فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال هشتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، (پیاپی ۳۱): صص ۲۱-۱۳

ارزیابی تأثیر تناسب پنجره‌ها بر مقاومت آن‌ها در برابر انفجار

نوشین پیش‌کار[۱]، حجت‌اله رشید کلویر*[۲]، سعید عبدالهی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۴

چکیده

با توجه به اهمیت ویژه پنجره‌ها در زمان انفجار در ساختمان، طراحی صحیح آن‌ها با رعایت تمام استانداردهای فنی و امنیتی به‌ویژه معیارهای پدافند غیرعامل در هنگام طراحی ساختمان امری حیاتی است. از آن‌جایی‌که شیشه پنجره‌ها از مقاومت نسبتاً کمی در برابر انفجار برخوردار بوده‌اند و در زمان انفجار متلاشی و خرده‌های آن به اطراف پرتاب می‌شوند خود مسئول بخش عمده‌ای از تلفات سوانح بمب‌گذاری می‌باشند. از این‌رو، در طرح ارائه شده، تأثیر تناسب در رفتار مقاومت پنجره‌ها در برابر انفجار مورد ارزیابی قرار گرفته است و با بررسی‌های مختلف به یک مدل جامع در این خصوص رسیده است. در روش ارائه‌شده، چهار نوع پنجره با مساحت های یکسان و با تناسب‌های متفاوت طراحی شده است که با روش شبیه‌سازی با نرم‌افزار اجزاء محدود نمونه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که پنجره‌های با تناسب کشیده از عملکرد بهتری در برابر انفجار برخوردارند، این موضوع می‌تواند به مهندسان برای انتخاب موثرترین روش ساخت، بهسازی برای مقاوم‌سازی و عملکرد بهتر تناسب پنجره در انفجار در آینده کمک کند.

کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، انفجار، پنجره، تناسب

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استادیار، دانشگاه محقق اردبیلی، (phd_rashid@yahoo.com)- نویسنده مسئول
۳- کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی

۱- مقدمه

حملات انتحاری و انواع بمب‌گذاری‌ها ازجمله اقدامات تروریستی رایج می‌باشد. با رشد روزافزون تروریسم، این‌گونه حملات نیز افزایش یافته است. بنابراین، اندیشیدن تمهیدات امنیتی در طراحی بناهای مختلف جهت تقلیل خسارات ناشی از این حملات ضروری می‌باشد.

نگاهی به تاریخ پنج هزار سالهٔ تمدن بشری که فقط چند سال آن بدون جنگ بوده است[۱] و تجربه دو دهه اخیر، نشان می‌دهد که روش دشمن برپایه تهاجم شدید هوایی در ماه اول است و درصورتی‌که روحیه دفاعی ملت پس از دو هفته ادامه یابد، بمباران افراد غیرنظامی آغاز می‌شود در این میان، ساختمان‌های موجود در شهرها به طرق مختلف مورد آسیب ناشی از حملات قرار می‌گیرند که اکثراً با عنوان خطای نظامی و یا بهانه‌های دیگر بر این کار سرپوش گذاشته می‌شود. اصابت و امواج انفجار ناشی از این بمباران‌ها باعث آسیب‌دیدن ساختمان‌ها و افزایش تلفات انسانی می‌گردد [۲]. تاکنون روش‌های بسیاری جهت مقابله با این‌گونه حملات ارائه شده است. یکی از کارآمدترین راه ها، ایجاد فاصله میان بنای اصلی و خیابان‌ها اطراف با استفاده از محوطه‌سازی می‌باشد، زیرا انرژی حاصل از انفجار با مکعب فاصله از منبع انفجار نسبت عکس داشته و به سرعت کاهش می‌یابد. در برخی از مناطق شهری، به‌علت کمبود زمین به‌کارگیری این روش میسر نیست. در چنین شرایطی، طراحی تمامی جزئیات ساختمان از اهمیت بسیار بسیاری برخوردار است و طراحی آن‌ها باید به‌نحوی صورت پذیرد که تا حدودی در برابر امواج حاصل از انفجار مقاومت کافی داشته باشند [۳]. با توجه به این موضوع که مقاومت یک ساختمان در برابر موج انفجار بستگی به شکل و فرم ساختمان و بام، تعداد دریچه ها و بازشوها و قدرت و جنس مصالح به‌کاررفته در ساختمان دارد. در نتیجه مطالعه و ارزیابی نوع بازشوهای ساختمان در برابر پیامدهای ناشی از انفجار اهمیت می‌یابد. پنجره‌ها ازجمله آسیب‌پذیرترین قسمت‌های نمای یک ساختمان می‌باشد. چرا که در اثر انفجار، قسمت شیشه‌ای آن‌ها خرد و به اطراف پراکنده می‌شوند و خود خسارات جانی قابل توجهی را سبب می‌شوند. بنابراین طراحی این پنجره‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. رفتار بازشو در برابر انفجارهای داخلی و انفجار خارج از ساختمان متفاوت است به‌گونه‌ای که در حالت اول بازشو باید طوری باشد که به‌راحتی امواج انفجار را تخلیه نماید و در حالت دوم باید از ورود امواج انفجار به‌داخل ساختمان جلوگیری نماید [۴]. در این پژوهش، تمرکز تنها بر روی انفجارهای خارج از ساختمان بوده و به مطالعه تاثیر تناسب بر مقاومت آن‌ها در برابر انفجار می‌پردازد.

تحقیقات بسیاری در زمینه معماری ساختمان‌های مقاوم در برابر تهدیدات طبیعی و انسان ساخت انجام گرفته است، در استاندارد FEMA-426، بر اهمیت طراحی پنجره برای کاهش تلفات ناشی از انفجار بسیار تأکید شده است [۵]. در این زمینه، پژوهش‌های اندکی صورت پذیرفته است که ازجمله آن‌ها می‌توان به مطالعات کروفورد[1] و همکاران اشاره کرد [۴]. مطالعات کوفورد با هدف ارائه راه‌کارهایی جهت مقاوم‌سازی بازشوها، دیوارهای آجری و ستون‌های ساختمان در برابر انفجار انجام شده است. در سال ۲۰۱۰، نوربرت گبکن و تورستن دج[2] تحقیقاتی روی هندسه سازه‌های مقاوم در برابر انفجار انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که اساساً بیشینه فشار و تکانه به فاصله از محل انفجار و زاویه تداخل امواج انفجار و مقاومت در برابر امواج منتشرشده در سازه بستگی دارد و شکل اجزای سازه می‌تواند بارهای ناشی از انفجار را کاهش دهد [۶]. از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه، می‌توان به پژوهش‌های براکت و هترینگتون[3] اشاره کرد. آن‌ها روی تاثیر فرم سازه بر مقاومت آن‌ها در برابر انفجار کار کردند و انفجار را روی فرم‌های گوناگون مکعبی، استوانه‌ای، نیمه مکعبی و منشوری آزمایش کردند و به این نتیجه رسیدند که علاوه‌بر اجزای سازه‌ای ساختمان، فرم معماری آن نیز تأثیر زیادی بر اثرات ناشی از انفجار دارد. هدف این پژوهش، تعیین تأثیر تناسب پنجره‌ها بر رفتار مقاومتی آن‌ها در برابر انفجار است. بنابراین، جنبه نوآوری این تحقیق ناشی از مطالعه بر روی پنجره‌ها و استخراج و وزن‌دهی به شاخص‌های مورد نیاز است. در ادامه، روش تحقیق توضیح داده شده و مدل‌سازی و نتایج آن ارائه می شود.

۲- روش تحقیق، ارزیابی و تحلیل نتایج

در این پژوهش، جهت ارزیابی تأثیر تناسب پنجره بر روی مقاومت آن‌ها در برابر انفجار، از روش شبیه‌سازی استفاده شده است و جدول (۱) مراحل انجام شده را نشان می دهد. برای این کار، چهار پنجره با مساحت یکسان و تناسب‌های متفاوت درنظر گرفته شده است. سپس با بهره‌گیری از نرم‌افزار اجزاء محدود به ارزیابی رفتار هر یک از نمونه‌ها در برابر انفجار پرداخته شده است.

جدول (۱): تصویر شماتیک از نحوه اجرای تحلیل پروژه

گام اول	تعیین مشخصات ارزیابی پنجره
گام دوم	ایجاد مدل‌های اولیه از شاخص‌ها و ابعاد مدل‌ها
گام سوم	مدل‌سازی نوع انفجار و بارهای آن
گام چهارم	تحلیل مدل‌ها
گام پنجم	تعیین میزان سازگاری هر مدل ارائه‌شده

1- Crowford
2- Norbert Gebbeken and Torsten Doge
3- M. Barakat and J.G. Hetherington

۳- روش شبیه‌سازی با نرم‌افزار اجزاء محدود

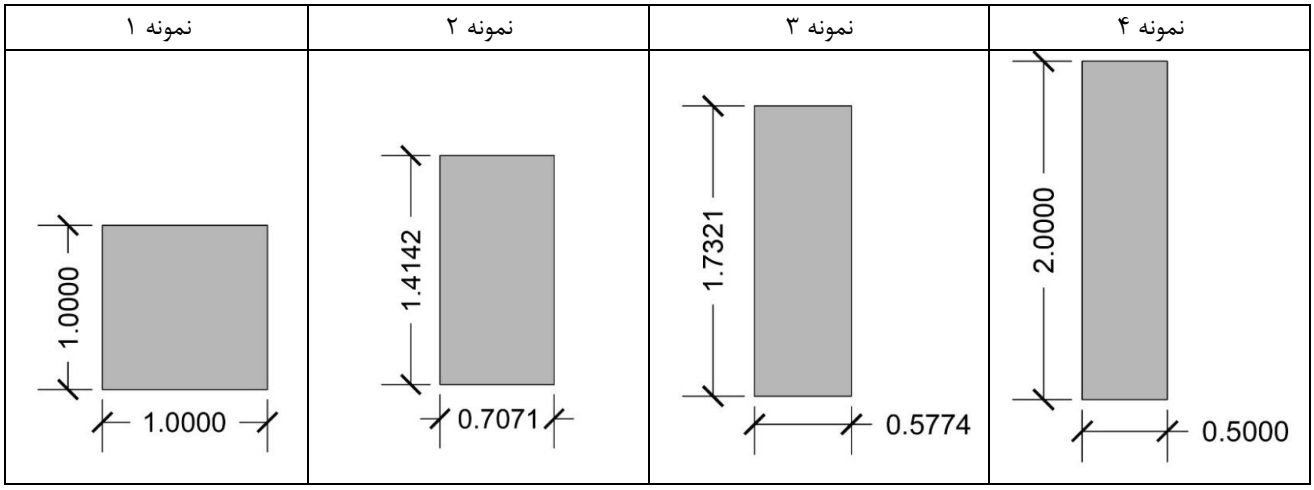
تحقیق شبیه‌سازی، حاصل توجه انسان به تکرارپذیری واقعیت‌های جهان است. تحقیق شبیه‌سازی، داده‌ها و احکامی را تولید می‌کند که در متن زندگی روزمره کاربرد دارد. یکی از کاربردهای شبیه‌سازی، تحقیق در شرایط خطرناک بدون درخطر انداختن انسان است. به‌طور مثال، شبیه‌سازی رفتار ساختمان‌ها در برابر حوادثی مانند، زلزله، طوفان و یا انفجار [۶]. با توجه به هزینه بالا ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی، مدل‌های اجزاء محدود مناسب‌ترین راه برای بررسی رفتار انفجاری ساختمان‌ها می باشد. در این بخش به بیان مشخصات نمونه‌های اجزاء محدود، نحوه مدل‌سازی نمونه‌ها، مشخصات مصالح، بارگذاری و تحلیل مدل‌ها پرداخته می‌شود.

۴- مشخصات نمونه‌های اجزای محدود

جهت ارزیابی تأثیر تناسب پنجره بر مقاومت آن‌ها در برابر انفجار، چهار مدل پنجره طراحی شده که مساحت این پنجره‌ها با هم برابر بوده و تناسب‌های آن‌ها با هم متفاوت است. ویژگی‌های هر یک از نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) و شکل (۱) نشان داده می‌شود.

جدول (۲): مشخصات نمونه‌های اجزاء محدود

نمونه	نسبت عرض به طول	عرض (m)	طول (m)	مساحت (m^2)
نمونه ۱	۱ به ۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
نمونه ۲	۱ به ۲	۰/۷۰۷۱۰۷	۱/۴۱۴۲۱۴	۱/۰۰
نمونه ۳	۱ به ۳	۰/۵۷۷۳۵	۱/۷۳۲۰۵۱	۱/۰۰
نمونه ۴	۱ به ۴	۰/۵	۲/۰۰	۱/۰۰



شکل (۱): شکل هندسی نمونه های اجزاء محدود

۵- نحوه مدل‌سازی نمونه‌ها

در این بخش به بیان مشخصات نمونه‌های اجزاء محدود، نحوه مدل‌سازی نمونه‌ها، مشخصات مصالح، بارگذاری و تحلیل مدل‌ها پرداخته می‌شود.

۵-۱- مشخصات مصالح

مصالحی که برای تمام نمونه‌ها درنظر گفته شده است، شیشه لمینیت می‌باشد. شیشه لمینیت شده، از چند لایه شیشه‌ای تشکیل می‌شود که بین این لایه‌ها، نوعی مصالح قابل انعطاف که معمولاً از جنس پلی وینیل بوتیرال [1] ساخته شده است، قرار می‌گیرد. ترکیب این لایه‌های چسباننده میانی با لایه‌های شیشه، سطح مقطعی را ایجاد می‌کند که در برابر انفجار و حملات بالیستیک عملکرد خوبی دارند [۵]. این لایه چسباننده میانی، خرده‌های شیشه ناشی از شکست شیشه را نگه می‌دارد و مانع از پرتاب‌شدن آن‌ها می‌شود و از شیشه‌های معمولی ایمن‌تر می‌باشند.

برای مدل‌سازی شیشه لمینیت‌شده از عنصر shell استفاده شده است. عنصر shell، خمش و تغییر شکل‌های صفحه‌ای را برای سازه‌هایی که یکی از ابعاد آن بسیار کوچک‌تر از سایر ابعاد می‌باشد، نشان می‌دهد. برای شبیه‌سازی، رفتار شیشه در نرم‌افزار اجزاء محدود از S4R shell استفاده شده است. رفتار سطح مقطع اجزاء shell با استفاده از مشخصات مصالح هر لایه و ضخامت آن تعریف شده است. مشخصات هر یک از لایه‌ها در جداول (۳-۴) نشان داده شده است.

برای تسهیل فرآیند مدل‌سازی این نمونه‌ها، رفتار شیشه لمینیت‌شده در برابر انفجار از دو مدل مجزا استفاده شد. یک مدل برای توصیف رفتار شیشه لمینیت‌شده پیش از گسیختگی شیشه و

1- Polyvinyl Butyral

یک مدل برای توضیح رفتار شیشه لمینیت‌شده پس از گسیختگی شیشه ساخته شده است. برای مشخص‌کردن زمان گسیختگی و تعویض بین دو مدل، از بیشینه تنش مجاز شیشه استفاده شده است. در واقع، زمانی‌که بیشینه تنش بیش از ۸۰ MPa مشاهده می‌شود [۶]، فرض می‌شود که شیشه ترک‌خورده است و مدل پیش از گسیختگی متوقف می‌شود و اطلاعات مربوط به سرعت، موقعیت و کرنش هر یک از اجزاء ذخیره می‌شود و سپس به‌عنوان حالت اولیه به مدل پس از گسیختگی وارد می‌شود.

در مدل پس از گسیختگی شیشه، با توجه به این‌که شیشه گسیخته شده است، مدول الاستیسیته برای لایه‌های شیشه درنظر گرفته نشد. نحوه اتصال شیشه در نمونه‌های مدل‌سازی‌شده از چهار طرف به‌صورت گیردار در نظر گرفته شده است. طوری که از هر گونه جابه جایی محوری و دورانی در همه جهات جلوگیری به عمل آورد.

جدول (۳): مشخصات فیزیکی لایه‌ها برای مدل پیش از گسیختگی[۶]

مصالح	ضخامت لایه (mm)	چگالی (kg/m^3)	مدول یانگ (GPa)	ضریب پواسون
شیشه	۳	۲۵۳۰	۷۲	۰/۲۲
پلی وینیل بوتیرال (PVB)	۱/۵۲	۱۱۰۰	۰/۵۳	۰/۴۸۵
شیشه	۳	۲۵۳۰	۷۲	۰/۲۲

جدول (۴): مشخصات فیزیکی لایه‌ها برای مدل پس از گسیختگی [۶]

مصالح	ضخامت لایه (mm)	چگالی (kg/m3)	مدول یانگ (GPa)	ضریب پواسون
شیشه	۳	۲۵۳۰	۰	۰/۲۲
پلی وینیل بوتیرال (PVB)	۱/۵۲	۱۱۰۰	۰/۵۳	۰/۴۸۵
شیشه	۳	۲۵۳۰	۰	۰/۲۲

۵-۲- مدل‌سازی انفجار

جهت مدل‌سازی شرایط انفجار در نمونه‌های اجزاء محدود، در بخش Interaction نرم‌افزار Incident wave استفاده شده است. مشخصات این موج‌ها به‌صورت انفجار در هوا [1] تعریف شده است. هر یک از نمونه‌ها در برابر دو موج انفجار مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در هر دو انفجار، مواد منفجره از نوع TNT و وزن آن برابر ۱۰ kg درنظر گرفته شده است. فاصله مرکز انفجار تا مرکز سطح نمونه‌ها در انفجار اول برابر ۱۰ m می‌باشد و در انفجار دوم کانون انفجار در فاصله ۱۵ متری از مرکز سطح نمونه‌ها قرار گرفته است.

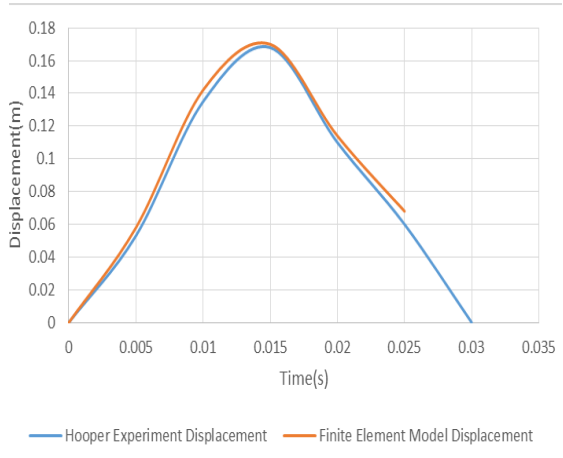
1- Air Blast

۶- اعتبارسنجی روش مدل‌سازی

جهت اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار اجزاء محدود، از روشی که هوپر[2] [۶] برای شبیه‌سازی رفتار شیشه لمینیت‌شده استفاده کرده است، بهره‌گیری شده است. هوپر جهت اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی خود، یک سری آزمایش انجام داده است و نتایج حاصل از آزمایش‌ها را با نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار اجزاء مقایسه کرده است.

نمونه هوپر عبارت است از یک صفحه شیشه‌ای لمینیت‌شده به ابعاد ۱/۵ m × ۱/۲ که از دو لایه شیشه فلوت به ضخامت ۳ mm و یک لایه میانی پلی وینیل بوتیرال به ضخامت ۱/۵۲ mm تشکیل شده است. در آزمایش انجام‌شده توسط هوپر، یک اطاقک فلزی با طول، عرض و ارتفاع ۳ m ساخته شد که روی یک وجه آن دو نمونه دقیقاً یکسان در کنار هم قرار گرفت. یکی از این دو نمونه به‌طور کامل توسط وسایل اندازه‌گیری تجهیز شده است ولی نمونه دیگر صرفاً جهت دست‌یابی به یک سیستم قرینه روی اطاقک نصب شده است. نحوه اتصال شیشه‌ها به اتاقک از نوع گیردار می‌باشد. برای انجام آزمایش، ۱۵ kg ماده انفجاری TNT در فاصله ۱۳ متری از اطاقک فلزی منفجر شده است. در این آزمایش، ماده منفجره دقیقاً درمقابل نقطه مرکزی اطاقک و در ارتفاع ۱/۵ m از سطح زمین که مرکز شیشه می‌باشد، قرار گرفته است.

هم‌چنین در این پژوهش، جهت اعتبارسنجی یکی از نمونه‌های هوپر شبیه‌سازی شد و نتایج به‌دست‌آمده با اعداد حاصل از آزمایش‌های هوپر مقایسه شد. این مقایسه‌ها حاکی از قابل اعتمادبودن نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌باشد. شکل (۲) نشان‌دهنده مقایسه بین نمونه شبیه سازی شده و نمونه هوپر است.



شکل (۲): مقایسه میزان نتایج مربوط به جابه‌جایی در مرکز نمونه در آزمایش هوپر و مدل اجزاء محدود شبیه‌سازی‌شده

2- Hooper

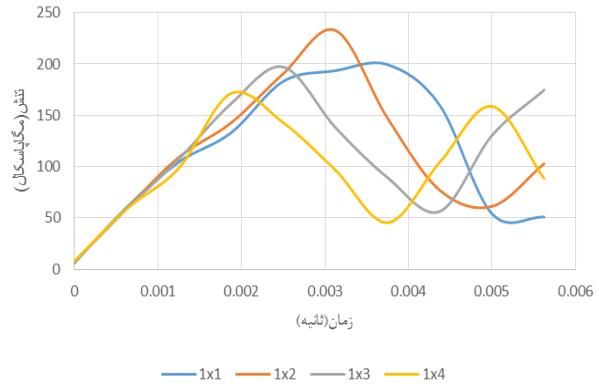
۶- بررسی نتایج شبیه‌سازی اجزاء محدود

به جهت این‌که امکان مقایسه بین نتایج حاصل از نمونه‌ها میسر شود، موقعیت مرکز انفجار نسبت به پنجره‌ها یکسان درنظر گرفته شده است، به‌طوری‌که در هر نمونه، مرکز انفجار روی مرکز صفحه پنجره و با فاصله یکسان می‌باشد. نکته‌ای که در این آزمایش‌ها درنظر گرفته شد، جهت نصب پنجره‌ها بود. این پنجره‌ها به‌صورت عمودی مورد آزمایش قرار گرفتند، به‌گونه‌ای که ضلع بزرگ‌تر به‌صورت عمودی قرار گیرد. این امر خود باعث کاهش تلفات ناشی از شکست شیشه می‌شود. چرا که محدوده کم‌تری از فضا در معرض خطر اصابت خرده‌های شیشه قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از بررسی‌های صورت گرفته، نشان می‌دهد که از منظر جذب انرژی حاصل از انفجار بین دو گزینه ذکرشده تفاوت چندانی وجود ندارد، اما از نظر درگیرنمودن سطح بیش‌تری از فضای داخلی در برابر ترکش و امواج انفجار، حالت بازشو عمودی سازگارتر از بازشو در حالت افقی است.

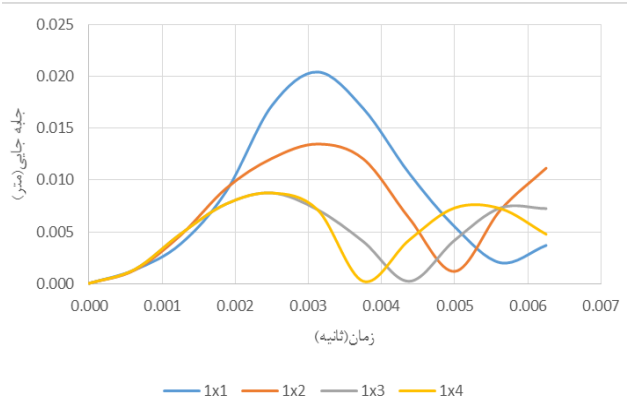
جدول (۵): نحوه قرارگیری بازشوها در سطح دیوار [۵]

قرارگیری بازشو به‌طور عمودی	قرارگیری بازشو به‌طور افقی
سازگار	ناسازگار

جهت بررسی نتایج مدل‌های اجزاء محدود در انفجار اول (فاصله ۱۰ متری)، نمودار تنش بیشینه به زمان (شکل ۳) و هم‌چنین جابه‌جایی به زمان (شکل ۴) در نقطه مرکزی پنجره‌ها رسم گردید.



شکل (۳): نمودار تنش بیشینه به زمان پس از رسیدن موج انفجار اول به نمونه‌ها

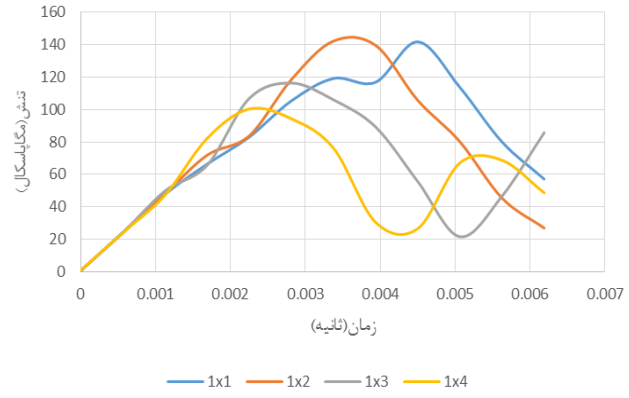


شکل (۴): نمودار جابه‌جایی به زمان پس از رسیدن موج انفجار اول به نمونه‌ها

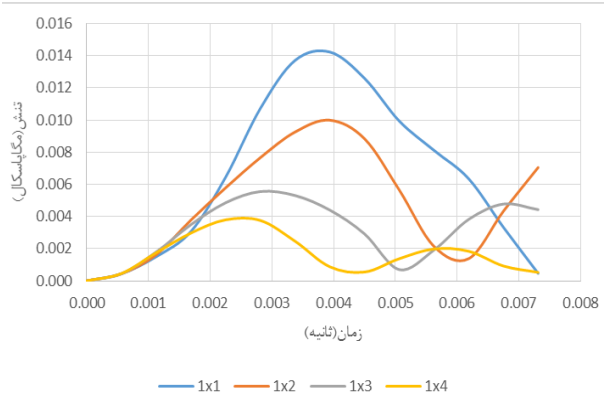
نتایج حاصل از شبیه‌سازی در انفجار اول، نشان می‌دهند که در ۰/۰۰۳ s ابتدایی پس از انفجار بیشترین تنش با مقدار ۲۳۲/۸ مگاپاسکال در نمونه ۲ با تناسب ۱ در ۲ رخ می‌دهد. هم‌چنین بیشینه جابه‌جایی با مقدار ۲ cm نیز در نمونه ۱ اتفاق می‌افتد. این امر نشان می‌دهد که بازشوهای با این تناسب عملکرد ضعیفی در برابر انفجار دارند.

کم‌ترین تنش ایجادشده با مقدار ۱۷۱/۴ مگاپاسکال، در ۰/۰۰۱ ثانیه ابتدایی، در نمونه ۴ مشاهده شد و کمترین میزان جابه‌جایی با مقدار ۰/۸۷۵ cm مربوط به نمونه ۴ می‌باشد. بنابراین، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که نمونه ۴ بهترین عملکرد را در برابر انفجار از خود نشان می‌دهد.

جهت بررسی نتایج مدل‌های اجزاء محدود در انفجار دوم (فاصله ۱۵ متری)، نمودار تنش بیشینه به زمان (شکل ۵) و هم‌چنین جابه‌جایی به زمان (شکل ۶) در نقطه مرکزی پنجره‌ها رسم گردید.



شکل (۵): نمودار تنش بیشینه به زمان پس از رسیدن موج انفجار دوم به نمونه‌ها



شکل (۶): نمودار جابه‌جایی به زمان پس از رسیدن موج انفجار دوم به نمونه‌ها

در انفجار دوم، با توجه به این‌که فاصله کانون انفجار تا نمونه‌ها افزایش یافته است، تنش و جابه‌جایی در تمامی نمونه‌ها نسبت به انفجار اول کاهش یافته است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در انفجار دوم، نشان می‌دهند که در ۰/۰۰۴ s ابتدایی پس از انفجار، بیش‌ترین تنش با مقدار ۱۴۱/۸ MPa در نمونه ۱ با تناسب ۱ در ۱ رخ می‌دهد. هم‌چنین بیشینه جابه‌جایی با مقدار ۱/۴ cm در نمونه ۱ اتفاق می‌افتد. این امر نشان می‌دهد که بازشوهایی با این تناسب، عملکرد ضعیفی در برابر انفجار دارند.

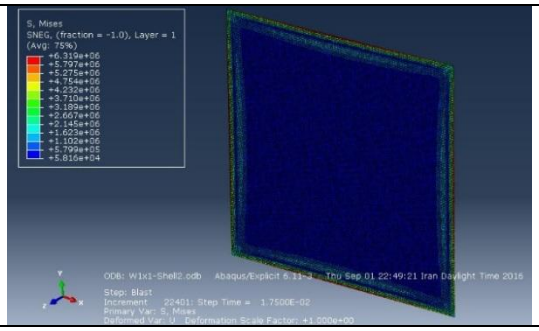
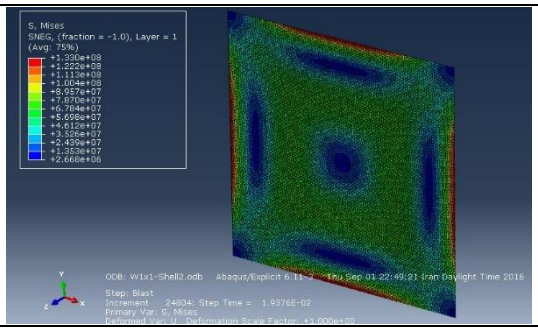
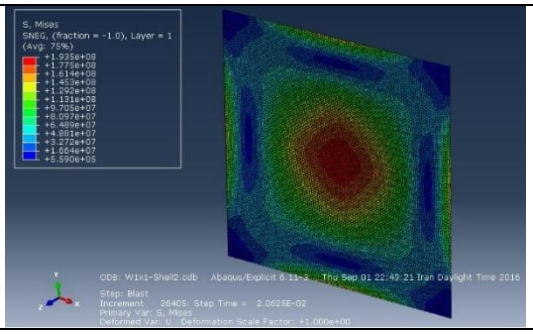
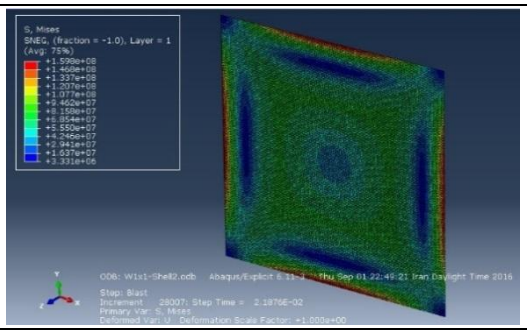
کم‌ترین تنش ایجادشده با مقدار ۱۰۰/ ۴ MPa ، در ۰/۰۰۲ s ابتدایی، در نمونه ۴ مشاهده شد و کم‌ترین میزان جابه‌جایی با مقدار ۰/۴ cm مربوط به نمونه ۴ می‌باشد. بنابراین، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که نمونه ۴ بهترین عملکرد را در برابر انفجار از خود نشان می دهد. جدول (۶) نشانگر رتبه‌بندی نمونه‌ها از لحاظ مقاومت در برابر انفجار می‌باشد.

جدول (۶): رتبه‌بندی نمونه‌ها براساس عملکرد در برابر انفجار

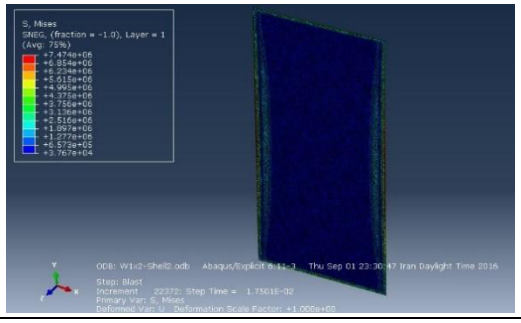
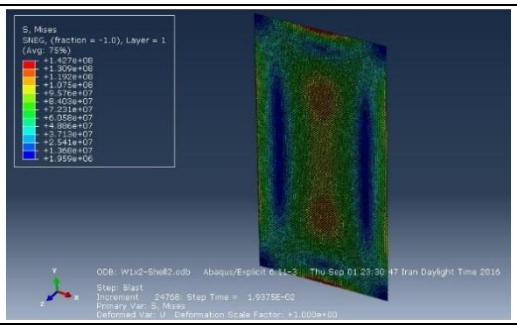
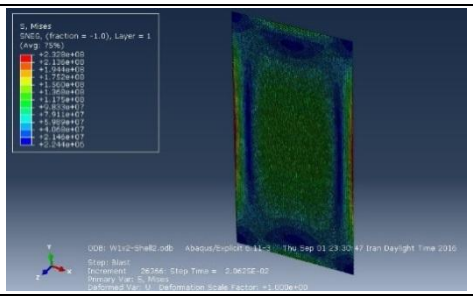
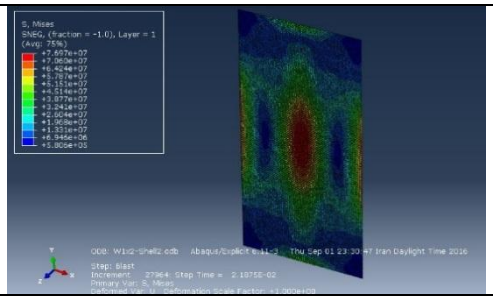
عنوان مدل	بیشینه تنش (MPa)	بیشینه جابه‌جایی (m)	رتبه‌بندی مدل‌ها
نمونه ۱	۲۷۵/۲	۰/۱۱۰۳۱	۴
نمونه ۲	۲۶۷/۱	۰/۰۸۵۷۵	۳
نمونه ۳	۱۹۶/۵	۰/۰۶۱۴	۲
نمونه ۴	۱۷۴/۹	۰/۰۴۷۶۱	۱

مقایسه نحوه توزیع تنش (جداول ۱۰-۷) در طول زمان نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌ها بیشینه تنش از کناره‌ها به سمت مرکز پنجره افزایش می‌یابد. هم‌چنین، دیده می‌شود که با افزایش کشیدگی در نمونه مورد آزمایش، تغییراتی در توزیع تنش ایجاد می‌شود. اولین تغییر که قابل مشاهده است، انتقال تمرکز تنش از مرکز پنجره در نمونه ۱ به دو طرف پنجره می‌باشد. دومین تغییر کاهش میزان تنش، در نمونه‌های کشیده است. به گونه‌ای که قسمتی از نمونه ۴ که دارای تنش بیشینه است، در برابر نمونه ۱ بسیار اندک می‌باشد.

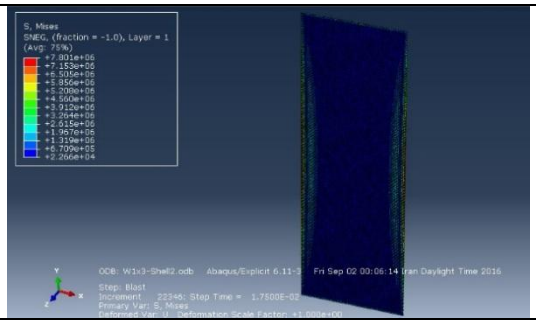
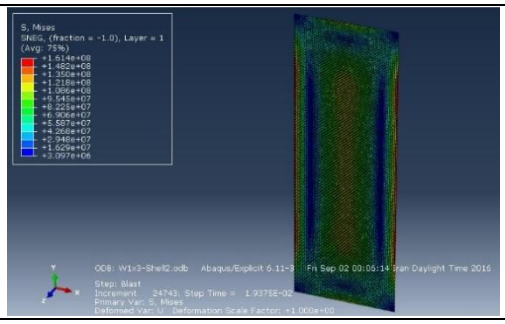
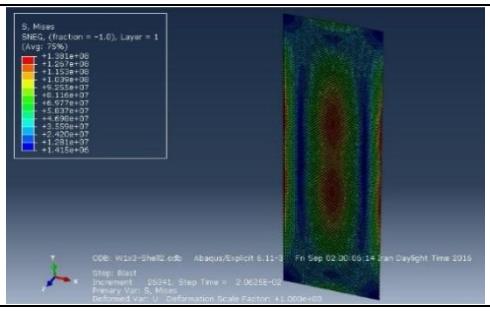
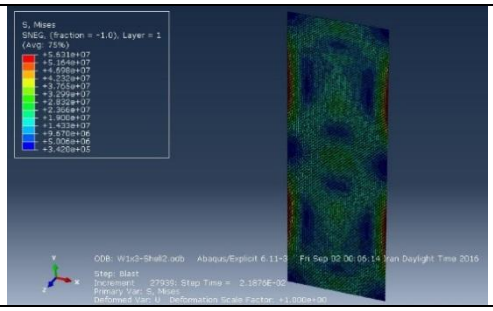
جدول (۷): نحوه توزیع تنش در نمونه ۱

نمونه/زمان	۰/۰۰۳ ثانیه	۰/۰۰۴ ثانیه
نمونه ۱		
	۰/۰۰۵ ثانیه	۰/۰۰۶ ثانیه
		

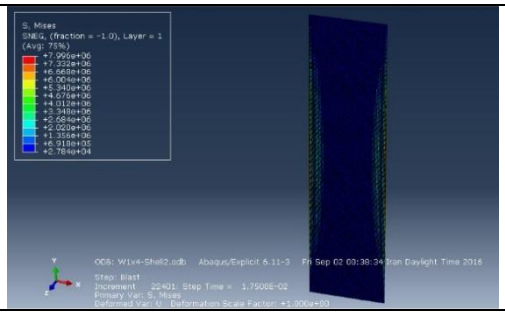
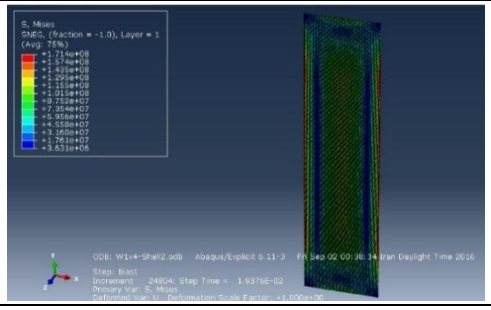
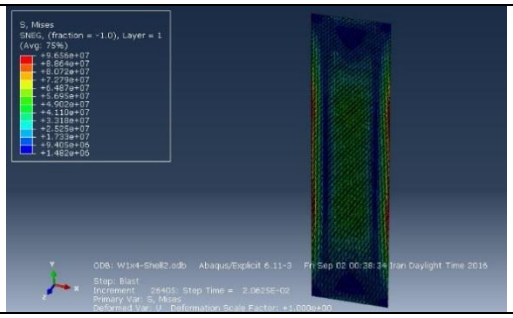
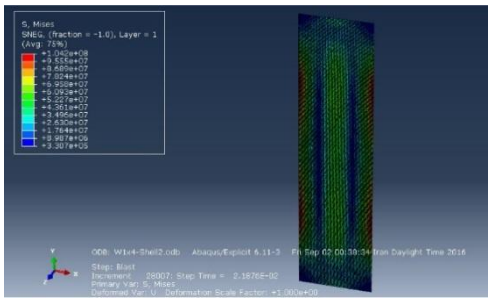
جدول (۸): نحوه توزیع تنش در نمونه ۲

نمونه/زمان	۰/۰۰۳ ثانیه	۰/۰۰۴ ثانیه
نمونه ۲		
	۰/۰۰۵ ثانیه	۰/۰۰۶ ثانیه
		

جدول (۹): نحوه توزیع تنش در نمونه ۳

نمونه/زمان	۰/۰۰۳ ثانیه	۰/۰۰۴ ثانیه
نمونه ۳		
	۰/۰۰۵ ثانیه	۰/۰۰۶ ثانیه
		

جدول (۱۰): نحوه توزیع تنش در نمونه ۴

نمونه/زمان	۰/۰۰۳ ثانیه	۰/۰۰۴ ثانیه
نمونه ۴		
	۰/۰۰۵ ثانیه	۰/۰۰۶ ثانیه
		

براساس نتایج به‌دست‌آمده، تناسب تأثیر بسیار زیادی در مقاومت پنجره‌ها در برابر انفجار دارد و تناسب‌های کشیده از عملکرد بهتری برخوردار هستند. هرچه تناسب کشیده‌تر باشد، میزان تغییر شکل و نیز بیشینه تنش موجود در شیشه پنجره کاهش می‌یابد و بدین ترتیب، خطر شکستن کاهش می‌یابد و درصورت شکستن، با شدت کم‌تری به اطراف پراکنده می‌شود و به تبع آن، از میزان تلفات کاسته می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

یکی از راه‌های جلوگیری از ایجاد تلفات در برابر انواع تهدیدات انسان‌ساز و یا طبیعی، به‌کارگیری اصول پدافند غیرعامل می‌باشد. ازجمله تهدیدات بناها، خطر تروریسم می‌باشد. همان‌گونه که اشاره شد، طراحی شکل و ابعاد پنجره‌های ساختمان، یکی از وظایف معماران است که امروزه با توجه به گسترش تهدیدات، از اهمیت بسیاری برخوردار است؛ زیرا تأثیر به‌سزایی در کاهش ورود امواج انفجار به‌داخل ساختمان داشته و به‌صورت قابل ملاحظه‌ای می‌تواند تلفات انسانی را کاهش دهد. با توجه به تحقیقات گذشته می‌توان به این نتیجه رسید که در طراحی معماری با رویکرد پدافند غیرعامل، بیش‌تر تمرکز بر روی فرم‌های پایه و تأثیر انفجار بر آن‌ها بوده و نقش بازشوها کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو، در پژوهش حاضر تأثیر تناسب پنجره‌ها، که یکی از آسیب‌پذیرترین قسمت‌های ساختمان است، بر مقاومت آن‌ها در برابر انفجار بررسی شد. برای این‌کار، از شبیه‌سازی چهار نمونه پنجره با تناسب‌های متفاوت و با مساحت یکسان در نرم‌افزار اجزاء محدود استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد پنجره با تناسب ۱ به ۴ و با ابعاد ۰/۵×۲ m بهترین عملکرد را در برابر انفجار دارد. چرا که این نمونه حائز کم‌ترین مقدار بیشینه تنش به میزان ۱۷۴/۹ مگاپاسکال و کم‌ترین میزان بیشینه جابه‌جایی به مقدار ۴/۷۶ cm می‌باشد. پنجره با تناسب ۱ به ۱ و با ابعاد ۱ m ×۱ m عملکرد مناسبی در برابر انفجار ندارد و بیش‌ترین بیشینه تنش و بیشینه جابه‌جایی با مقادیر ۲۷۵/۲ مگاپاسکال و ۱۱/۰۳ cm در این نمونه رخ می‌دهد. به‌طورکلی، پنجره‌هایی با تناسب‌های کشیده‌تر عملکرد بهتری در برابر انفجار از خود نشان می‌دهند و پنجره‌هایی که به تناسب‌های مربع نزدیک هستند از عملکرد مناسبی در برابر انفجار برخوردار نیستند. در پنجره‌های با تناسب‌های کشیده حداکثر تنش در پنجره کاهش می‌یابد و این به معنی دیرتر گسیخته‌شدن پنجره و کاهش تلفات می‌باشد. با رعایت این نکته در جزئیات طراحی، به‌خصوص برای بناهای حساس، می‌توان از بروز صدمه‌های جبران‌ناپذیر جلوگیری و یا از شدت آن‌ها کاست.

۸- مراجع

۱. موحدی نیا، جعفر، اصول و مبـانی پدافنـد غیرعامـل، دانشـگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ۱۳۸۶.

۲. اصغریان جدی، احمد، الزامات معمارانه در دفاع غیرعامل پایدار، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۳۸۶.

۳. رشید کلویر، حجت اله، پیش کار، نوشین، ساختمان های ضـد انفجار، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳۹۰.

۴. پوری رحیم، علی اکبر، بیطرفان، مهدی، لعل عـارفی، شـاهین، بررسی نمای ساختمان و را ههای مقاوم سازی آن در برابر امواج انفجار، مجموعه مقالات نهمین کنگـره بـی المللـی مهندسـی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۱.

۵. حسینی، سید بهشید، بیطرفان، مهـدی، حسـینی، سـید بـاقر، هاشمی فشارکی، سید جواد، ارزیابی بازشوی همساز با معماری پدافند غیر عامل با بهره گیری از روش تحلیل سلسله مراتبـی، فصلنامه دانشگاه هنر، شماره ۱۱، ۱۳۹۱.

6. P. A. Hooper, R. A. M. Sukhram, B. R. K. Blackman, and J. P. Dear, “On the blast resistance of laminated glass,” International Journal of Solids and Structures, vol. 49, 2012.

7. H. Arora, P. A. Hooper, and J. P. Dear, “Dynamic response of full-scale sandwich composite structure subject to air blast loading,” Composites: Part A, vol. 42, 2011.

8. N. Gebbeken and T. Dge, “Explosion protection, Architectural design, urban planning and landscape planning,” International Journal of Protective Structures, vol. 1, no. 1, 2010.

9. FEMA 426, “Reference Manual to Mitigate Terrorist Attacks Against Buildings,” December 2003.

Evaluation of the Impact of the Proportion of Windows on their Resistance to Explosion

N. Pishkar, H. Rashid Kolvir*, S. Abdollahi

Abstract

According to the importance of windows in the building at the time of the explosion, their proper designing in compliance with all technical and security standards, particularly the standard of passive defense in designing building is crucial. In this regard, the glass of windows has had almost less resistance against explosions confusion and at the time of explosion they collapse and debris are thrown around, that is almost the major cause of casualties of bombings. In this paper, the impact of resistance of the proportions of the windows are evaluated against explosions and then by examining different models, one perfect model has been designed. To this end, the proposed method has designed four types of window with the same area and different proportions that has been tested with ABAQUS. Results showed that the stretched proportions of the windows have better performance against explosion. This can help engineers to select the most effective method of constructing, retrofitting and upgrading for better performance of proportion of windows in an explosion in the future.

Key Words: *Passive Defense, Explosion, Window, Proportion*

* University of Mohaghegh Ardabili - (phd_rashid@yahoo.com) - Writer-in-Charge