

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

دوره ترمین

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

دوره ترمین

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دوره ترمین

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



بررسی روند تخریب قاب های خمشی فولادی تحت اثر بار دینامیکی ناشی از انفجار

محمد قاسم سحاب^۱، مسعود محمدی^۲، میثم جالو^۳

۱- استادیار دانشکده عمران دانشگاه تفرش

۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه دانشگاه تفرش

۳- کارشناس ارشد مهندسی سازه دانشگاه تفرش

⋮

m.mohammadi11@gmail.com

خلاصه

پیش بینی روند پیشرفت تخریب یک سازه و شبیه سازی کامپیوتری مراحل فرو ریختن آن پس از وقوع یک یا چند خرابی بدوی و شروع خرابی تحت یک بارگذاری فوق العاده و عامل محرک اولیه از جمله موضوعاتی است که در چند دهه اخیر مورد توجه محققین، طراحان و مهندسین سازه قرار گرفته است. از جمله کاربردهای این شبیه سازی پیش بینی نحوه فرو ریختن یک ساختمان برای تخریب مهار شده و کنترل شده آن (Controlled Demolition) با استفاده از مواد منفجره مخصوص تخریب است.

در این مقاله نتایج مربوط به ساخت برنامه کامپیوتری شبیه سازی روند فروریزی سازه های فلزی قابی دو بعدی ارائه شده است. برای نشان دادن تواناییها، قابلیتها و صحت عملکرد این برنامه از آن برای شبیه سازی مراحل تخریب سه قاب فلزی با تعداد طبقات و دهانه های مختلف تحت بارگذاری فوق العاده انفجار و همچنین تحت یک برنامه زمان بندی مفروض برای تخریب اعضای مشخصی از سازه تحت بارهای عادی وزن سازه نشان داده شده است. نتایج حاصله با اصول کلی مورد انتظار و برخی تجارب مشاهداتی از نحوه تخریب ساختمانها انطباق داشته و صحت عملکرد برنامه را تأیید می نماید. صحت عملکرد این برنامه در این مرحله برای تکمیل و گسترش آن برای سازه های سه بعدی اطمینان بخش است.

کلمات کلیدی: شبیه سازی فرو ریختن، تخریب کنترل شده، بارگذاری انفجار

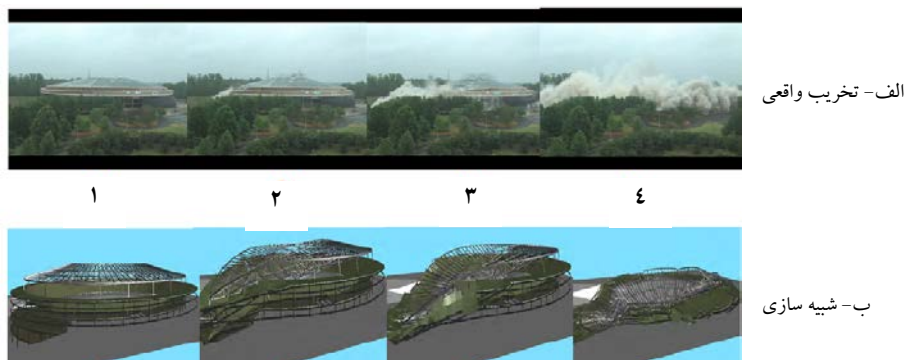
۱. مقدمه

پیش بینی روند تخریب یک سازه پس از وقوع یک یا چند خرابی تحت بارگذاری های فوق العاده ناخواسته و یا حتی تحت خرابی های عمدی با استفاده از مواد منفجره مخصوص تخریب، برای تخریب مهار شده یا تحت اختیار (Controlled Demolition) یک سازه از جمله موضوعاتی است که مورد توجه مهندسین سازه قرار گرفته و برای شبیه سازی کامپیوتری آن تلاش های زیادی در حال انجام است. از جمله کاربردهای این پژوهش شبیه سازی و پیش بینی نحوه فرو ریختن یک ساختمان برای تخریب تحت اختیار قبل از انفجار واقعی است که می تواند برای پیمانکاران تخریب بسیار مناسب باشد. پدیده فروپاشی پیش رونده در سازه ها شکل احتمالی از روند تخریب یک سازه است که آسیب موضعی را به تخریبی با مقیاس بزرگتر تبدیل می کند. در این پدیده تخریب با از دست رفتن ظرفیت باربری یک یا چند عضو شروع و با تغییر مسیر انتقال و توزیع مجدد بار برای سایر اعضا تخریب به قسمت های دیگر سازه نیز سرایت نموده و منجر به تخریب کلی یا قسمتی از سازه می شود. در این راستا اوتاگوا و همکاران در سال ۱۹۹۲ به شبیه سازی تخریب کنترل شده یک ساختمان سه طبقه بتن مسلح پرداختند. آنها در تحقیقات خود با بررسی میکروسکوپی اعضای سازه ای هر عضو را متشکل از المان های محدود کروی با اتصالات فتری در نظر گرفتند. یک مدل آزمایشگاهی با نصف اندازه واقعی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاکی از انطباق نحوه تخریب سازه با مدل شبیه سازی شده توسط محققین بود [۱]. کراتامر و همکاران در سال ۲۰۰۴ روند فروریزش یک ساختمان ده طبقه با قاب خمشی فولادی را به کمک نرم افزار ABAQUS به صورت سه بعدی مدل کرده و شبیه سازی نمودند. در این شبیه سازی حالت های مختلف تخریب و حذف ستون ها در طبقه همکف که منجر به فروریزش کامل ساختمان یا بخشی از آن می شد، مورد مطالعه قرار گرفت و با در نظر گرفتن نمونه های مختلف برای اتصالات، تاثیر نوع اتصال در پیشرفت روند خرابی بررسی شده است [۲]. بلاتکن هورن و همکاران در سال ۲۰۰۷ به کمک نرم افزار LS-DYNA تخریب یک ساختمان صنعتی را که یک ردیف از ستون خارجی آن توسط مواد منفجره تخریب شده اند، شبیه سازی نموده و روند تخریب را به تصویر کشیده است [۳]. سانگ و سیزن در سال ۲۰۱۱ با انجام یک آزمایش صحرایی و شبیه سازی عددی، پتانسیل یک سازه فولادی موجود برای تخریب را مورد بررسی قرار دادند. آن ها با حذف چهار ستون از طبقه اول روند تغییر مسیر انتقال بار را دنبال نمودند [۴].

در این مقاله روند پیشرفت تخریب و فروریزش سه قاب فولادی خمشی با تعداد طبقات و دهانه های متفاوت به کمک نرم افزار ساخته شده در محیط Visual Basic مدل سازی شده است. این نرم افزار برای تحلیل سازه در هر مرحله از تخریب اعضا و تشکیل هندسه جدید برای سازه از نرم افزار SAP2000 V14.2 استفاده می نماید. با توجه به معیارهای تسلیم و خرابی تعریف شده برای اعضا، هندسه سازه در هر مرحله از فروریزی به روز می شود. نرم افزار قادر است تا روند تخریب یک سازه قابی فولادی تحت خرابی های عمدی بدوی را دنبال نموده و علاوه بر آن قادر است تا روند فروریزی مرحله ای یک سازه را تحت بارهای انفجاری شبیه سازی نماید. در این مورد بارهای انفجار، به صورت لحظه به لحظه محاسبه و ضمن به روز کردن هندسه سازه در حین فروریزی، بر روی آن اعمال می شود.

۲. مروری بر چند نرم افزار شبیه ساز روند تخریب سازه ها

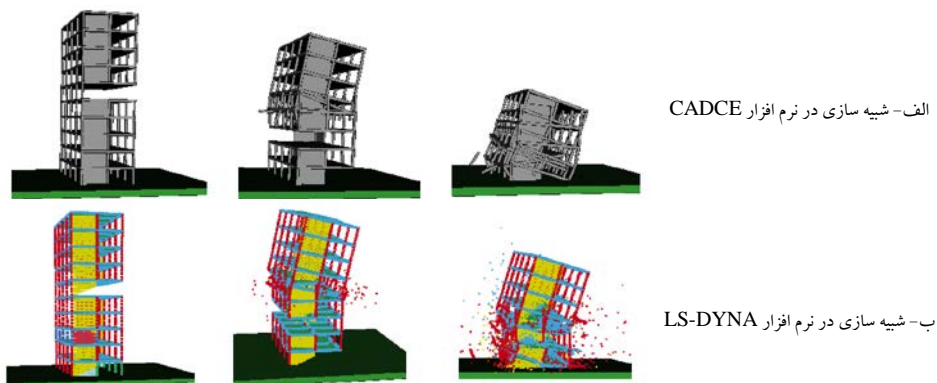
در عصر کنونی به یاری پیشرفت های تکنولوژی، علم مهندسی سازه با سرعت زیادی در حال گسترش است. کامپیوتر، تحلیل سازه ها و بررسی رفتار واقعی آنها را با تقریب های مناسبی میسر ساخته اند. شبیه سازی روند تخریب سازه ها تحت بارگذاری های فوق العاده بر روی سازه در چند دهه اخیر مورد توجه بسیاری از شرکت ها تولید کننده نرم افزارهای شبیه ساز رفتار سازه، قرار گرفته است. شرکت Applied Science International که از جمله شرکت های پیشرو در این زمینه است، کار خود را از سال ۲۰۰۳ با ساخت نرم افزار شبیه ساز روند تخریب قاب دو بعدی آغاز نمود که این مورد خود توجه گر ارزش تحقیق انجام شده می باشد. آخرین نسخه از نرم افزار تولید شده، ELS V3.1، می تواند مراحل تخریب یک سازه سه بعدی را در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی شبیه سازی نماید. پیش بینی نحوه تخریب موزه چارلوت کالیفرنیا در سال ۲۰۰۷ که به کمک مواد منفجره و به صورت کنترل شده تخریب شده یکی از اولین موارد استفاده از این نرم افزار برای شبیه سازی یک تخریب واقعی قبل از وقوع انفجار اصلی بوده است. نتایج شبیه سازی دینامیکی غیر خطی نشان داده در شکل ۱ برای برنامه ریزی تخریب کنترل شده واقعی و ارائه تضمین در خصوص ایمنی از ترتیب تخریب ها مورد استفاده قرار گرفته است [۵]. این شرکت اثرات ناشی از انفجار او کلاهاماسیتی را نیز با تمامی جزئیات مدل نمود به گونه ای که نتایج حاصل کاملاً مطابق با واقعیت بوده است [۶].



شکل ۱- شبیه سازی نحوه تخریب موزه چارلوت در نرم افزار ELS® [۵]

نرم افزار شبیه ساز چند مرحله ای و بهینه ساز روند تخریب CADCE از محدود نرم افزار های مهمی است که عمدتاً برای مهندسی کردن تخریب ساختمان ها به صورت کنترل شده از آن استفاده می شود. این نرم افزار با تحلیل چند مرحله ای تحلیل (Multibody Analysis) تا ۳۰ برابر مدت زمان پروسه پردازش را نسبت به نرم افزارهای اجزا محدودی کاهش می دهد. آنالیز دینامیکی چند مرحله ای این نرم افزار از نتایج معادله حرکت لاگرانژ و استفاده از روابط آدامز می باشد که باعث گردیده تا نتایج این نرم افزار دقیق و کاربردی باشد. نرم افزار های ABAQUS/Explicit، LS-DYNA، AUTODYN نیز از دیگر نرم افزار های مبتنی بر روش اجزا محدود و شبیه ساز بار انفجار و روند تخریب می باشد که هر یک از نرم افزار های مزبور دارای نقاط قوت و ضعف و توانایی های خاص خود می باشد.

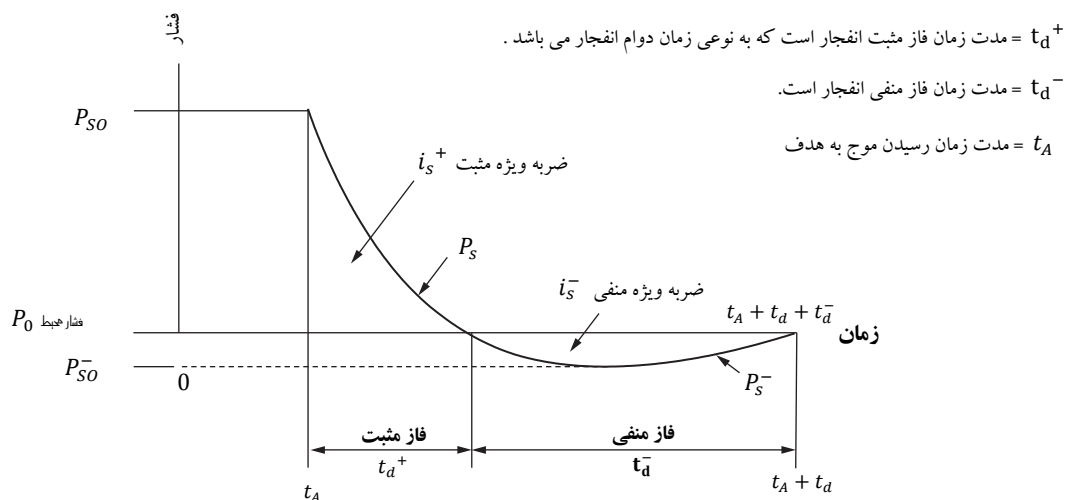
در مطالعه ای که توسط سیکویات و همکاران در سال ۲۰۰۹ صورت گرفته است، روند تخریب کنترل شده ساختمان ده طبقه بتنی با دیوار برشی در یک شبیه سازی چند مرحله ای با ۲۲۰ جزء محدود صلب در نرم افزار CADCE مدل شده است، برای شبیه سازی ۳ ثانیه ای از فروریزش ساختمان، ۲ ساعت تحلیل توسط نرم افزار صورت پذیرفته است. وی نشان داد که برای تحلیل این سازه ده طبقه توسط نرم افزار LS-DYNA به تعریف ۱۴۶۹۲۰ جزء محدود شش وجهی و ۶۰ ساعت تحلیل برای شبیه سازی ۴ ثانیه ای تخریب آن نیاز می باشد. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می شود، نتایج نشان داد که با وجود تفاوت عمده در مدت زمان روند پردازش، تفاوت خاصی در نحوه تخریب وجود ندارد [۷].



شکل ۲- مقایسه شبیه سازی نحوه تخریب ساختمان ده طبقه [۷]

۳. پدیده انفجار و موج ضربه

انفجار، آزاد شدن سریع و ناگهانی انرژی، در مقیاس بزرگ تعریف می گردد. بر اثر انفجار، موج شوکی یا ضربه ای تولید می شود که فشار آن با افزایش فاصله از محل انفجار، مستهلک می شود. موج ضربه ناشی از انفجار بلافاصله تولید و با سرعت بسیار زیادی از چشمه انفجار، گسترش و فشار محیط را تا فشار مبنای P_{SO} ، افزایش و بعد از مدت زمان کوتاهی معادل t_d^+ ، تا فشار محیط، P_0 کاهش می یابد که به این مرحله فاز مثبت می گویند. فشار برخورد، فشار وارد بر سطحی موازی با راستای انتشار موج است. در نتیجه انتشار موج، گازهای حاصل از انفجار سرد شده و فشار آنها به مقدار ناچیزی کمتر از فشار اتمسفر می گردد. این عمل با وجود آمدن مکش باعث ایجاد باد شدیدی می شود که به آن فاز منفی می گویند. فشار فاز منفی، P_{SO}^- نسبتاً مقدار کمی دارد به طوری که در طراحی سازه های مقاوم در برابر انفجار در اکثر موارد از آن صرف نظر می شود ولی در مورد ملحقات ساختمان می تواند باعث پیامد های جدی شود [۲]. به همین دلیل از سال ۲۰۰۸ معیارهای همسان مربوط به تاسیسات ایالات متحده، UFC 3-340، اثر فاز منفی انفجار برای بارگذاری سازه ها را نیز مد نظر خود قرار داده است. نمای کلی از بارگذاری تاریخیچه زمانی موج ضربه حاصل از انفجار در شکل ۳ نشان داده شده است.

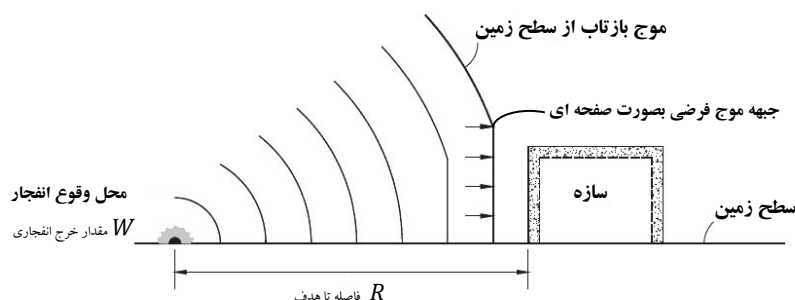


شکل ۳- موج ضربه [۸]

اگر موج انفجار به سطحی ناموازی با جهت انتشار آن (مانند دیوار یک ساختمان) برخورد نماید، خود باعث بوجود آمدن فشار بازتاب، P_r ، می شود که مقدار فشار ناشی از آن به زاویه برخورد موج با سطح مزبور بستگی دارد. معمول ترین حالت که تمامی روابط موجود در بخش های بعدی این مقاله بر اساس آن استوار است، برخورد موج انفجار به صورت عمود بر سطح سازه می باشد فشارناشی از بازتابش، شکل کلی مانند فشار ناشی از موج ضربه انفجار را دارد اما نقطه اوج آن نسبت به موج اولیه بالاتر خواهد بود که مقدار آن به موج اولیه و زاویه شیب سطح برخورد بستگی دارد.

۴. انفجار سطحی و بارگذاری تاریخچه زمانی آن

انفجاری که روی سطح زمین یا بسیار نزدیک به آن رخ می دهد به عنوان انفجار سطحی محسوب می شود. همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، موج اولیه انفجار منعکس و به وسیله زمین تقویت می گردد تا به یک موج بازتاب تبدیل شود. بر خلاف انفجارهای هوایی، موج بازتاب (منعکس شده) با موج برخورد در نقطه انفجار ادغام می شود تا یک موج مجزا را شکل دهد که ماهیت آن شبیه به موج ماخ در انفجارهای هوایی می باشد، اما به شکل نیم کره ای که این موج به دلیل سرعت بالای خود به صورت بار گسترده یکنواخت بر سازه اعمال می شود. فشار ناشی از این موج بازتاب، P_r ، همواره بیشتر از مقدار فشار ناشی از موج انفجار اولیه برای یک هدف ثابت خواهد بود [۸].



شکل ۴ - انتشار موج انفجار سطحی [۸]

بیشتر روابط انفجار وابسته به دو پارامتر مستقل یعنی میزان انرژی آزاد شده در هنگام انفجار و فاصله تا هدف (فاصله بین مرکز انفجار تا محل اثر موج انفجار) می باشد. قدرت یک بارگذاری فوق العاده انفجاری بواسطه دو عامل، W ، مقدار وزن خرج انفجاری بر حسب تی ان تی معادل (کیلوگرم) و R ، فاصله (متر)، با استفاده از پارامتر Z (فاصله مقیاس شده) و از رابطه ۱ تعیین می شود.

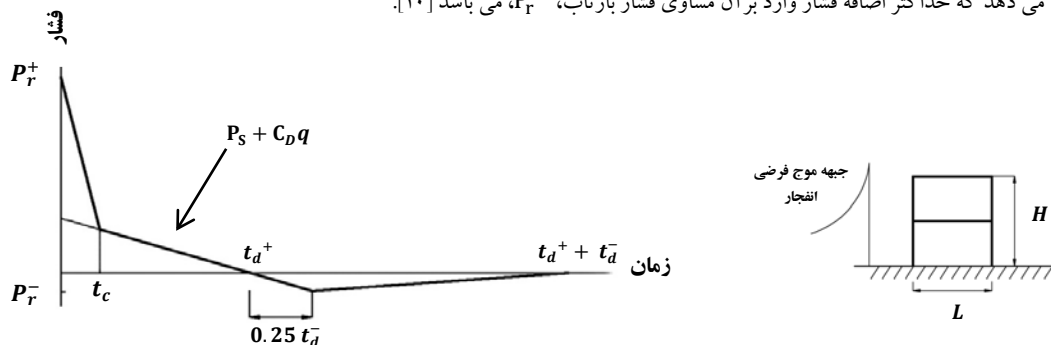
$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad (1)$$

پارامترهای انفجار و همچنین روابط تخمین حداکثر فشار برخورد ناشی از یک انفجار، P_{SO} و مدت زمان اعمال این بار، t_d^+ ، به عنوان پارامترهای مهم در محاسبه پاسخ سازه، هدف بسیاری از تحقیقات علمی در دهه های ۱۹۴۰ الی ۱۹۶۰ میلادی بوده است. از مهمترین و دقیق ترین این روابط برای تعیین t_d و P_{SO} روابط کنی و گراهام می باشد که انطباق مناسبی با مقادیر به دست آمده از نمودارهای موجود در آیین نامه UFC 3-340-02 دارد (روابط ۲ و ۳). فاصله مقیاس شده، Z ، در عمده روابط مربوط به انفجار نقش اساسی ایفا می کند و در این روابط فشار محیطی است [۹].

$$\frac{P_{SO}}{P_0} = \frac{808 \left[1 + \left(\frac{Z}{4.5} \right)^2 \right]}{\left\{ \left[1 + \left(\frac{Z}{4.5} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0.32} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{1.35} \right)^2 \right] \right\}} \quad (2)$$

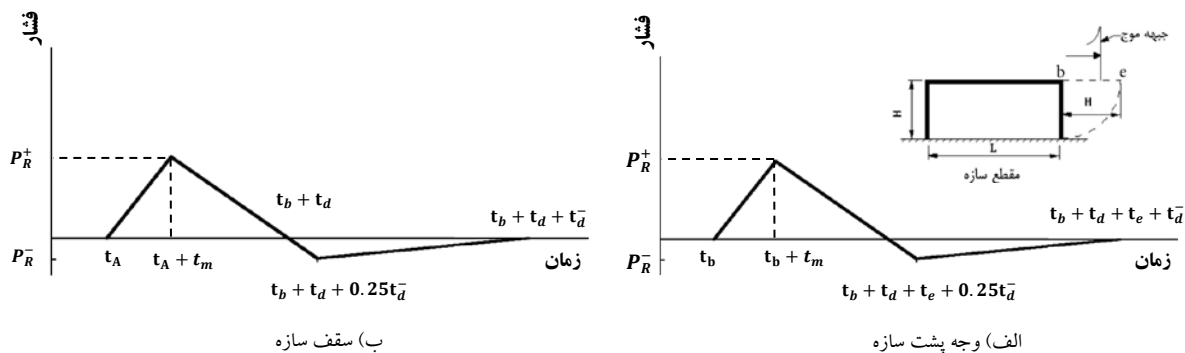
$$\frac{t_d^+}{W^{1/3}} = \frac{980 \left[1 + \left(\frac{Z}{0.54} \right)^{10} \right]}{\left[1 + \left(\frac{Z}{0.02} \right)^3 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0.74} \right)^6 \right] \sqrt{1 + \left(\frac{Z}{6.9} \right)^2}} \quad (3)$$

برای بررسی نیروهای وارد بر سازه از فرض ساده شده بارگذاری مثلثی تاریخچه زمانی انفجار سطحی ارائه شده در آیین نامه UFC 3-340-02 سال ۲۰۰۸ و با در نظر گرفتن فاز منفی آن برای بارگذاری سازه استفاده شده است. شکل ۵ بارگذاری تاریخچه زمانی وارد بر وجه جلویی (رو به انفجار) سازه را نشان می دهد که حداکثر اضافه فشار وارد بر آن مساوی فشار بازتاب، P_r^+ ، می باشد [۱۰].



شکل ۵ - تغییرات فشار بر روی وجه جلویی (رو به انفجار) سازه [۱۰]

در شکل ۵، t_c ، زمان پاکسازی یا استهلاک برای از بین رفتن نیروی بازتاب شده، P_S ، فشار برخورد برای فواصل مختلف، q ، فشار دینامیکی و C_D ضریب مکش (Drag) می باشد که در این حالت (وجه رو به انفجار) مقدار آن برابر یک در نظر گرفته می شود. شکل ۶ بارگذاری تاریخیچه زمانی بار وارد بر سقف و وجه پشت سازه را نشان می دهد. P_R ترکیبی از فشار دینامیکی و فشار بازتاب، t_m ، زمان پاکسازی، t_b ، زمان رسیدن موج به نقطه b در پشت سازه و t_e ، زمان رسیدن موج به نقطه e می باشد. زمانی که جبهه موج از دیوار جلویی و سقف عبور می کند، با گسترش خود باعث بوجود آمدن موج های ثانویه ای می گردد که دیوارها پشتی را در بر می گیرد. در سازه ها با ارتفاع زیاد این موج تاثیرات به سزایی بر روی سازه خواهد داشت.



شکل ۶ - تغییرات فشار بر روی سقف و وجه پشت به انفجار سازه [۱۰]

۵. نرم افزار شبیه ساز روند تخریب سازه های قابی فولادی

برای ساخت نرم افزار شبیه ساز روند تخریب قاب فولادی خمشی تحت بارگذاری های انفجاری تاریخیچه زمانی و نیز طبق یک زمان بندی مفروض به صورت کنترل شده، از پیوند سازگار بین دو نرم افزار قدرتمند SAP2000 V14.2 مبنی بر دستور پذیری همراه با موتور تحلیلی قوی و نرم افزار Microsoft Visual Basic به عنوان ابزاری دستور دهنده با فایل های کتابخانه ای بخصوص و قابلیت خروجی قابل استفاده برای کاربران، استفاده شده است. نرم افزار کد نویسی شده در فضای Visual Basic قادر است تا با دریافت اطلاعات اولیه از کاربر، بارهای فوق العاده ناشی از انفجار سطحی را بواسطه دو عامل، W ، مقدار وزن خرج انفجاری بر حسب تی ان تی معادل (کیلوگرم) و R ، فاصله از قاب فولادی (متر)، را مطابق موارد اشاره شده در قسمت ۴ این مقاله به صورت تابعی از زمان محاسبه نموده و آن را به صورت لحظه به لحظه به قاب سازه مفروض اعمال نماید و سپس با فرض یک رفتار الاستو-پلاستیک معلوم برای مصالح تغییر شکل های ایجاد شده در سازه را چه به صورت جزئی برای همه اعضا و چه به صورت نسبی برای طبقات و همچنین روند تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه را به عنوان شاخص های خرابی دنبال نموده و نمایش دهد. با توجه به معیارهای تعریف شده، در مراحل از اعمال بار، اعضایی که تغییر شکل آنها بسیار زیاد می گردد و یا در آنها حد لنگر پلاستیک و حد نیروی محوری مجاز پلاستیک فراتر رود، حذف و مدل هندسی سازه تحت بارهای موجود به روز شده و روند پیشرفت خرابی با مدل هندسی جدید دنبال می گردد. این روند تا آن جا که سازه به طور کامل تخریب شده و یا بارهای فوق العاده به طور کامل حذف شوند ادامه می یابد. عامل کاهش مقاومت در اثر افزایش درجه حرارت که ممکن است در زمان وقوع رخ دهد، در این نرم افزار در نظر گرفته نشده است. علاوه بر این، نرم افزار قادر است تا با فرض تخریب و حذف اعضای معینی از سازه در یک زمان بندی مفروض، مراحل تخریب سازه را با در نظر گرفتن معیارهای تعریف شده فوق به نمایش در آورد. لازم به ذکر است که کلیه مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک و رفتار غیر خطی مصالح به عنوان شاخص های خرابی و حتی بارگذاری تاریخیچه زمانی انفجار، همگی به صورت کد نویسی شبیه سازی شده است. تمامی مراحل تحلیل و بررسی انجام شده به صورت فایل متنی خروجی ذخیره سازی و مقادیر مرحله به مرحله تحلیل اعضا، روند تشکیل مفاصل پلاستیک، حذف عضو و بسیاری موارد دیگر قابل استرداد است.

۶. مطالعات عددی

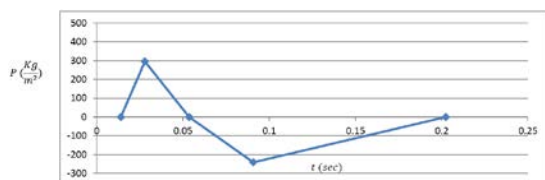
در اینجا به بررسی سه نمونه بارگذاری انفجاری قاب خمشی فولادی با تعداد طبقات و دهانه مختلف و یک نمونه تخریب مهار شده با حذف عضوی مشخص از یک قاب خمشی فولادی و همچنین مطالعه خروجی نرم افزار ساخته شده، می پردازیم. مراحل تخریب، تغییر شکل و روند تشکیل مفاصل پلاستیک هر یک از نمونه ها به صورت تصویری در لحظات مختلف پس از شروع بارگذاری، نشان داده می شود. مشخصات تمامی قاب های نمونه موجود در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ - مشخصات قاب های نمونه موجود

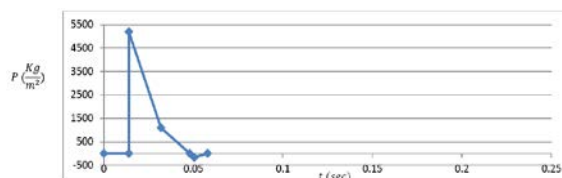
مشخصات بارگذاری انفجاری		مقاطع ستون ها	مقاطع تیرها	طول دهانه ها (متر)	تعداد دهانه	ارتفاع طبقات (متر)	تعداد طبقات	نمونه ها
فاصله از هدف، R (متر)	خرج انفجاری، W (کیلوگرم تی ان تی)							
۷ متر	۱۲۰ کیلوگرم	IPB 180	IPE270	۳ متر	۳	۳ متر	۵	قاب شماره ۱
۵ متر	۶۰ کیلوگرم	IPB 200	IPE270	۴ متر	۴	۴ متر	۳	قاب شماره ۲
۵ متر	۶۰ کیلوگرم	IPB 180	IPE270	۴ متر	۴	۴ متر	۲	قاب شماره ۳
-	-	IPB 180	IPE270	۳ متر	۳	۳ متر	۳	قاب شماره ۴

۱.۶. بررسی روند تخریب قاب شماره ۱

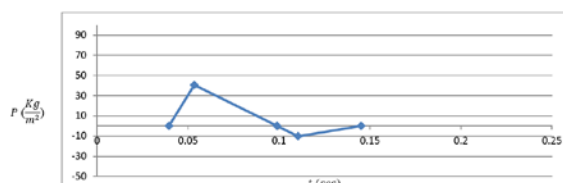
در نمونه اول روند تخریب قاب خمشی فولادی شماره ۱، با وارد کردن بار انفجاری حاصل از انفجار، ۱۲۰ کیلوگرم تی ان تی در فاصله ۷ متری از آن شبیه سازی شده است. تغییرات فشار مانند حاصل از انفجار در شکل ۷ نشان داده شده است. پس از آن نرم افزار با وارد نمودن لحظه به لحظه بار انفجاری متناسب، روند تغییر شکل و تخریب را مانند تصاویر موجود در شکل ۸ نمایش می دهد.



ب - فشار وارد بر تیرهای سقف

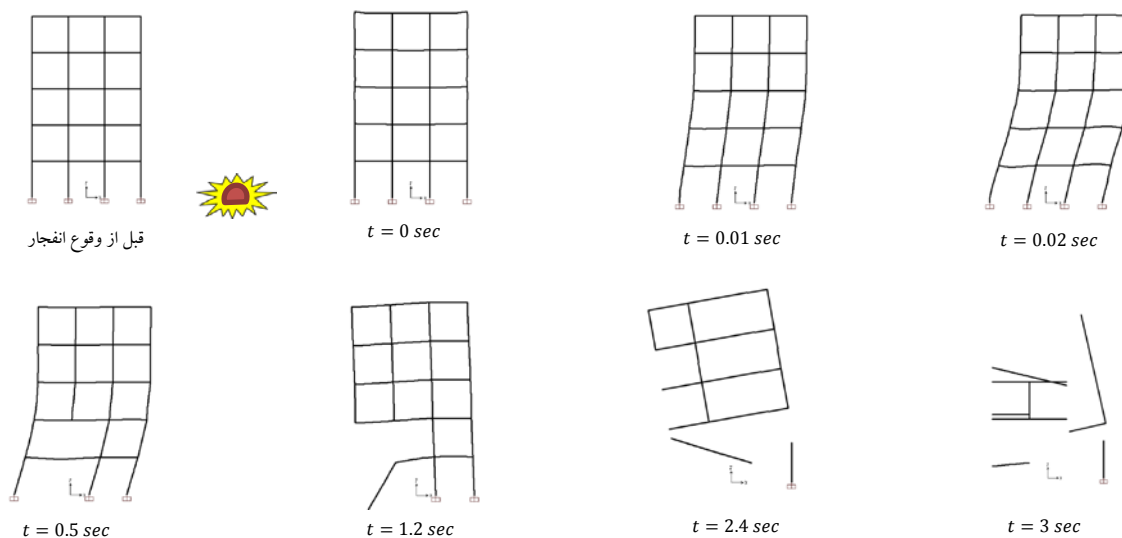


الف - فشار وارد بر ستون های جلویی



ج - فشار وارد بر ستون های پشت

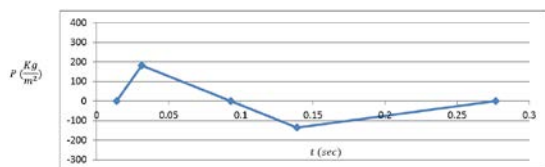
شکل ۷ - نمودارهای بارگذاری تاریخیچه زمانی برای نمونه اول



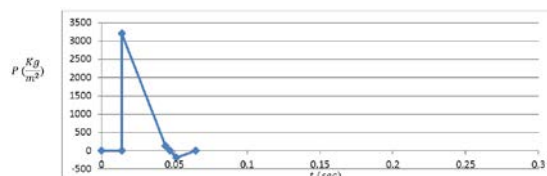
شکل ۸ - شبیه سازی روند تخریب قاب شماره ۱

۲.۶. بررسی روند تخریب قاب شماره ۲

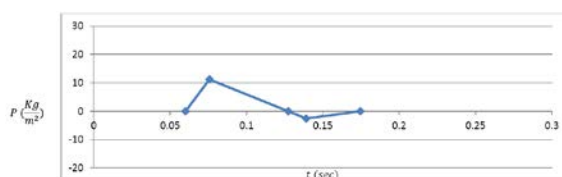
در نمونه دوم با افزایش تعداد دهانه ها و کاهش طبقات قاب خمشی فولادی شماره ۲ نسبت به قاب شماره ۱ به بررسی روند تخریب آن با در نظر گرفتن خرج انفجاری معادل، ۶۰ کیلوگرم تی ان تی در فاصله ۵ متر از هدف می پردازیم. تغییرات فشار مانند نمودارهای موجود در شکل ۹ توسط نرم افزار محاسبه گردیده و پس از آن نرم افزار با وارد نمودن لحظه به لحظه بار انفجاری متناسب، روند تغییر شکل و تخریب را مانند تصاویر موجود در شکل ۱۰ نمایش می دهد.



ب - فشار وارد بر تیرهای سقف

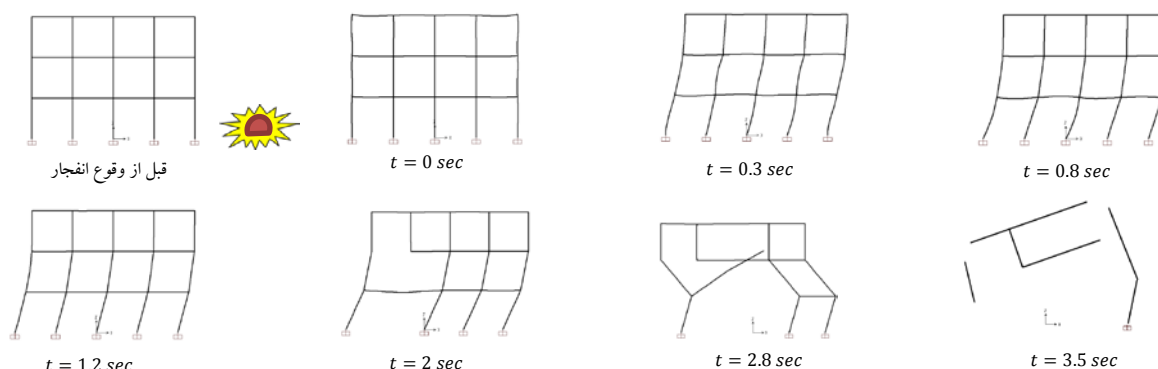


الف - فشار وارد بر ستون های جلویی



ج - فشار وارد بر ستون های پشت

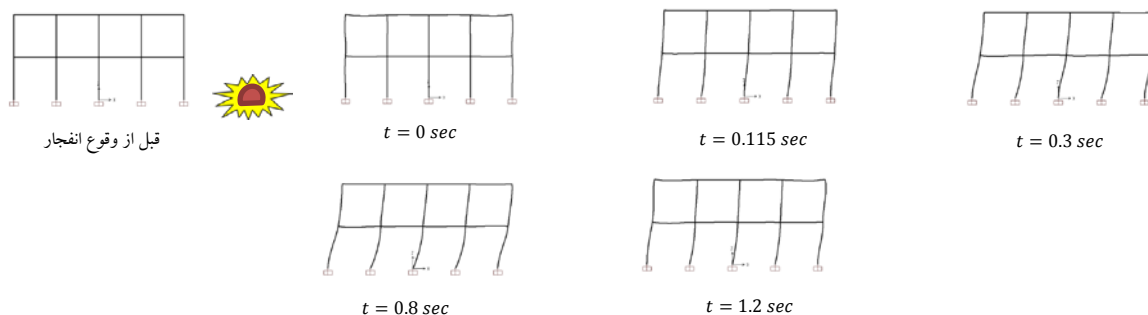
شکل ۹ - نمودارهای بارگذاری تاریخچه زمانی برای نمونه دوم



شکل ۱۰ - شبیه سازی روند تخریب قاب شماره ۲

۳.۶. بررسی روند تخریب قاب شماره ۳

در نمونه سوم با کاهش بیشتر طبقات قاب خمشی فولادی شماره ۳ نسبت به قاب شماره ۲ به بررسی روند تخریب آن با در نظر گرفتن مقدار خرج انفجاری معادل، ۶۰ کیلوگرم تی ان تی در فاصله ۵ متر از هدف، می پردازیم. تغییرات فشار به مانند نمودارهای موجود در شکل ۹ توسط نرم افزار محاسبه گردیده و پس از آن نرم افزار با وارد نمودن لحظه به لحظه بار انفجاری، روند تغییر شکل و تخریب را مانند تصاویر موجود در شکل ۱۱ نمایش می دهد.

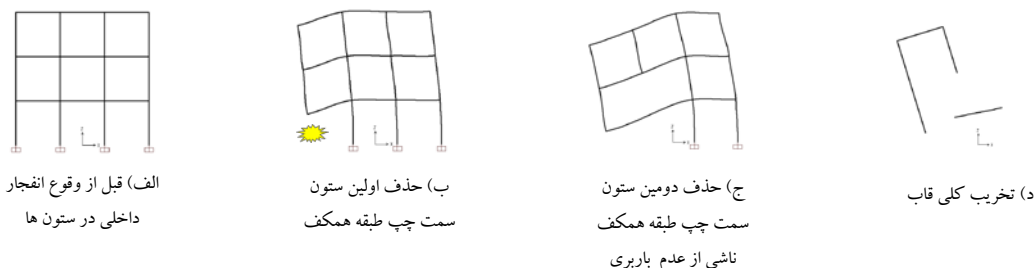


شکل ۱۱ - شبیه سازی روند تخریب قاب شماره ۳



۴.۶. بررسی روند تخریب قاب شماره ۴

در نمونه چهارم، قاب خمشی فولادی شماره ۴ تحت تخریب کنترل شده با حذف اولین ستون سمت چپ طبقه همکف مورد بررسی قرار می گیرد. نرم افزار قادر است تا روند تغییر شکل و تخریب قاب را مانند تصاویر موجود در شکل ۱۲ نمایش داده و تا فروریزی کامل سازه دنبال نماید.



شکل ۱۲ - شبیه سازی روند تخریب کنترل شده قاب شماره ۴

۴.۷. نتیجه گیری

مطالعات عددی صورت گرفته بر روی روند فروریزش قاب های فولادی تحت بارگذاری انفجاری و تخریب کنترل شده نشان داد مطابقت کلی قابل قبولی بین مراحل تخریب به دست آمده توسط نرم افزار برای سازه ها با آنچه مورد انتظار است وجود دارد. مطالعه خروجی نرم افزار از روند فروریزش قاب های فولادی مدل شده و بررسی روند تشکیل مفاصل پلاستیک و حذف عضو آنها بر اساس معیارهای خرابی، حاکی از آن است که تخریب در ستون ها عامل اصلی و اولیه ایجاد یک فروپاشی سلسله وار ناشی از کماتش و فراتر رفتن نیروی محوری از حد بحرانی در آنها می باشد. این در حالی است که تخریب های بوجود آمده در تیر ها جز عوامل ثانویه ایجاد این گونه فروپاشی ها و عمدتاً ناشی از کم بودن مقاومت اتصال برای تحمل لنگر انتهایی می باشد. در نتیجه مهارجانبی ستون ها، افزایش مقاومت و سختی اتصالات می توانند عوامل مهمی برای جلوگیری از بوجود آمدن تخریب های اولیه در سازه باشند. مطالعات عددی روند تخریب صورت گرفته بر روی قاب های فلزی مورد مطالعه نشان داد، با افزایش تعداد طبقات احتمال وقوع تخریب های کلی برای یک سازه بیشتر خواهد بود و این در حالی است که افزایش تعداد دهانه ها می تواند باعث کاهش تخریب کلی قاب گردد.

۴.۸. منابع

1. N. Utagawa, L. Kondo, N. Yoshida, M. Ltohb & N. Yoshida, *Simulation of Demolition of Reinforced Concrete Buildings by Controlled Explosion*, Microcomputers in Civil Engineering, Elsevier Science Ltd, Japan, 1992.
2. T. Krauthammer, *Modern Protective Structure*, CRC Press, New York, 2008.
3. G. Blankenhorn, S. Mattern & S. Schweizerhof, *Controlled Building Collapse Analysis and Validation*, University Karlsruhe, Germany, October 2007.
4. B. I. Song, H. Sezen, *Experimental and analytical progressive collapse assessment of steel frame building*, Engineering Structures, , Elsevier Science Ltd, USA, 2013.
5. H. Tagel-Din, *High Fidelity Modeling of Building Collapse with Realistic Visualization of Resulting Damage and Debris Using the Applied Element Method*, Applied Science International, LLC ,2009.
6. H. Tagel-Din and N. Rahman, *Simulation of The Alfred P. Murrah Federal Building Collapse Due to Blast Loads*, Architectural Engineering National Concerence, Omaha, Nebraska, 2006.
7. T. Sikiwat, M. Breidt & D. Hartman, *Collapse Simulations Of Large Scale Complex Structures Due To Controlled Explosives*, Ruhr-University Bochum, Germany, 2009.
8. Department of Army, *Fundamentals of Protective Design For Conventional Weapons*, Technical Manual , TM-5-855-1, November 1986.
9. G. F. Kinney and K. J. Garaham, *Explosive Shocks in Air*, Springer, New York, 1985.
10. Dpartment of Defense, *Unified Facilities Criteria, Structures To Resist The Effects Of Accidental Explosions*, UFC 3-340-02, December 2008.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

تازه ترین

بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

PROPOSAL
پروپوزال

تازه ترین

پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

تازه ترین

آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو