

Investigation of the effect of explosive load on flexural anchor in steel flexural joints

Saeed Hejazi Rad¹, Soheil Ghareh^{*2}, Alireza tavana³

1- PhD, Department of civil engineering, science and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associate professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

3- PhD candidate, Department of civil engineering, south branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Today explosion in urban centers and residential areas, there is a danger that threatens all buildings. Explosions inside or near a building can cause sudden damage to building frames. Analysis and design of structures under explosive loads requires a precise understanding of the dynamic response of members and systems of structures under this load. In this research, the behavior of three types of flexural joints of reduced type, end plate and reinforced with top and bottom plate in the phenomenon of explosion and progressive failure has been studied and to perform these studies and numerical simulation of ABAQUS finite element software And Etabs (V.NLI3) were used. In determining the type of explosion, two parameters are usually decisive: the size of the weapon, which is equivalent to the weight of TNT, and the distance, which indicates the distance from the center of the explosive to the desired volume. In steel structures, there are two types of lateral load-bearing systems: flexural frame system.

ARTICLE INFO

Receive Date: 17 March 2021

Revise Date: 30 April 2021

Accept Date: 14 May 2021

Keywords:

Explosion load
Structural behavior
Flexural frame system
Steel flexural joint
Anchor connection

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.277803.2393>

*Corresponding author: Soheil Ghareh
Email address: ghareh_soheil@pnu.ac.ir

بررسی اثر بار انفجاری بر لنگر خمشی در اتصالات خمشی فولادی

سعید حجازی رادا^۱، سهیل قره^{۲*}، علیرضا توانا^۳

۱- دکتری تخصصی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی عمران، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشگاه پیام نور، گروه مهندسی عمران، تهران، ایران

۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی عمران، تهران، ایران

چکیده

امروزه انفجار در مراکز شهرها و مناطق مسکونی خطری است که تمامی ساختمان‌ها را تهدید میکند. انفجار در داخل و یا در نزدیکی ساختمان میتواند منجر به آسیب دیدگی ناگهانی قاب های ساختمانی شود. تحلیل و طراحی سازه‌ها تحت بارهای انفجاری نیازمند درک دقیق پاسخ دینامیکی اعضا و سیستم‌های سازه‌ای تحت این بارگذاری است. در این تحقیق رفتار سه نوع اتصال خمشی از نوع کاهش یافته، ورق انتهایی و تقویت شده با ورق بالا و پایین در پدیده انفجار و خرابی پیش رونده مورد مطالعه قرار گرفته است و برای انجام این مطالعات و شبیه سازی عددی از نرم افزارهای اجزای محدود ABAQUS و Etabs (V.NL13) استفاده شده است. در تعیین نوع انفجار، به طور معمول دو پارامتر تعیین کننده می باشند: اندازه سلاح که با وزن TNT معادل بیان می شود و فاصله که بیانگر فاصله از مرکز ماده منفجره تا حجم مورد نظر می باشد. در سازه های فلزی دو نوع سیستم باربر جانبی وجود دارد: سیستم قاب خمشی و سیستم قاب ساده با مهاربند سیستم قاب خمشی فاقد مهاربند بوده و فقط ستون و تیر در حمل بار جانبی دخیل هستند و با مشارکت یکدیگر نیروی جانبی را مهار می کنند. در این میان اتصالات خمشی تیر به ستون به عنوان پل ارتباطی این مشارکت هستند که در صورت تخریب آن، سازه می تواند متحمل خسارات زیادی شود. با توجه به توضیحات فوق و مهم بودن اتصالات خمشی تحت بارهای جانبی در این تحقیق بررسی اتصالات خمشی صورت گرفته است. در نتیجه لنگر خمشی موجود در تیر که ملاک طراحی می باشد، در اثر خرابی پیش رونده و حذف ستون و به علت باز توزیع لنگر در کل سازه و مقایسه آن با مقدار لنگر طراحی حدود ۲/۵ برابر است. همچنین تغییر فاصله انفجار باعث کاهش زاویه دوران چشمه اتصال می شود به طوری که در تمامی اتصالات با افزایش یک متری فاصله انفجاری حدود ۸۲-۷۵ درصد کاهش زاویه در پی خواهد داشت.

کلمات کلیدی: بار انفجار، رفتار سازه، سیستم قاب خمشی، اتصالات خمشی فولادی، لنگر اتصال

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.277803.2393	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.277803.2393	۱۴۰۰/۱۱/۳۰	۱۴۰۰/۰۲/۲۴	۱۴۰۰/۰۲/۲۴	۱۴۰۰/۰۲/۱۰	۱۳۹۹/۱۲/۲۷
			سهیل قره ghareh_soheil@pnu.ac.ir		*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

امروزه با افزایش ناامنی ها و با توجه به گسترش حملات تروریستی نیاز به مطالعات بیشتری بر روی ساختمان ها و پاسخ سازه ها در برابر انفجار می باشد. به همین منظور بسیاری از ساختمان های دولتی بزرگ نیازمند طراحی جهت مقابله با بار انفجاری می باشند. در سال های اخیر بررسی هایی بر روی عملکرد و رفتار قاب های فولادی تحت اثر انفجار انجام شده است و مرجع مهمی که بیشتر به آن ارجاع داده می شود TM5-1300 و UFC می باشد [۱]. واحد TNT معمولاً به عنوان مرجعی برای تعیین قدرت انفجار استفاده می شود. زمانی که ماده منفجره از نوع TNT نباشد، معادل آن را می توان با استفاده از ضرایب مذکور در جداول مرتبط به دست آورد [۲]. شمار زیادی از نوآوری ها در طراحی سازه های مقاوم در برابر انفجار وابسته به پروژه های ساختمانی بزرگ و سازمانی هستند که بودجه ی بالایی را در اختیار دارند. اما لازم است که تدابیر و راهکارهای طراحی و مقاوم سازی ساده تر و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر برای پروژه های ساختمانی کوچکتر در نظر گرفته شود. انفجارهای سهوی و یا عمدی میتوانند آسیب های جبران ناپذیری به سازه ها و زیرساخت های شهری و نظامی وارد کنند که البته خطرات جانبی بسیاری نیز برای ساکنین و کاربران آنها ایجاد خواهد شد. برای تخمین بارگذاری انفجاری و پیش بینی عملکرد سازه ها تحت این نوع بارگذاری، آئین نامه ای توسط نیروی ارتش آمریکا تحت عنوان TMS-1300 و TM 5-1-885 منتشر شده است که حاوی توصیف پدیده انفجار و روابط تجربی برای تخمین و پیش بینی موارد مذکور است [۳و۴]. ویرایش جدیدتر این آئین نامه با عنوان UFC 3-340-02 منتشر شده است [۵]. همچنین در نشریات سازمان مدیریت بحران فدرال FEMA نیز دستورالعمل هایی برای پیش بینی بار انفجار در ساختمان های گوناگون و طراحی مقاوم آنها منتشر شده است [۶و۷]. از جمله سایر دستورالعمل های منتشر شده در بحث بارگذاری، طراحی و مقاوم سازی ساختمان ها تحت اثر پدیده انفجار میتوان به نشریه شماره ۴۲ انجمن مهندسی عمران آمریکا (ASCE 1985) اشاره کرد [۸]. در سال ۲۰۱۱ کاسترو و همکارانش انتشار موج حاصل از یک انفجار زیرسطحی را در خاک توسط نرم افزار PLAXIS2D مدلسازی کردند و تاریخچه زمانی سرعت و فشار را در نقاطی با فواصل معین از مرکز انفجار به دست آورده و با روابط تجربی مقایسه کردند و ادعا کردند که نرم افزار مذکور قابلیت مدل سازی انفجار را داشته و میتواند جهت پیش بینی اثرات انفجار مورد استفاده قرارگیرد [۹]. در سال ۲۰۰۸ هو و همکاران با توسعه روش عددی و با استفاده از تحلیل شبیه استاتیکی با المان های چسبنده، اتصالات ساده فولادی را مدل سازی و مقاومت و شکل پذیری این اتصالات را در شرایط آتش سوزی مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. اثرات توام حریق و انفجار موضوع مهمی است که نظر برخی از محققان را به خود متوجه کرده است. در سال ۲۰۱۶ ونگ و همکاران طی یک مطالعه آزمایشگاهی پس از اعمال آتش استاندارد به مدت ۶۵ و ۱۰۵ دقیقه به ستون های RPC-FST، آنها را در معرض بار انفجاری قرار داده و اثر مدت آتش سوزی و میزان خرج شارژ انفجاری را بر روی پاسخ دینامیکی و مودهای شکست مورد تحلیل و بررسی قرار دادند [۱۱]. نتایج نشان داد هرچه مدت خرج انفجاری بیشتر باشد تغییر شکل جانبی ستون بیشتر افزایش میابد. فوجیکارا و همکاران در سال ۲۰۰۷ رفتار ستون فولادی پر شده با بتن در پایه های پل تحت بارگذاری انفجار را مورد بررسی قرار داد [۱۲]. در آزمایشات انجام شده ملاحظه گردید نمونه های با مقیاس 1/4 تحت بارگذاری انفجار رفتار شکل پذیری دارند. همچنین مشاهده شد که اتصال ستون به پی در رفتار ستون تحت بارگذاری انفجار از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به اینکه در بارگذاری انفجار و در فاز ارتعاش اجباری پاسخ سازه به صورت موضعی و در ناحیه نزدیک به انفجار است آسیب پذیری با استفاده از کنترل میزان کرنش پلاستیک معادل در فولاد و آسیب کششی و فشاری در بتن مورد قضاوت قرار می گیرد [۱۳]. در فاز ارتعاش آزاد که عکس العمل سازه به صورت پاسخ تغییر مکان است، آسیب پذیری سازه با توجه به میزان دوران تیر و تغییر مکان انتهایی آن و نیز تغییر شکل اعضای اتصال مورد قضاوت قرار میگیرد.

۲- بارگذاری خارجی سازه تحت اثر پدیده انفجار

برای طراحی سازه مقاوم در برابر انفجار، باید مقدار بارهای ناشی از انفجار وارد بر اجزاء ساختمان مانند دیوار، سقف، قاب و ... محاسبه شوند. برای تعیین این بارها، لازم است اندرکنش امواج با سازه را محاسبه نمود. هنگامی که موج انفجار به ساختمان برخورد می

نماید، ساختمان به وسیله اضافه فشار و نیروهای مکش ناشی از انفجار بارگذاری می گردد. برای اهداف طراحی صورت ساده شده بارهای انفجاری وارد بر وجوه سازه را می توان مطابق روابط زیر بر سازه اعمال کرد [۱۴].

$$p_{so} = 6784 \frac{W}{R^3} + 93 \sqrt{\frac{W}{R^3}} \quad (1)$$

$$q_0 = \frac{2.5 p_{so}^2}{7 p_{so} + p_o} \quad (2)$$

$$p_R = p_{so} \left[2 + \frac{6 p_{so}}{7 p_o + p_{so}} \right] \quad (3)$$

$$\begin{cases} t_D = 20.77 \left[\frac{W}{p_{so}} \right]^{-1/3} & p_{so} < 2 \text{ kg/cm}^2 \\ t_D = 14.35 \frac{W^{1/3}}{\sqrt{p_{so}}} & p_{so} \geq 2 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} t_B = 10.23 \frac{W^{1/3}}{\sqrt{p_{so}}} & p_{so} < 70 \text{ kg/cm}^2 \\ t_B = 20.77 \frac{W^{1/3}}{\sqrt{p_{so}}} & p_{so} \geq 70 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} \quad (5)$$

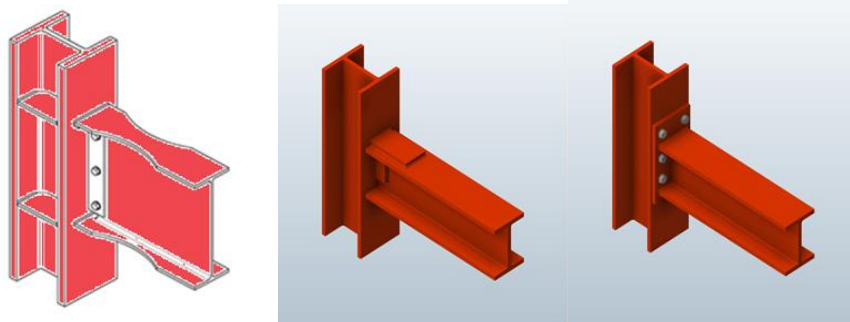
$$t_C = \frac{3S}{V} < t_D \quad (6)$$

$$V = u_s \left[1 + \frac{6 p_{so}}{7 p_o} \right] \quad (7)$$

در این رابطه ها W وزن معادل TNT بر حسب کیلوگرم، P_s فشار هوا بر حسب کیلوگرم بر سانتیمترمربع، P_{so} فشار افزوده بر حسب کیلوگرم بر سانتیمترمربع می باشد. q_0 فشار حداکثر دینامیکی بر حسب کیلوگرم بر سانتیمترمربع است که در اثر جا به جایی ذرات هوا ایجاد می شود و در واقع، بادی است که در اثر انفجار به وجود می آید. P_R فشار حداکثر موج بازتابی بر حسب کیلوگرم بر سانتیمترمربع می باشد که در اثر جمع شدن فشار حاصل از برخورد و بازتاب موج از سطح سازه ایجاد می شود. V سرعت موج انفجار و U_s سرعت صوت بر حسب متر بر ثانیه می باشد. t_D مدت زمان اثر فشار دینامیکی بر حسب میلی ثانیه، فاصله زمانی است که فشار حاصل از انفجار بر وجه جلویی سازه اثر می کند. (از آنجایی که در کارهای انفجاری از اثرات فاز منفی صرف نظر می شود، لذا می توان t_d زمان تداوم انفجار فرض کرد.) t_B مدت زمان اثر موج ضربه برای وجوه کناری و پشتی سازه بر حسب میلی ثانیه می باشد. t_C مدت زمان اثر موج بازتابی بر حسب ثانیه می باشد و بازه ای است که موج انفجار به وجه جلویی سازه رسیده و همزمان با موج بازتاب شده، حداکثر فشار ممکن را به سازه وارد می کند. S نیز برابر با مقدار کوچکتر بین ارتفاع سازه و نصف طول وجه جلویی (رو به انفجار) سازه بر حسب متر می باشد.

در این مطالعه سه نوع اتصال خمشی که در (شکل ۱) مشخص شده است را در برابر بارهای انفجاری مورد بررسی قرار گرفته است.

- End Plated
- Welded Cover Plated Flange (WCPF)
- Reduce Beam Section (RBS)



شکل ۱: نمونه اتصالات مورد بررسی از چپ به راست: (End Plate- Weld Cover Plate Flange- Reduce Beam Section)

۳- مدل سازی بارهای انفجاری

یکی از مسائل مهم در بحث انفجار مدل سازی بار انفجاری می باشد. بار انفجاری به صورت یک منحنی فشار- زمان می باشد که بر وجوه سازه وارد می شود. نرم افزاری که بیشترین کاربرد را در زمینه مدل کردن نمودار فشار- زمان بار انفجاری را دارد نرم افزار ATBLAST است که می تواند بر اساس فاصله و مقدار مواد منفجره نمودار فشار- زمان مربوطه را ترسیم کند. در این تحقیق از نرم افزار ABAQUS جهت مدل سازی بار انفجار استفاده شده است. در آئین نامه UFC و کتاب طراحی سازه ها در برابر انفجار برای بارگذاری انفجاری به سطوح سازه فرمول ها و نمودارهایی ارائه داده اند که می توان بر اساس فاصله و مقدار مواد منفجره نمودار فشار- زمان وارد بر هر یک از سطوح سازه محاسبه شود [۱۴ و ۱۵]. سازه مورد بررسی یک ساختمان ۷ طبقه می باشد که باید نمودار فشار- زمان هر یک از سطوح در هر طبقه را با توجه به فاصله ماده انفجاری تعیین کرد. از آنجایی که برای وارد کردن بار انفجاری به سازه نیاز به سطحی است که بتوان بار مربوطه را به آن وارد کرد، برای این منظور از دیوارهای پیرامونی آجری در مدل استفاده شده است. دیوار پیرامونی در مدل با ضخامت ۲۰ سانتی متر و خواص مهندسی مصالح مورد استفاده دیوار مطابق جدول ۱ می باشد. ماده منفجره از نوع TNT است و وزن خرج انفجاری ۷۵ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. وزن انتخابی بر اساس وزنی بوده است که بتوان توسط یک خودرو قابل حمل باشد. در این تحقیق فواصل مرکز انفجار در سه فاصله متفاوت ۴/۵ و ۵/۵ و ۶/۵ و ۷/۵ متر بررسی شده است. نظر به اینکه شکل موج به صورت کروی است می توان بر اساس شعاعش کره و ارتفاع طبقه، فاصله مرکز انفجار تا فاصله مرکز سطح در هر طبقه را به دست آورد. حال بر اساس دو کمیت فاصله و مقدار وزن ماده انفجاری میتوان نمودار فشار زمان را برای هر طبقه به صورت مجزا تعیین کرد. واحد اعداد فشار بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مکعب و اعداد مربوط به زمان بر حسب میلی ثانیه می باشد.

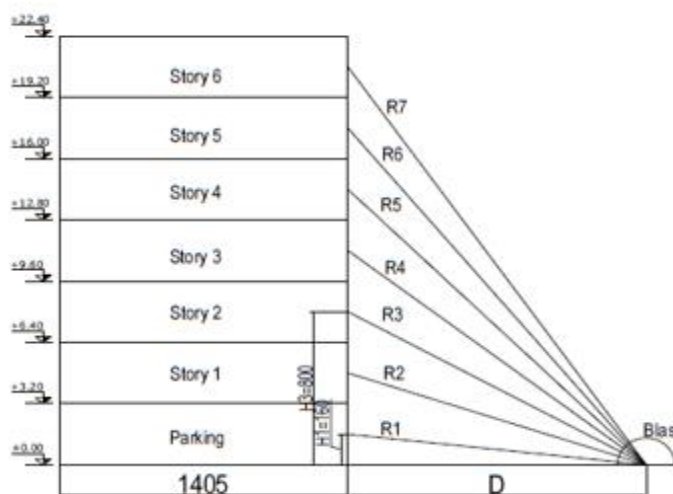
جدول ۱: خواص مهندسی مصالح دیوار پیرامونی

8.47 MPa	مقاومت فشاری واحد آجرکاری
0.492 MPa	مقاومت کششی واحد آجرکاری
0.2	ضریب پوآسون
1850 Kg/m ³	وزن مخصوص آجرکاری
1550MPa	ضریب ارتجاعی
0.213 MPa	مقاومت چسبندگی برشی

۴- نحوه محاسبه فاصله مرکز انفجار تا وجوه سازه در طبقات مختلف

در بخش ۲ برای محاسبه بار خارجی سازه تحت اثر انفجار روابط مختلفی بیان شد. در همه این روابط دو کمیت وزن ماده منفجره و فاصله مرکز انفجاری تا محل مورد نظر مجهول می باشد. در این تحقیق وزن ماده انفجاری ثابت و فاصله انفجار متغیر فرض شده است. برای محاسبه فاصله مرکز انفجار تا محل مورد نظر می توان از فرمول ساده زیر و بر اساس (شکل ۲) استفاده نمود.

$$R_n = \sqrt{H_n + D} \quad (۸)$$



شکل ۲: شماتیک سازه و محل انفجار برای تعیین فاصله انفجاری در طبقات مختلف

در فرمول فوق D فاصله متغیر مرکز انفجار تا مکان مورد نظر در وجه سازه می باشد که در این تحقیق از مقادیر $۴/۵$ ، $۵/۵$ ، $۶/۵$ و $۷/۵$ متر استفاده شده است. مقادیر R_n و H_n در جدول شماره ۲ مشخص شده است.

جدول ۲: مقادیر فاصله انفجار تا محل مورد نظر بر اساس ارتفاع و فاصله های افقی متغیر

		$D=4.5(m)$	$D=5.5(m)$	$D=6.5(m)$	$D=7.5(m)$
Story	$H_n (m)$	$R (m)$			
Parking	1.6	4.78	5.73	6.69	7.67
Story 1	4.8	6.58	7.3	8.08	8.9
Story 2	8	9.18	9.71	10.31	10.97
Story 3	11.2	12.07	12.48	12.95	13.48
Story 4	14.4	15.09	15.41	15.8	16.24
Story 5	17.6	18.17	18.44	18.76	19.13
Story 6	20.8	21.28	21.51	21.79	22.11

۵- نحوه محاسبه بارهای خارجی انفجار بر وجوه سازه

همانطور که پیش تر اشاره شد بارهای خارجی بر وجوه سازه به صورت نمودارهای خطی است که محور افقی آن زمان بر حسب میلی ثانیه و محور عمودی آن فشار بر حسب پاسکال می باشد. برای تحلیل سازه تحت اثر انفجار باید هر یک از این نمودارها بر وجه مربوطه اعمال شود. در جدول زیر مقدار فشار و زمان برای هر یک از سه نمودار فشار- زمان انفجار در وجه جلویی روبه انفجار و وجوه کناری نزدیک و دور بر اساس فاصله های متفاوت مشخص شده است.

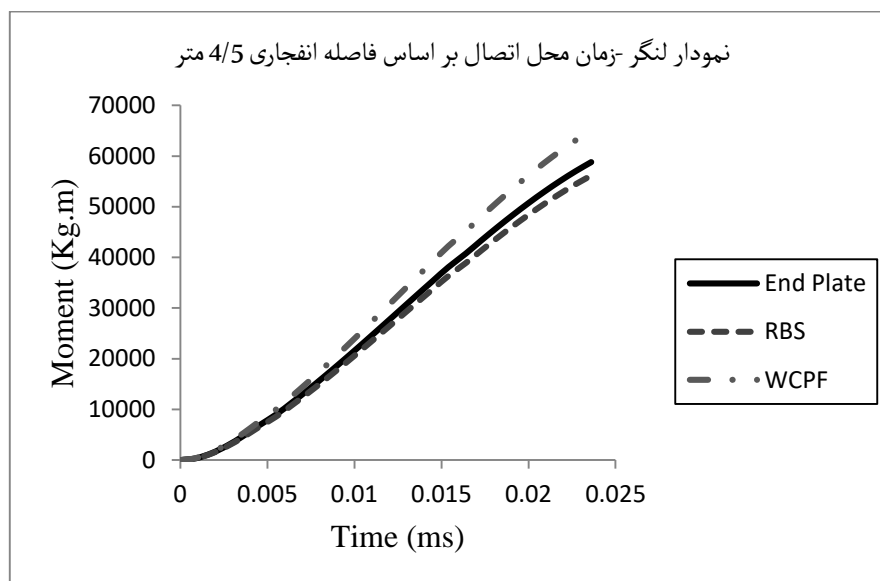
جدول ۳: اطلاعات مربوط به نمودار فشار - زمان بر حسب فاصله

R	وجه روبه انفجار (Exterior Front wall)		وجه کناری در یال نزدیک (Exterior near side wall)		وجه کناری در یال دورتر (Exterior far side wall)	
	t (ms)	P(kg/cm ²)	t (ms)	P(kg/cm ²)	t (ms)	P(kg/cm ²)
4.78	0	35.625	0	7.096	0	0
	3.95	7.914	19.428	0	3.95	7.096
	22.72	0			16.19	0
6.58	0	12.918	0	3.295	0	0
	7.31	3.453	28.512	0	7.31	3.295
	33.34	0			23.76	0
9.18	0	4.878	0	1.573	0	0
	11.91	1.758	41.268	0	11.91	1.573
	75.31	0			34.39	0
12.07	0	2.405	0	0.897	0	0
	15.81	0.969	54.66	0	15.81	0.897
	90.82	0			45.55	0
15.09	0	1.435	0	0.583	0	0
	18.65	0.617	67.8	0	18.65	0.583
	104.85	0			56.5	0
18.17	0	0.967	0	0.414	0	0
	20.65	0.432	80.46	0	20.65	0.414
	117.52	0			67.05	0
21.28	0	0.704	0	0.312	0	0
	22.07	0.322	92.688	0	22.07	0.312
	129.14	0			77.24	0
5.73	0	19.918	0	4.561	0	0
	5.7	4.905	24.24	0	5.7	4.561
	28.34	0			20.2	0
7.3	0	9.42	0	2.599	0	0
	8.67	2.676	32.112	0	8.67	2.599
	37.54	0			26.76	0
9.71	0	4.192	0	1.398	0	0
	12.72	1.55	43.788	0	12.72	1.398
	78.33	0			36.49	0
12.48	0	2.217	0	0.839	0	0
	16.27	0.903	56.52	0	16.27	0.839
	92.87	0			47.1	0
15.41	0	1.369	0	0.56	0	0
	18.9	0.591	69.18	0	18.9	0.56
	106.27	0			57.65	0
18.44	0	0.938	0	0.403	0	0
	20.79	0.42	81.552	0	20.79	0.403
	118.58	0			67.96	0
21.51	0	0.689	0	0.306	0	0
	22.16	0.316	93.588	0	22.16	0.306
	129.98	0			77.99	0

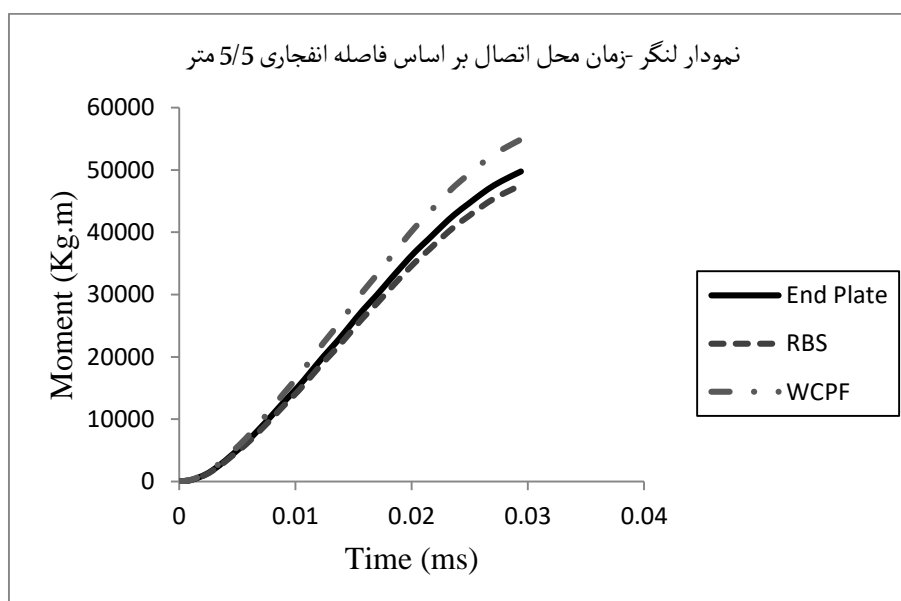
6.69	0	12.274	0	3.171	0	0
	7.52	3.313	29.064	0	7.52	3.171
	33.98	0			24.22	0
8.08	0	6.988	0	2.073	0	0
	10.07	2.103	35.952	0	10.07	2.073
	42.03	0			29.96	0
10.31	0	3.578	0	1.234	0	0
	13.59	1.358	46.596	0	13.59	1.234
	81.66	0			38.83	0
12.95	0	2.032	0	0.781	0	0
	16.76	0.838	58.584	0	16.76	0.781
	95.11	0			48.82	0
15.8	0	1.298	0	0.535	0	0
	19.18	0.564	70.788	0	19.18	0.535
	107.9	0			58.99	0
18.76	0	0.906	0	0.391	0	0
	20.95	0.407	82.788	0	20.95	0.391
	119.78	0			68.99	0
21.79	0	0.674	0	0.3	0	0
	22.25	0.31	94.512	0	22.25	0.3
	130.84	0			78.76	0
7.67	0	8.137	0	2.327	0	0
	9.34	2.378	33.948	0	9.34	2.327
	39.67	0			28.29	0
8.9	0	5.315	0	1.681	0	0
	11.46	1.886	39.936	0	11.46	1.681
	73.67	0			33.28	0
10.97	0	3.047	0	1.086	0	0
	14.49	1.186	49.68	0	14.49	1.086
	85.21	0			41.4	0
13.48	0	1.849	0	0.722	0	0
	17.28	0.771	60.924	0	17.28	0.722
	97.64	0			50.77	0
16.24	0	1.222	0	0.508	0	0
	19.49	0.535	72.636	0	19.49	0.508
	109.77	0			60.53	0
19.13	0	0.87	0	0.377	0	0
	21.14	0.392	84.312	0	21.14	0.377
	121.25	0			70.26	0
22.11	0	0.654	0	0.292	0	0
	22.37	0.301	95.796	0	22.37	0.292
	132.03	0			79.83	0

۶- مقایسه لنگر اتصال در محل اتصال تحت اثر بار انفجاری

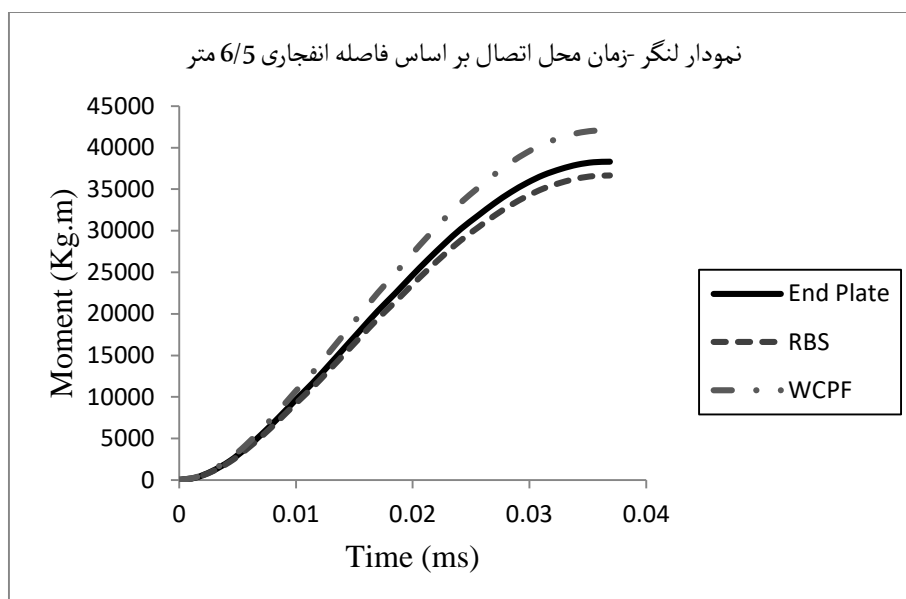
میزان لنگر وارد بر اتصالات خمشی برای انواع بارهای جانبی همواره یک موضوع اساسی برای مهندسين سازه محسوب می شود. اگر در حین اعمال بارهای جانبی به قاب های خمشی لنگر وارد بر اتصال از لنگر طراحی بیشتر باشد باعث تخریب اتصال می شود و همانطور که در قبل بیان شد کارکرد یک قاب خمشی وابسته به اتصالات آن می باشد. در نمودارهای زیر لنگر خمشی اتصالات تحت اثر بار انفجاری مقایسه و تحلیل میشود.



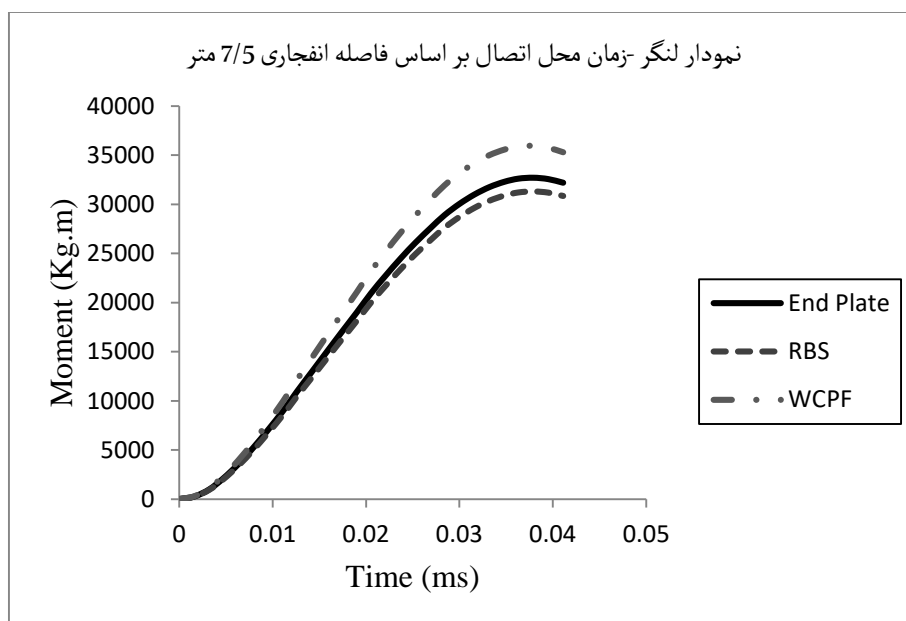
شکل ۳: مقایسه نمودارهای لنگر- زمان در اثر اتصالات مختلف در فاصله انفجاری ۴/۵ متری



شکل ۴: مقایسه نمودارهای لنگر- زمان در اتصالات مختلف در فاصله انفجاری ۵/۵ متری



شکل ۵: مقایسه نمودارهای لنگر- زمان در اتصالات مختلف در فاصله انفجاری ۶/۵ متری



شکل ۶: مقایسه نمودارهای لنگر- زمان در اتصالات مختلف در فاصله انفجاری ۷/۵ متری

همان طور که از نمودارها مشخص است، دوران حاصل شده در چشمه اتصال گره A2 از طبقه اول تحت اثر بارهای انفجاری در اتصال تقویت شده WCPF نسبت به دو اتصال RBS و End Plate کمتر بوده است. با توجه به نمودارها چرخش چشمه اتصال در اتصالات WCPF حدود ۷۰ درصد و در اتصالات RBS حدود ۹۲ درصد اتصالات End Plate می باشد. تغییر فاصله انفجاری باعث کاهش زاویه دوران می شود به طوری که در تمامی اتصالات با افزایش یک متری فاصله انفجاری حدود ۸۲-۷۵ درصد زاویه را در پی خواهد داشت.

۷- نتیجه گیری

بارهای جانبی شدید همانند ضربه و انفجار میتوانند موجب آسیب دیدگی گسترده ساختمان‌ها شوند و به تبع آن منجر به خرابی کل ساختمان شوند. در این مقاله به منظور بررسی نحوه اثر انفجار بر اتصالات خمشی از نوع کاهش یافته، ورق انتهایی و تقویت شده با ورق بالا و پایین در پدیده انفجار از نرم افزارهای اجزای محدود ABAQUS و Etabs(V.NL13) استفاده شد. نتایج نشان داد لنگرهای وارده ناشی از بارهای انفجاری بر سه نوع اتصال تقریباً به یکدیگر نزدیک می‌باشد. همچنین رفتار اتصالات مورد نظر تحت انفجار نشان داد مقدار ممان وارد بر اتصال در حین بارهای جانبی از اهمیتی بالایی برخوردار می‌باشد بطوریکه اگر مقدار ممان وارد بر اتصال در اعمال بار جانبی بیشتر از مقدار ممان طراحی باشد، تخریب اتصال و خرابی قاب را در پی خواهد داشت. بعلاوه مشاهده شد زمانی که بارهای انفجاری لنگری به اتصال اعمال شوند مقدار لنگر ایجاد شده در حدود ۱/۵ الی ۲ برابر لنگر طرح لرزه ای است که این مساله می‌تواند ضعف اتصالات در حین انفجار را بیان کند.

مراجع

- [1] UFC3-340-02, (1990) Structures to resist the effects of accidental explosions.
- [2] Bangash, N.Y.H. and Bangash, T., (2006), "Explosion-Resistant Buildings", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [3] TM5-1300. (1990). Structures to resist the effects of accidental explosion, US Army.
- [4] US Department of the Army. (1986). Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons (TM 5-855-1). Washington.
- [5] US Department of Defense. (2008). Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions. UFC 3-340-02. Washington (DC).
- [6] FEMA 426. (2003). Risk Management Series: Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attack Against Buildings. Federal Emergency Management Agency.
- [7] Hinman E. (2003). Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks. FEMA 427, Applied Technology Council (ATC), USA.
- [8] ASCE. (2009). Blast Protection of Buildings (ASCE Standard). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- [9] Castro, J. S.; Bryson, L. S.; Gamber, N. K.; Lusk, B. T. "Numerical Modeling of Subsurface Blasts"; Pan-Am CGS, Geotechnical Conference 2011.
- [10] Hu, Y.; Burgess, I. W.; Davison, J. B.; Plank, R. J. (2008) "Modeling of Flexible End Plate Connections in Fire Using Cohesive Elements"; Fifth International Conference of Structures in Fire, Singapore.
- [11] Wang, J.; Chen, W.; Guo, Z.; Liang, W. "Dynamic Responses of RPC-Filled Steel Tubular Columns Post Fire Under Blast Loading"; The Open Civil Engineering Journal 2016, 10, 236-245.
- [12] Fujikura Sh., Bruneau M., and Lopez-Garcia D., Experimental Investigation of Multihazard Resistant Bridge Piers Having Concrete-Filled Steel Tube under Blast Loading, Journal of Bridge Engineering, 586-594, ASCE, 2008.
- [13] Hao H., (2015). Predictions of Structural Response to Dynamic Loads of Different Loading Rates, International Journal of Protective Structures, Volume 6.
- [14] Bangash, M. and Bangash. T, (2006). Explosion-resistant buildings: design, analysis, and case studies.