipolla

² Batra

³ AISC

⁴ Bolted Flange Plates (BFP)

⁵ Bolted Unstiffened Extended End-Plate (BUEEP)

⁶ Bolted Stiffened Extended End-Plate (BSEEP)

⁷ Welded Unreinforced Flange-Welded Web (WUF-W)

⁸ Welded Flange Plate (WFP)

⁹ Reduced Beam Section (RBS)

در مقابل بار انفجار مغفول مانده است. با توجه به وجود خلأ مطالعاتی در این حوزه، هدف از این مطالعه بررسی اتصال‌های گیردار از پیش تأیید شده فولادی در مقابل بار انفجار و تعیین اتصال خمشی بهینه از میان آن‌ها است.

به منظور انجام این مطالعه، از نرم‌افزار اجزا محدود آباکوس استفاده شده است. بدین منظور در ابتدا صحت‌سنجی لازم صورت پذیرفت تا از صحت انجام مطالعه و مدل‌سازی مربوطه اطمینان حاصل شود. سپس با انجام مدل‌سازی قاب خمشی معمولی و قاب‌هایی با انواع مختلف اتصال‌های از پیش تأیید شده، عملکرد این قاب‌ها در مقابل بارهای انفجاری حاصل از ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم ماده منفجره TNT در فواصل ۱۰ و ۱۵ متری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از تعیین اتصال بهینه در مقابل بار انفجار، با بررسی راه‌کارهای مختلف از جمله افزودن ورق‌های تقویتی به بخش‌های مختلف اتصال مربوطه، محل مناسب افزودن این ورق‌ها جهت داشتن بهترین عملکرد مشخص گردید.

۲- مدل‌سازی اجزاء محدود

در این تحقیق، با استفاده از روش اجزاء محدود و به کمک نرم‌افزار آباکوس، اتصال‌های فولادی از پیش تأیید شده تحت بارگذاری انفجاری مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹]. از آنجایی که روش‌های تحلیل ضمنی^۱ هنگامی که مواد وارد ناحیه غیرخطی می‌شوند توانایی همگرایی جواب را ندارند از روش صریح^۲ استفاده شده است.

۲-۱- صحت‌سنجی مدل‌سازی

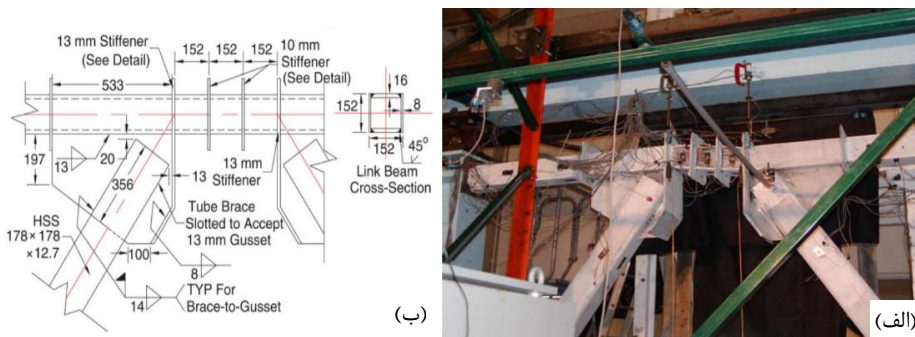
جهت اطمینان از نتایج به دست آمده از نرم‌افزار، قاب مهارشده واگرایی که توسط برمن^۳ و برونو^۴ [۲۰] آزمایش شده بود مدل‌سازی شده و نتایج به دست آمده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. مشخصات و نحوه بارگذاری قاب مهارشده واگرا در شکل ۱ نمایش داده شده است. با توجه به اینکه فولاد مصرفی برای جان و بال نمونه آزمایشگاهی متفاوت بوده است مشخصات این مصالح به صورت مجزا در جدول (۱) بیان شده است.

^۱ Implicit

^۲ Explicit

^۳ Berman

^۴ Bruneau

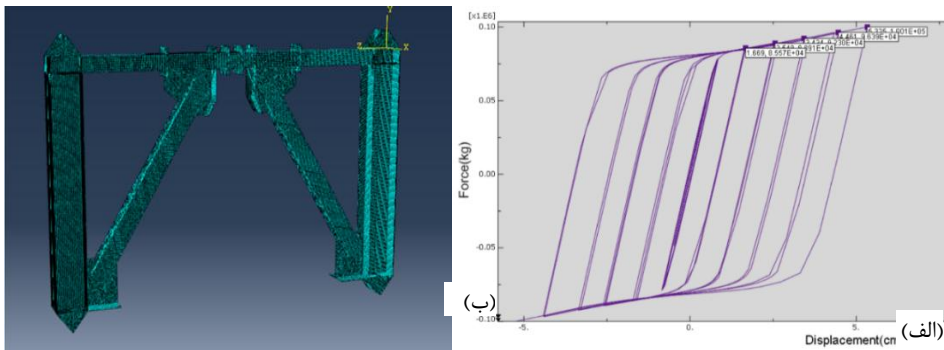


شکل (۱) - (الف) مشخصات قاب مهارشده واگرا و بارگذاری آن (ب) جزئیات اتصال قاب مهارشده واگرا [۲۰]

جدول (۱) - مشخصات فولاد جان و بال قطعات مورد استفاده در قاب مهارشده واگرا [۱۵]

ضریب پواسون	مدول یانگ (kg/cm ²)	وزن مخصوص (kg/m ³)	کرنش پلاستیک	تنش تسلیم (kg/cm ²)
مشخصات فولاد جان				
۰/۳	۲۱۰۰۰۰	۷۸۵۰	۰	۴۴۸۰
			۰/۱۹	۵۴۵۴/۵
مشخصات فولاد بال				
۰/۳	۲۱۰۰۰۰	۷۸۵۰	۰	۳۹۳۰
			۰/۱۹	۴۹۳۶/۶

در شکل ۲-الف نحوه مش‌بندی قاب مدل‌سازی شده متناسب با شرایط آزمایش و در شکل ۲-ب نمودار برش - تغییر مکان استخراج شده از نرم‌افزار نمایش داده شده است. برای اطمینان از صحت عملکرد نرم‌افزار مورد استفاده، در جدول (۲) میزان برش و تغییر مکان حاصل از نمونه‌های آزمایشگاهی و عددی بیان شده است.



شکل (۲) - (الف) مش‌بندی قاب مدل‌سازی شده، (ب) نمودار برش - تغییر مکان حاصل از مدل‌سازی عددی

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۲) مشاهده می‌شود که اختلاف اندکی بین نتایج آزمایشگاهی برمن و برونو [۲۰] با نتایج به دست آمده از نرم‌افزار آباکوس وجود دارد. البته از دلایل

اختلاف‌های موجود می‌توان به ایده‌آل‌سازی‌های موجود در مدل‌سازی و همچنین تعدد پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی توسط نرم‌افزار اشاره نمود. اما از آنجایی که اختلاف پاسخ‌ها بسیار اندک است می‌توان به صحت نحوه مدل‌سازی و عملکرد نرم‌افزار پی برده و از آن برای مدل نمودن سایر اتصال‌های مطرح شده در مقاله استفاده نمود.

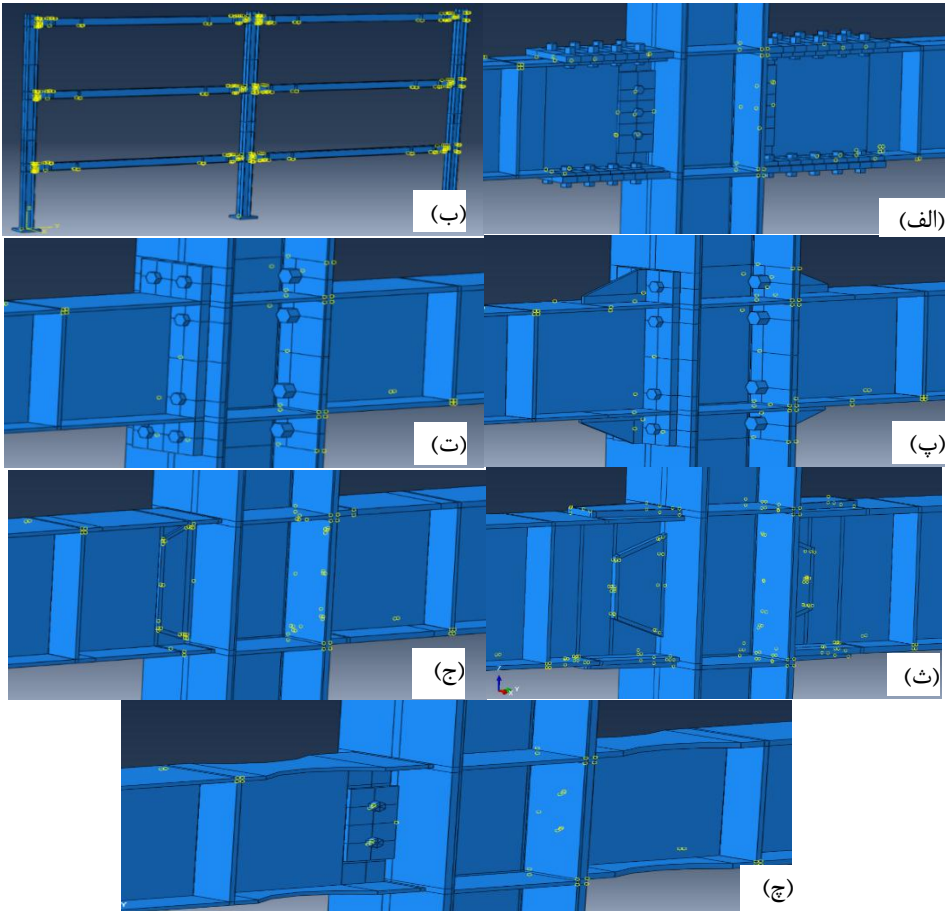
جدول (۲) - میزان برش و تغییر مکان حاصل از مدل عددی و نمونه آزمایشگاهی برمن و برونو [۲۰]

دریفت (%)	جابجایی (cm)		برش (kg)		شماره سیکل
	آزمایش	مدل نرم‌افزاری	آزمایش	مدل نرم‌افزاری	
۰/۱۱	۰/۲۷۶	۰/۲۲۳	۲۱۳۰۰	۲۲۳۵۰	۱
۰/۱۱	۰/۲۷۶	۰/۲۲۳	۲۱۷۰۰	۲۲۳۵۰	۲
۰/۱۱	۰/۲۷۶	۰/۲۲۳	۲۱۲۰۰	۲۲۳۵۰	۳
۰/۲۳	۰/۵۷۷	۰/۴۶۷	۴۳۴۰۰	۴۶۶۹۰	۴
۰/۲۳	۰/۵۷۷	۰/۴۶۷	۴۳۲۰۰	۴۶۶۹۰	۵
۰/۲۴	۰/۶۰۲	۰/۵۸۶	۴۴۵۰۰	۴۸۶۳۰	۶
۰/۳۸	۰/۹۵۳	۰/۸۲۶	۶۶۸۰۰	۷۸۰۸۰	۷
۰/۳۷	۰/۹۲۸	۰/۸۲۸	۶۴۶۰۰	۷۸۱۴۰	۸
۰/۳۷	۰/۹۲۶	۰/۸۵۳	۶۶۴۰۰	۷۸۹۰۰	۹
۰/۷۶	۱/۹۰۵	۱/۶۳۶	۸۴۲۰۰	۸۵۳۹۰	۱۰
۰/۷۵	۱/۸۸۰	۱/۶۴۴	۸۵۰۰۰	۸۵۴۲۰	۱۱
۰/۷۵	۱/۸۸۰	۱/۶۶۹	۸۵۳۰۰	۸۵۵۰۰	۱۲
۱/۱۵	۲/۸۸۳	۲/۵۲۴	۸۹۳۰۰	۸۹۰۴۰	۱۳
۱/۱۴	۲/۸۵۸	۲/۵۴۹	۹۱۲۰۰	۸۸۹۱۰	۱۴
۱/۱۴	۲/۸۵۸	۲/۶۲۸	۹۱۲۰۰	۸۹۱۰۰	۱۵
۱/۵۴	۳/۸۶۰	۲/۴۳۴	۹۴۷۰۰	۹۲۳۰۰	۱۶
۱/۵۲	۳/۸۱۰	۳/۵۱۳	۹۵۶۰۰	۹۲۹۰۰	۱۷
۱/۹۲	۴/۸۱۳	۴/۳۳۳	۹۹۱۰۰	۹۶۲۰۰	۱۸
۱/۹۲	۴/۸۱۳	۴/۴۶۱	۹۹۶۰۰	۹۶۳۹۰	۱۹
۲/۳	۵/۷۶۶	۵/۳۲۵	۱۰۰۹۰۰	۱۰۰۱۰۰	۲۰

۲-۲- مدل‌سازی عددی

برای بررسی تأثیر بارگذاری انفجاری بر روی اتصال‌های گیردار از پیش تأیید شده و تعیین حالت بهینه استفاده از آن‌ها، از قاب‌های دو دهانه و سه طبقه استفاده شده است. لازم به ذکر است که این قاب‌ها بخشی از یک ساختمان هستند که بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بارگذاری شده و تیرها و ستون‌ها در آن بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه AISC [۲۱] طراحی شده‌اند. بعد از انجام طراحی کامل ساختمان و تعیین مقطع بهینه هر یک از اعضا، یکی از قاب‌های این مدل برای بررسی اتصال‌ها مورد تحلیل قرار گرفته است. این مطالعه شامل بررسی شش قاب بوده که داری تیر و ستون‌ها، شرایط مرزی و نحوه بارگذاری انفجاری یکسان بوده و فقط نوع اتصال تیرها به ستون‌ها متفاوت هستند. در هر یک از قاب‌ها، تنها از یک نوع از اتصال‌های از پیش تأیید شده استفاده شده است. تمامی اتصال‌ها بر اساس

آیین‌نامه AISC-358 [۱۸] طراحی شده و تمامی ابعاد، ضخامت‌ها و نوع پیچ‌ها بر اساس این آیین‌نامه به دست آمده است. در شکل ۳ تصاویر قاب اسمبل شده و قطعات مختلف اتصال آورده شده است.



شکل (۳) - (الف) قاب اسمبل شده، اتصال گیردار (ب) پیچی با ورق روسری و زیر سری، (پ) فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده، (ت) فلنجی با چهار پیچ و با سخت‌کننده، (ث) مستقیم تقویت نشده جوشی، (ج) جوشی با ورق روسری و زیر سری و (چ) مستقیم تیر با مقطع کاهش‌یافته

۲-۳- شبیه‌سازی رفتار و خواص مصالح و شرایط مرزی

مصالح در مقابل بارهای دینامیکی پاسخ‌های متفاوتی نسبت به بارهای استاتیکی از خود نشان می‌دهند. تحت بارگذاری دینامیکی مصالح به افزایش مقاومتی می‌رسند، که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای مقاومت سازه‌ای را ارتقاء می‌دهد. زیرا در بارگذاری سریع، مصالح نمی‌توانند با نرخ کرنشی مشابه با بار وارده تغییر شکل دهند. این خاصیت باعث ایجاد افزایش در سطح تنش تسلیم و همچنین تنش

نهایی قبل از گسیختگی می‌شود. به‌طور کلی، هرچه مصالح سریع‌تر و با نرخ کرنش بالاتری تغییر شکل دهند، مقاومت مصالح نیز بیشتر افزایش می‌یابد [۲۲].

در این حالت مقاومت واقعی مصالح فولادی نیز از مقدار ارائه شده توسط کارخانه بیشتر خواهد بود. برای منظور کردن این عوامل در طراحی مقاوم در مقابل انفجار، مقاومت فولاد در ضریب افزایش مقاومت (SIF) ضرب می‌شود. مقدار این مقاومت از مبحث بیست و یکم آیین‌نامه مقررات ملی ساختمان قابل تعیین است [۲۳]. همچنین برای در نظر گرفتن تأثیر افزایش مقاومت مصالح با نرخ کرنش سریع، ضریب افزایش دینامیکی (DIF) بر مقادیر مقاومت استاتیکی اعمال می‌شود. مقدار این ضریب به ماهیت تنش بستگی دارد و مشابه ضریب افزایش مقاومت از مبحث بیست و یکم محاسبه شده است [۲۳].

مقاومت تسلیم دینامیکی طرح (F_{dy}) و مقاومت نهایی دینامیکی طرح (F_{du}) که در طراحی‌های انفجاری به کار می‌روند، با اعمال ضریب افزایش مقاومت و ضریب افزایش دینامیکی به مقاومت تسلیم (F_y) و مقاومت نهایی (F_U) به‌صورت زیر به دست می‌آیند [۲۳].

$$F_{dy} = (SIF) \times (DIF) \times F_y \quad (1)$$

$$F_{du} = (SIF) \times (DIF) \times F_U \quad (2)$$

پس از اعمال ضرایب افزایش دینامیکی به نمودار تنش - کرنش فولاد، این نمودار در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

در این مدل‌سازی، قاب مدل شده فقط در محل اتصال به زمین نیازمند تعریف شرایط مرزی بوده که برای این اتصال، صفحاتی به‌عنوان صفحه‌ستون^۱ تعریف شده و از آن‌ها برای اتصال قاب به زمین به‌صورت گیردار کامل استفاده شده است. همچنین با توجه به مدل‌سازی سه‌بعدی قطعات قاب، از المان‌های C3D8R (المان پیوسته، سه‌بعدی، هشت نقطه‌ای با انتگرال کاهش‌یافته) برای مدل‌سازی نمونه‌ها استفاده شد.

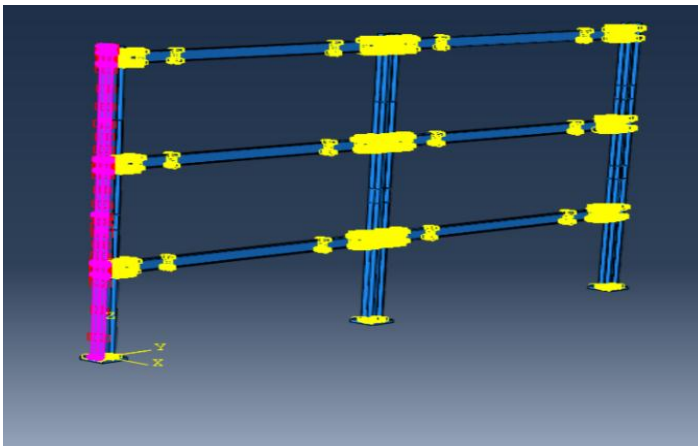
۲-۴- تحلیل حساسیت مش‌بندی و اعمال بار انفجار

برای رسیدن به جواب‌های دقیق، تحلیل حساسیت مش‌بندی صورت گرفته و این نتیجه حاصل شد که با کاهش اندازه‌ی المان‌ها، زمان تحلیل افزایش و جواب‌ها دقیق‌تر می‌شوند. اما باید در نظر داشت که این کاهش اندازه از مرحله‌ای به بعد تأثیری بر روی دقت جواب‌ها نداشته و تنها زمان

¹ Base Plate

تحلیل را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه برآورد دقیق ویژگی‌های موج انفجار بسیار مشکل و پیچیده است، معمولاً از معادلات تجربی جهت تعیین بار انفجار استفاده می‌شود. در گذشته برای توزیع بار انفجار بر روی سازه از نمودار مثلثی فشار-زمان استفاده می‌شد که دارای دقت کمتری بود. در سال‌های اخیر برای مدل‌سازی انفجار از روش CONWEP استفاده می‌شود که قادر است موج انفجار را به‌صورت رابطه نمایی فشار-زمان که دارای دقت بالاتری است مدل نماید [۲۴]. لذا در این مطالعه برای اعمال بار انفجار از روش CONWEP موجود در نرم‌افزار آباکوس که از معادلات و منحنی‌های موجود در آیین‌نامه TM5-855-1 [۲۲] استفاده می‌کند و توانایی محاسبه اثرات سلاح‌های متعارف جنگی و تخمین بارگذاری حاصل از انفجار در محیط باز را دارد استفاده شده است. در روش CONWEP ابتدا مقدار ماده منفجره و فاصله خرج تا هدف تعریف شده و سپس محلهایی از سازه که در مقابل انفجار قرار می‌گیرند به نرم‌افزار معرفی می‌گردد؛ به این ترتیب بار انفجار از روابط تجربی محاسبه و به سازه اعمال می‌شود. همچنین در این مطالعه از متغیرهای تهدید که توسط نشریه FEMA453 [۲۵] توصیه گردیده، استفاده شده است.

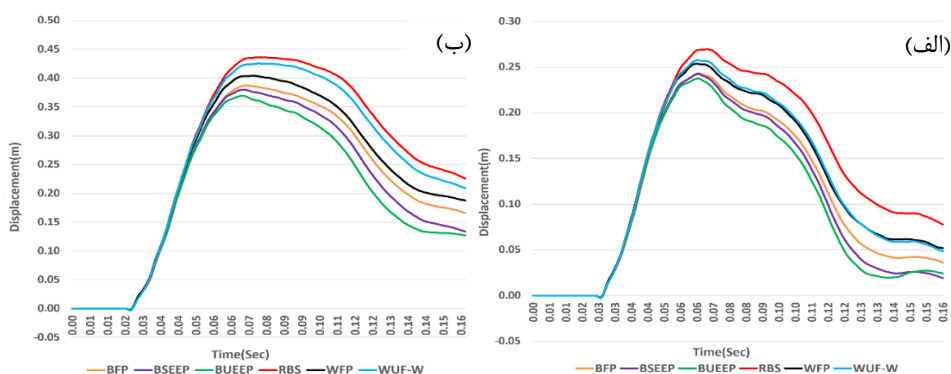
در مطالعه حاضر مقدار ماده منفجره معرفی شده معادل ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم TNT و در فواصل ۵، ۱۰ و ۱۵ متری است. سطح بیرونی بال ستون به‌عنوان محل بارگذاری انفجاری انتخاب شده است. از آنجایی که در واقعیت سطحی که فشار ناشی از بار انفجار را به ستون انتقال می‌دهد بیشتر از سطح بال ستون است، در نتیجه برای جبران این کاهش سطح، از ضریبی استفاده شد که سبب افزایش فشار ناشی از موج انفجار می‌شود. در شکل ۴ سطح اعمال بار انفجاری نشان داده شده است.



شکل (۴) - سطح اعمال بارگذاری انفجاری

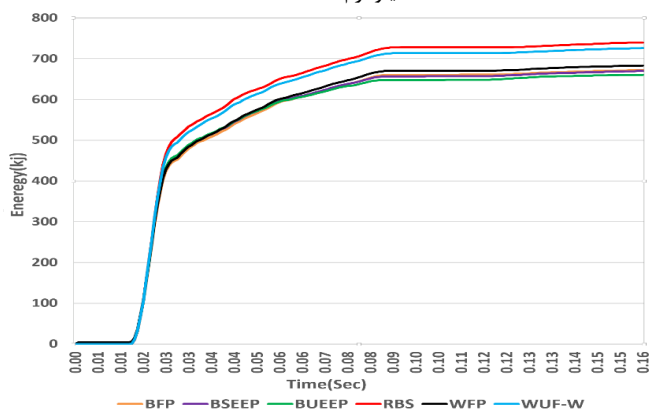
۳- ارائه و بررسی نتایج مدل سازی

برای بررسی مقدار جابجایی سازه تحت اثر بار انفجار، تراز سقف طبقه سوم سازه مدنظر قرار گرفته است. دلیل این موضوع آن است که پی سازه به زمین متصل است و به ترتیب از سمت پی به سمت سقف، جابجایی سازه افزایش یافته و بیشترین مقدار آن در تراز سقف سوم رخ می‌دهد. در شکل‌های ۵ و ۶ نتایج جابجایی تراز سقف طبقه سوم و انرژی جذب شده بر اثر بارگذاری انفجاری ناشی از مقادیر مختلف ماده انفجاری نشان داده شده است. برای بررسی تأثیر نوع اتصال‌ها تحت بارگذاری انفجاری دو معیار مورد بررسی قرار گرفته است که عبارت‌اند از تغییر مکان مطلق طبقات و انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک. معیار تغییر مکان مطلق طبقات در تراز بام بررسی شده است. از طرفی معیار انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک نیز نشان‌دهنده میزان خرابی سازه در اثر انرژی جذب شده برای تشکیل مفاصل پلاستیک است.



شکل (۵) - جابجایی تراز سقف سوم قاب بر اثر انفجار در فاصله ۱۵ متری (الف) ۱۵۰ کیلوگرم TNT (ب) ۲۵۰

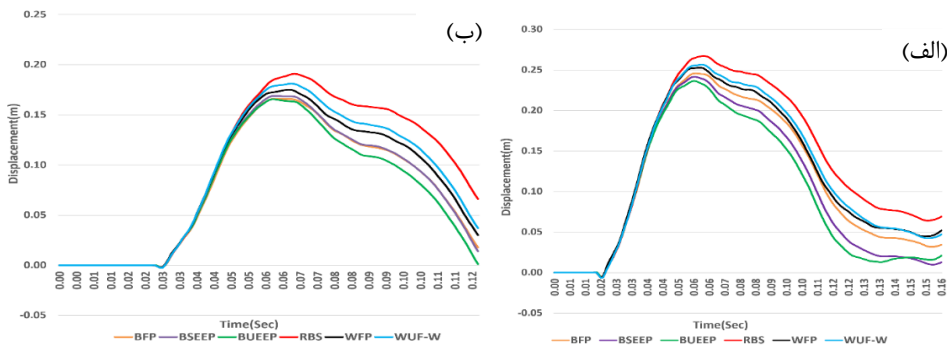
کیلوگرم TNT



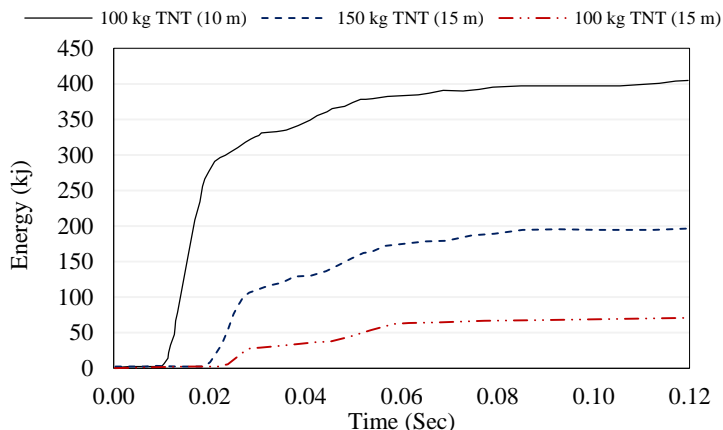
شکل (۶) - انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک بر اثر انفجار ۲۵۰ کیلوگرم TNT در فاصله ۱۵

متری

با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۵، حداکثر جابجایی ناشی از بار انفجاری ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم TNT در فاصله ۱۵ متری قاب نشان می‌دهد که اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده (BUEEP) دارای کمترین جابجایی و بهینه‌ترین عملکرد است. همچنین اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) دارای بیشترین جابجایی و ضعیف‌ترین عملکرد است. با بررسی مستقیم قاب‌ها مشاهده می‌شود که در قاب‌های با اتصال گیردار مستقیم یعنی در تیر با مقطع کاهش یافته و در اتصال گیردار مستقیم تقویت نشده جوشی (WUF-W) که بال‌های تیر به‌طور مستقیم به ستون متصل شده است، سطح مقطع کوچک بال سبب ایجاد تنش فشاری زیادی در بال‌ها شده و موجب اعوجاج آن‌ها شده است. همچنین قاب‌های با این دو نوع اتصال به دلیل اتصال مستقیم بال‌ها به ستون دارای چشمه اتصال کوچک‌تری بوده و تنش‌های ایجاد شده در آن بیشتر است. همان‌طور که از نمودارها مشخص است، در این قاب‌ها بیشترین جابجایی و تغییر شکل‌های پلاستیک وجود دارد. اما در سایر اتصال‌ها که از ورق روسری و زیر سری و ورق‌های انتهایی برای انتقال تنش‌ها استفاده می‌شود، تمرکز تنش کمتر بوده و اعوجاجی نیز رخ نمی‌دهد. اتصال‌های گیردار پیچی و جوشی با ورق روسری و زیر سری که هر دو دارای ورق روسری و زیر سری بوده و تنها در اتصال ورق‌ها به بال تیر متفاوت هستند دارای عملکرد تقریباً مشابهی هستند. این اتصال‌ها دارای میزان تغییر شکل‌های پلاستیک و جابجایی تراز طبقات مشابهی هستند. در تمامی مدل‌ها بیشتر تغییر شکل پلاستیک در چشمه اتصال و در انتهای تیرها اتفاق افتاده است. شکل‌های ۷ و ۸ تأثیر فاصله محل انفجار از قاب نمایش داده شده است.



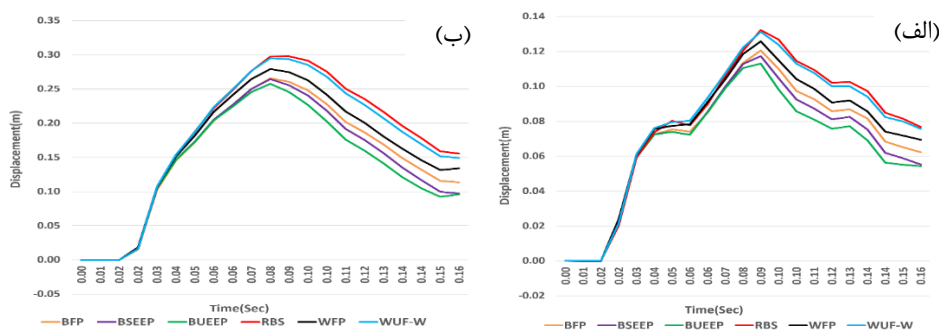
شکل (۷) - جابجایی تراز سقف سوم قاب بر اثر انفجار ۱۰۰ kg ماده منفجره TNT در فاصله الف - ۱۰ متری ب - ۱۵ متری



شکل (۸) - انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک بر اثر انفجار ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم TNT در فواصل ۱۰ و ۱۵ متری

از شکل ۷ قابل مشاهده است که با ۵ متر نزدیک‌تر شدن محل انفجار به قاب‌ها، جابجایی تراز سقف سوم به اندازه ۳۵ تا ۵۰ درصد افزایش پیدا می‌کند. همچنین با توجه به شکل ۸ که نتایج تغییر شکل پلاستیک اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده (BUEEP) تحت بارگذاری انفجاری ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم TNT در فواصل ۱۰ و ۱۵ متری را نشان می‌دهد می‌توان مشاهده کرد که با ۵ متر نزدیک‌تر شدن محل انفجار به قاب‌ها، تغییر شکل‌های پلاستیک ایجاد شده تقریباً شش برابر شده است. از طرفی در فواصل یکسان، با افزایش ۵۰ کیلوگرم TNT میزان تغییر شکل‌های پلاستیک تقریباً سه برابر شده است.

در ادامه به بررسی مقدار جابجایی طبقات پایین پرداخته شده است. با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که در طبقات پایین نیز اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده دارای بهینه‌ترین عملکرد بوده و دارای کمترین جابجایی است.

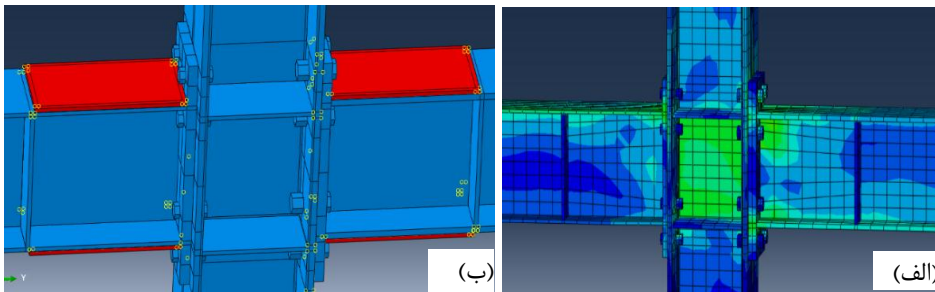


شکل (۹) - جابجایی تراز الف- سقف اول ب- سقف دوم قاب بر اثر انفجار ۲۵۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۱۵ m

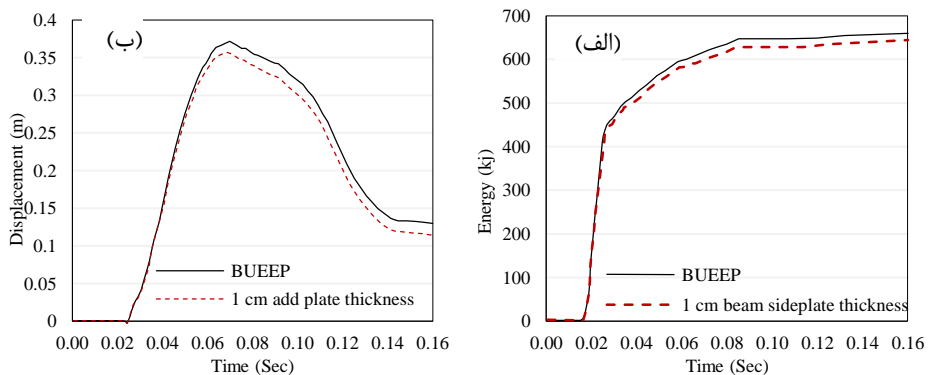
۴- ارائه روش‌هایی جهت بهبود عملکرد اتصال بهینه

در بخش قبل بیان شد که بیشترین میزان تغییر شکل پلاستیک در محل چشمه اتصال و در قسمت انتهایی تیرها اتفاق می‌افتد. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، در این بخش با افزودن صفحه‌هایی به محل چشمه اتصال ستون و انتهای تیرها، به بررسی تأثیر این صفحات بر بهبود عملکرد اتصال بهینه یعنی اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده پرداخته شده است. در ابتدا تأثیر افزودن صفحه تقویت به بال تیر مطابق شکل ۱۰-ب بررسی می‌گردد.

با توجه به شکل ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که افزودن صفحه فولادی با ضخامت ۱ سانتی‌متر به بال‌های تیر باعث کاهش ۴ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۳ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک می‌شود. حال تأثیر افزودن صفحه فولادی تقویت‌کننده به چشمه اتصال بررسی می‌شود.

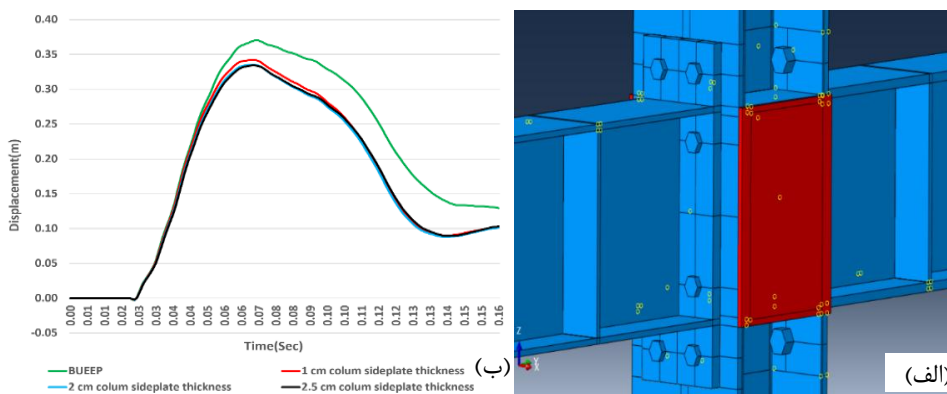


شکل (۱۰) - الف - محل تمرکز تنش در محل چشمه اتصال، بال‌ها و جان تیر ب- افزودن صفحه تقویت به چشمه اتصال



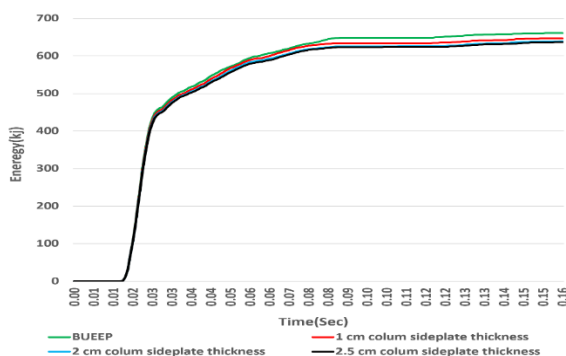
شکل (۱۱) - الف - جابجایی تراز سقف سوم و ب- انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک قاب با اتصال BUEEP تقویت‌شده در بال بر اثر انفجار ۲۵۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۱۵ متری

با توجه به شکل‌های ۱۲ و ۱۳ می‌توان نتیجه گرفت که افزودن صفحه فولادی با ضخامت ۱ cm به محل چشمه اتصال باعث کاهش ۱۱ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۷ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهند که افزایش ضخامت صفحه تقویت‌کننده از ۱ به ۲ و ۲/۵ سانتی‌متر تأثیر چندانی در بهبود نتایج ندارد و میزان جابجایی و تغییر شکل‌های پلاستیک را در حد بسیار اندکی کاهش می‌دهد. دلیل این موضوع این است که این صفحه‌ها بر روی بال‌های ستون‌ها جوش شده‌اند و بدین ترتیب ضخامت افزوده شده تأثیری زیادی در انتقال تنش‌ها ندارد. بنابراین در صورت استفاده از صفحه‌های تقویتی در فاصله داخلی بین دو بال ستون، علاوه بر این که مشکل جوش کاری به وجود خواهد آمد، به سبب نحوه تماس، افزایش ضخامت موجب بهبود نتایج نیز نخواهد شد. در ادامه تأثیر افزودن صفحه‌های تقویتی به دو انتهای تیرها بررسی می‌گردد.



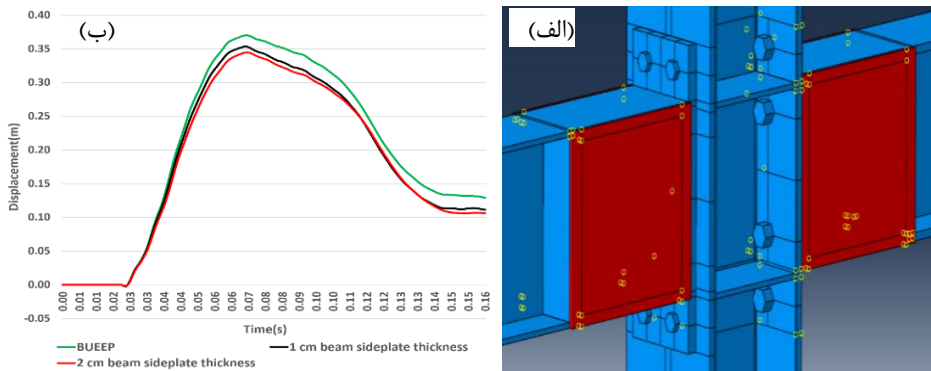
شکل (۱۲) - الف- افزودن صفحه فولادی به چشمه اتصال و ب- جابجایی تراز سقف سوم قاب با اتصال BUEEP

تقویت‌شده در چشمه اتصال بر اثر انفجار ۲۵۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۱۵ متری

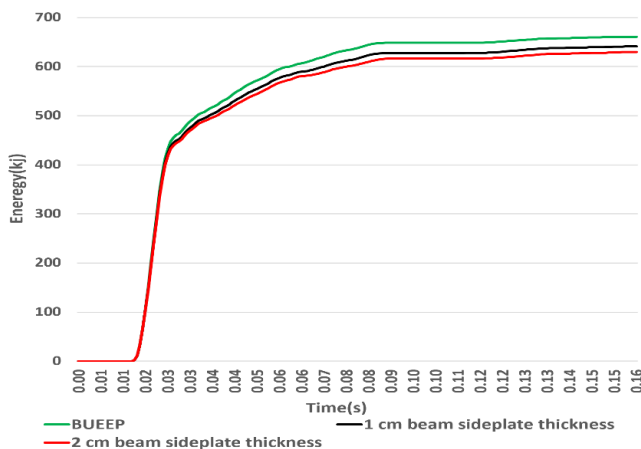


شکل (۱۳) - انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک بر اثر انفجار ۲۵۰ کیلوگرم تی‌ان‌تی در فاصله ۱۵ m

با توجه به شکل‌های ۱۴ و ۱۵ می‌توان نتیجه گرفت که افزودن صفحه فولادی با ضخامت ۱ cm به دو انتهای تیرها باعث کاهش ۵ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۶ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک می‌شود. همچنین افزایش ضخامت پل‌ها از ۱ به ۲ cm تأثیر چندانی در بهبود نتایج ندارد. دلیل این عدم تأثیر مشابه حالت قبل می‌باشد. با توجه به موارد فوق می‌توان نتیجه گرفت که افزودن صفحه تقویت به چشمه اتصال موجب می‌شود که با صرف هزینه کمتری، نتیجه بهتری حاصل گردد. حال به بررسی افزودن هم‌زمان صفحه فولادی تقویت‌کننده به چشمه اتصال و دو انتهای تیر می‌پردازیم.



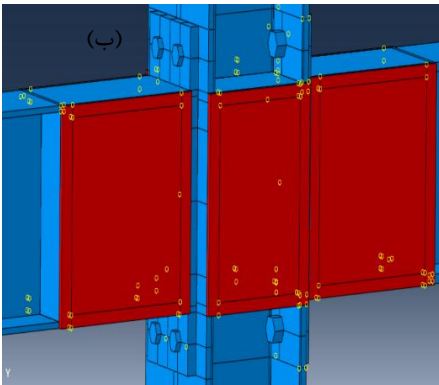
شکل (۱۴) - الف - افزودن صفحه فولادی به دو انتهای تیرها و ب - جابجایی تراز سقف سوم قاب با اتصال BUEEP تقویت‌شده در دو انتهای تیرها بر اثر انفجار ۲۵۰ kg تی‌ان‌تی در فاصله ۱۵ متری



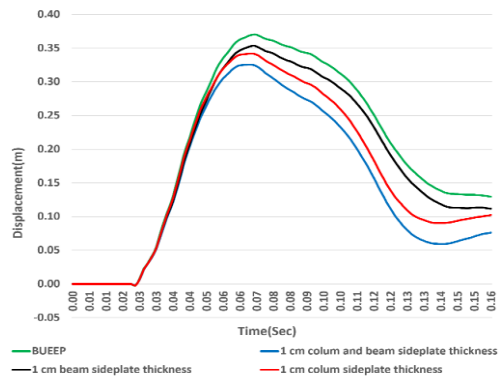
شکل (۱۵) - انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک بر اثر انفجار ۲۵۰ kg تی‌ان‌تی در فاصله ۱۵ متری

با توجه به شکل‌های ۱۶ و ۱۷ می‌توان نتیجه گرفت که افزودن صفحه فولادی با ضخامت ۱ cm به دو انتهای تیرها و چشمه اتصال ستون باعث کاهش ۱۵ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۸ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزودن

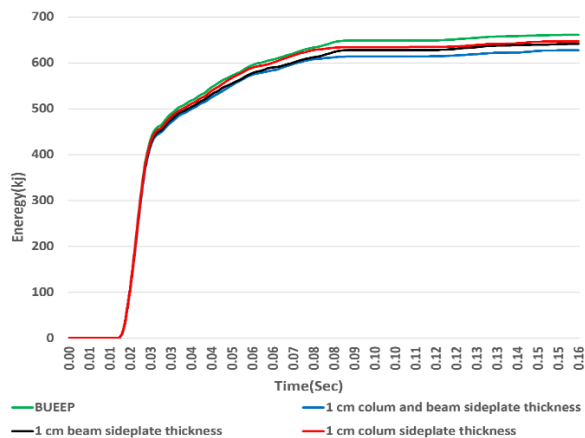
صفحه تقویت کننده به دو انتهای تیرها و چشمه اتصال ستون بهترین راهکار برای افزایش عملکرد اتصال بهینه^۱ در مقابل انفجار می باشد.



(الف)



شکل (۱۶) - الف - افزودن صفحه فولادی به دو انتهای تیرها و چشمه اتصال ب- جابجایی تراز سقف سوم قاب تقویت شده در دو انتهای تیرها و چشمه اتصال بر اثر انفجار ۲۵۰ kg تی ان تی در فاصله ۱۵ متری



^۱ BUEEP

شکل (۱۷) - انرژی جذب شده توسط تغییر شکل‌های پلاستیک بر اثر انفجار ۲۵۰ کیلوگرم TNT در فاصله ۱۵ متری

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه اتصال‌های از پیش تأیید شده مطرح شده در آیین‌نامه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان تحت بارگذاری انفجاری پرداخته شده است. بدین منظور با انجام مدل‌سازی عددی گسترده با استفاده از نرم‌افزار آباکوس، نتایج زیر حاصل شده است:

۱- تحت بارگذاری انفجاری اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و بدون سخت‌کننده دارای کمترین جابجایی در تراز سقف‌ها و کمترین تغییر شکل پلاستیک بود و بهینه‌ترین عملکرد را داشت. همچنین اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش‌یافته دارای بیشترین جابجایی در تراز سقف‌ها و بالاترین تغییر شکل پلاستیک بود و ضعیف‌ترین عملکرد را دارا بود.

۲- کاهش فاصله محل انفجار تأثیر زیادی بر جابجایی سازه در تراز سقف‌ها دارد. به طوری که با کاهش فاصله انفجار از ۱۵ به ۱۰ متر، برای انفجار ۱۰۰ kg تی‌ان‌تی، جابجای تراز سقف سوم در حالت‌های مختلف بین ۳۵ تا ۵۰ درصد افزایش یافت.

۳- کاهش فاصله انفجار تأثیر بسزایی بر روی تغییر شکل‌های پلاستیک دارد. به طوری که با کاهش فاصله از ۱۵ به ۱۰ متر، برای انفجار ۱۰۰ kg تی‌ان‌تی، تغییر شکل‌های پلاستیک شش برابر شده است.

۴- افزودن مقدار ماده منفجره تأثیر بسزایی بر روی تغییر شکل‌های پلاستیک دارد به طوری که با افزایش ۵۰ kg تی‌ان‌تی به ماده منفجره در فاصله ۱۵ متری قاب، تغییر شکل‌های پلاستیک سه برابر شد.

۵- افزودن صفحه فولادی با ضخامت یک سانتی‌متر به بال‌های تیر باعث کاهش ۴ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۳ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک شد.

۶- افزودن صفحه فولادی با ضخامت یک سانتی‌متر به محل چشمه اتصال باعث کاهش ۱۱ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۷ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک شد. همچنین مشخص گردید که نتایج افزایش ضخامت صفحه فولادی تقویت‌کننده از ۱ به ۲ و ۲/۵ سانتی‌متر تأثیر چندانی در بهبود نتایج ندارد.

۷- افزودن صفحه فولادی با ضخامت یک سانتی‌متر به دو انتهای تیرها باعث کاهش ۵ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۶ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک شد. همچنین ثابت شد که افزایش ضخامت صفحات تقویتی از ۱ به ۲ سانتی‌متر تأثیر چندانی در بهبود نتایج ندارد.

۸- افزودن صفحه فولادی با ضخامت یک سانتی‌متر به دو انتهای تیرها و چشمه اتصال ستون باعث کاهش ۱۵ درصدی جابجایی در تراز سقف سوم قاب و کاهش ۸ درصدی تغییر شکل‌های پلاستیک شد و بدین ترتیب بهترین روش برای افزایش عملکرد اتصال بهینه یعنی اتصال گیردار فلنجی با چهار پیچ و با سخت‌کننده (BUEEP) است.

۵- تشکر و قدردانی

از دفتر پژوهش‌کنده دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص) بابت پیگیری‌ها و هماهنگی‌های لازم جهت برگزاری جلسات خبرگی پژوهش حاضر و نیز کلیه اندیشمندان و پژوهشگرانی که در خلال تحقیق خالصانه دیدگاه‌ها و نقطه نظرات علمی و کارشناسی خود را ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- تعارض منافع

نویسنده(گان) اعلام می‌دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

۷- دسترسی آزاد

این نشریه دارای دسترسی باز است و اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

۷- مراجع

- [1] T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta, J. Ramsay, "Blast loading and blast effects on structures—an overview", *Electron. J. Struct. Eng.* (1) (2007) 76-91.
- [2] H. Salehi, "Experimental and Numerical studies of Reinforcing Soil Substrate Against Explosion Loads Using Geogrid Layered", *J. of Aerosp. Def.* 2(1) (2022) 27-51.
- [3] H. Salehi, "Reinforcing Doors of the Safe Constructions Using Multi-Arch Geometric Structures", *J. of Adv. Def. Sci. & Tech.* 13(3) (2022) 203-214.
- [4] Y. Qu, R. Zhang, J. Wu, L. Xu, et al., "Dynamic buckling response of buried X70 steel pipe with bolted flange connection under two-charge explosion loads", *Heliyon* (2024).

- [5] Y. Wang, Q. Chen, Z. Zhao, H. Qiang, et al., "Design and performance evaluation framework for seismically isolated reinforcement concrete columns subjected to blast loads", *Struct.*, Elsevier, (2022), pp. 2239-2252.
- [6] A. Aliakbary, S. Hashemi, Y. Nasira, M. Ziaei, "Investigation of Vulnerability of Concrete Filled Steel Column Connections under Different Blast Scenarios", *Amirkabir J. of Civ. Eng.* 53(12) (2022) 5377-5406.
- [7] D. Houghton, J. Karns, "SidePlate™ steel frame connection technology", *Proceedings of the 73rd Shock and Vib. Symposium*, San Diego, CA, (2003).
- [8] T. Sabuwala, D. Linzell, T. Krauthammer, "Finite element analysis of steel beam to column connections subjected to blast loads", *Int. J. of Impact Eng.* 31(7) (2005) 861-876.
- [9] A. Kadid, "Stiffened plates subjected to uniform blast loading", *J. of Civ. Eng. and Mgmt.* 14(3) (2008) 155-161.
- [10] T. Borvik, A. Hanssen, M. Langseth, L. Olovsson, "Response of structures to planar blast loads—A finite element engineering approach", *Comp. & Struct.* 87 (9) (2009) 507-520.
- [11] J. Son, A. Astaneh-Asl, M. Rutner, "Performance of bridge decks subjected to blast load", *The 6th Japanese-German Bridge Symposium*, Munich, Germany, (2005).
- [12] R. Hamburger, A. Whittaker, "Design of steel structures for blast-related progressive collapse resistance", *Mod. steel const.* 44(3) (2004) 45-51.
- [13] R.L. Shope, "Response of wide flange steel columns subjected to constant axial load and lateral blast load", *Virginia Tech*, (2006).
- [14] X. Zhou, H. Hao, "Prediction of airblast loads on structures behind a protective barrier", *Int. J. of Impact Eng.* 35(5) (2008) 363-375.
- [15] T. Krauthammer, J. Cipolla, "Building blast simulation and progressive collapse analysis", *NAFEMS World Congress*, (2007).
- [16] R. Batra, N. Hassan, "Blast resistance of unidirectional fiber reinforced composites", *Compos. Part B: Eng.* 39(3) (2008) 513-536.
- [17] K.A. Marchand, F. Alfawakhiri, "Blast and Progressive Collapse fact for Steel Buildings", *American Inst. of Steel Const.* 10(2) (2005) 1-67.
- [18] R.O. Hamburger, "Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications", *ANSI/AISC 358-05*, *Struct. Congress: Struct. Eng. and Public Safety*, (2006), pp. 1-8.
- [19] C. ABAQUS, "Analysis user's manual", Version 6.12, ABAQUS, (2012).
- [20] J.W. Berman, M. Bruneau, "Experimental and analytical investigation of tubular links for eccentrically braced frames", *Eng. Struct.* 29(8) (2007) 1929-1938.
- [21] S.F. Csernak, J.C. McCormac, "Structural steel design, Pearson Education", Incorporated, (2023).
- [22] US Department of the Army Technical Manual "TM5-855-1: Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons", Washington D.C, (1986).
- [23] Organization of National Building Regulations Affairs, "Topic 21 of National Building Regulations, Passive Defense", *Iran Development Publishing*, (2022).

- [24] H. Salehi, G. H. Jafari, E. Barzegar Babayi, “Determine the optimum airplane hangar shape to maintain stability against explosive loads”, *Asas J.* 20(52) (2018) 34-51.
- [25] FEMA-453, “Risk Management series”, Design guidance for shelters and safe rooms, (2006).