ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۴/۱۵

مروری بر اثرات نیرو های دینامیکی شدید بر در های ایمنی

علی اکبر تجلی مهر[۱]، محمدعلی رمضان پور[۲]

۱- کارشناسی ارشد، دپارتمان مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن

aliakbar.tajallimehr@gmail.com

چکیده

محافظت از ساختمان‌های مهم در مقابل انفجار به یکی از الزامات امنیتی در مقابل حملات تروریستی، بمب‌گذاری‌ها، سرقت‌ها و غیره تبدیل شده است. بکارگیری درب‌های ضد انفجار اولین گام در جهت تامین این ایمن سازی می‌باشد. این درب‌ها تاثیر به‌سزایی در جلوگیری از ورود موج انفجار به داخل ساختمان دارد. رفتار مکانیکی و مقاومت این درب به عواملی از جمله نیروی انفجار، روش ساخت، آرایش سخت‌کننده‌ها، جنس درب، لایه‌های آن و ... دارد. در این تحقیق به مروری از پژوهش های انجام گرفته پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: درب ضد انفجار، سخت‌کننده، انفجار، مقاومت

۱- مقدمه

حفاظت از ساختمان‌ها و مکان‌های مهم در مقابل انفجار امری مهم و حائز اهمیت است. ساختمان‌های مهم کشور از قبیل مراکزی که در آنها اسناد و مدارک ملی نگه داری می‌شود، بانک‌ها، نیروگاه‌های برق، ترمینال‌های مسافربری، تاسیسات نظامی، پالایشگاه‌ها، مراکز صنعتی و درب فضانوردها نیاز به حفاظت بیشتر دارند تا خسارت جبران‌ناپذیری نداشته باشند. برای جلوگیری از خسارت باید اجزای ساختمان را به صورتی طراحی کرد تا بیشترین محافظت را از خود نشان دهند. یکی از اجزای ساختمان که باید برای محافظت طراحی کرد، درب می‌باشد. بیشترین عاملی که باعث تخریب درب‌های اماکن مهم می‌شود، انفجار می‌باشد.

شکل شماره (۱) : انهدام درب بر اثر انفجار

۲- تحقیقات و نتایج آن:

برود[1] (۱۹۵۵) در پژوهش خود اظهار داشته است که هر چه از منبع انفجار دور شویم، شعاع موج انفجار افزایش می‌یابد. اما میزان آسیب و دمای ناشی از انفجار در نقطه اولیه وقوع انفجار نسبت به نقاط دورتر بیشتر است. او همچنین توانسته است با استفاده از محاسبات عددی و فرمول‌های بدست آمده، لزجت مصنوعی گاز به وجود آمده از انفجار را شبیه سازی کند و قدرت انفجار را به دست آورد.

لوکا، پن و هاردینگب[2] (۱۹۹۸) طی یک آزمایش به مقایسه و بررسی مقاومت درب‌های سخت کننده صفحات و درب‌های فاقد سخت کننده صفحات پرداخته‌اند. پس از بررسی نتایج با کمک دو برنامه آباکوس[3] و دینا[4] مشخص گردید که درب‌هایی که در ساخت آنها از سخت کننده استفاده شده بود در برابر انفجار دارای مقاومت بیشتری می‌باشند و بدین ترتیب نقاط ضعف درب‌ها در برابر بارگذاری انفجار مشخص گردید. در نتیجه این تحقیق که با روش اجزای محدود تحلیل دینامیکی شده و نتیجه حاصله آن است که نرم‌افزار مدلسازی، رفتار صفحه بدون سخت کننده را بهتر شبیه‌سازی می‌کند و عملکرد صفحه با سخت کننده تحت بار دینامیکی بهتر از صفحه بدون سخت کننده است.

بروکل و پروستی[5] (۲۰۰۴) به انجام چندین تحقیق نظری و تجربی بر روی صفحات ترکیبی سخت کننده و غیر سخت کننده تحت بارگذاری عرضی یکسان پرداختند. آنها علاوه بر بررسی مقاومت و واکنش صفحات در طول انفجار، حالات شکست و پیشرفت آسیب به عنوان تابعی در انفجار را نیز مورد بررسی قرار دادند. اشکال مختلف درب‌ها و گرایش آنها به حالات پلاستیک از حالات ابتدایی ورود به محیط الاستیک تا شکست نهایی، از موضوعات دیگر بررسی شده در این تحقیق می‌باشد. در هر حالات به اثرهای سخت‌کننده‌ها پرداخته است. پیشبینی روش آنالیز المان محدود[6] در مورد جابه‌جایی کمتر از روش آزمایشگاهی بوده ولی دارای دقت قابل قبول است. همچنین نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که تاثیر سخت کننده‌ها در زمانی که درب به مرحله شکست می‌رسد حداقل می‌باشد.

گوئل، ماتساگار و گوپتا[7] (۲۰۱۱) در پژوهشی به بررسی پاسخ دینامیک صفحات سخت کننده در برابر انفجار هوایی پرداختند. آنان در پژوهش خود اشکال، محل و نحوه قرارگیری سخت کننده‌ها و همچنین حالات قرارگیری کشش و اثر میرایی در

[1] Brode, H.L.
[2] Louca, L.A., Pana, Y., & Hardingb, J.
[3] Abaqus
[4] DYNA3D
[5] Broekel, J., & Prusty, G.
[6] Finite element analysis
[7] Goel, M. D., Matsagar, V. & Gupta, A. K.

صفحات مورد بررسی قرار داده‌اند، بررسی آنها نشان می‌دهد که سخت کننده‌ها دارای نقش حیاتی هستند و سخت کننده‌های دایره‌ای شکل در مقایسه با سخت کننده‌های خطی مقاومت بیشتری دارند و علت این مقاومت بیشتر آن است که در سخت کننده‌ها نیرو را بهتر به تکیه گاه‌ها منتقل نمایند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که اثر میرایی در نقطه مرکزی حداکثر جابه‌جایی‌ها قابل ملاحظه است و همچنین درب با پیکربندی دایره‌ای سخت کننده‌ها در مقایسه با درب با پیکربندی مستطیلی مقدار جابه‌جایی کمتری را نشان می‌دهد. وجود سخت کننده‌ها اثر معنا داری در کاهش پاسخ جابه‌جایی درب به خصوص در مرکز حداکثر جابه‌جایی دارد.

دراگانیچ و سیگموند[1] (۲۰۱۲) در پژوهش خود به بررسی حالت‌های مختلف انفجار پرداخته و نحوه برخورد امواج انفجار را نیز توضیح داده‌اند. آنها با کمک نرم‌افزار سپ ۲۰۰۰[2] ساختمان هفت طبقه‌ای را در برابر سه مقدار مختلف انفجار قرار داده‌اند و جابه‌جایی اتصالات را بررسی نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هر قدر نیروی انفجار بیشتر باشد، مقدار جابه‌جایی اتصال بیشتر است. جهت مدیریت پس از انفجار، نیاز به تقویت و اقدامات لازم همواره به چشم می‌خورد. به طور کلی می‌توان با تصویب قوانینی در زمینه استفاده از مواد یا عناصر ضدانفجار در نمای ساختمان، آنها را در برابر انفجار تجهیز نمود تا ایمنی بیشتری به دست آید.

زینگنا ، زینمینگ، هوانجونگ و پینگ[3] (۲۰۱۲) در پژوهش خود به بررسی چهار حالت مختلف درب‌های پناهگاه‌ها پرداخته‌اند. آنها پس از شبیه‌سازی یک از حالات به وسیله برنامه ال اس-دینا[4] متوجه شده‌اند که بیشترین میزان تنش در مرکز درب قابل مشاهده است. آنها همچنین دریافتند هر قدر سخت کننده‌ها بیشتر شوند تنش کمتری به درب وارد شده و جابه‌جایی کمتر شده است. در آخر یکی از درب‌های فاقد سخت کننده با درب‌های مدل‌سازی شده مقایسه گردید تا نقش مهم سخت کننده‌ها مشخص شود. پس از بررسی‌های لازم مدل ابتدایی درب ضدانفجار طراحی گردید که در آن صفحات با ضخامت ۲۰ میلیمتری در برابر انفجار امنیت مناسبی دارد.

چین و هووا[5] (۲۰۱۲) در پژوهش خود مطالعات بسیاری انجام داده‌اند. آنها ابتدا یک درب را در برابر مقدار مشخصی از مواد منفجره با فواصل مختلف قرار داده‌اند. سپس هر سه حالت بدست آمده را با استفاده از برنامه ال اس- دینا شبیه‌سازی نموده‌اند و نتایج را با هم مقایسه کرده‌اند و پس از نمایش صحت سنجی، ۹ حالت مختلف با تعداد قوس‌ها و ضخامت‌های مختلف برای لایه قوسی شکل و لایه درونی به دست آمده که آنها را با کمک برنامه انسیس[6] و ال اس-پرپوست[7] در برابر انفجار متفاوت قرار داده و همچنین مقایسه نموده‌اند و حالت دارای بهترین پاسخ را با مواد مختلف برای ساختار درب و همچنین فواصل و مقدار نموده‌اند مواد منفجره و اثراتی که بر روی تکیه‌گاه‌ها می‌گذارند در پژوهش خود آورده‌اند و با هم مقایسه کرده‌اند. نتایج این مقاله بیان می‌کند که درب‌های با ساختار سخت‌کننده کمانی عملکرد و ظرفیت مقاومتی بهتری نسبت به سایر درب‌های ضدانفجار دارد.

آیتاویت، جادهاو، تورات و راماوات[8] (۲۰۱۳) در پژوهش خود در دو صورت محاسباتی و مدل سازی با استفاده از نرم‌افزار انسیس، به بررسی یک صفحه فلزی در برابر یک انفجار پرداخته‌اند سپس نتایج هر دو روش را با هم مقایسه کرده‌اند. قابل ذکر است که نتایج با یکدیگر اختلاف ناچیز دارند. در میان دو راه حل ارائه شده در این مقاله مدلسازی عددی نتایج خوبی را ارائه می‌کند. میتوان نتیجه‌گیری کرد که درب تحت بار انفجار (بار مدلسازی این پژوهش) پابرجا باقی می‌ماند.

[1] Draganic, H., & Sigmund, V.
[2] SAP2000
[3] Xingna, L., Xinming, Q., Huanjuan, Z., & Ping, H.
[4] LS-Dyna
[5] Chen, W., & Hao, H.
[6] ANSYS
[7] Ls-Prepost
[8] Aitavade, N. S., Jadhav, D. N, Thorat, D. R., & Ramavat, S. A.

فتح الله، کی، تانگ و حلال[1] (۲۰۱۴) در پژوهش خود به مطالعات وسیعی پرداخته‌اند. در قسمتی از این پژوهش شش حالت مختلف از محل قرارگیری سخت کننده‌ها را به وسیله نرم‌افزار آباکوس مدل شده است، سپس حالات مختلف به دست آمده در برابر فواصل معین و سه مقدار نیروی متفاوت از انفجار قرار گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که بهترین حالت درک بارگذاری شوک، توجه به جابه‌جایی نقطه مرکزی است و همچنین سیستم میرا کننده می‌تواند مقدار جابه‌جایی درب را کاهش دهد.

چانک کیم یونگ، کانلیف و پلیسیس[2] (۲۰۱۴) درتحقیقی به بررسی پنل‌های ساندویچی روکش فلزی با هسته لوله‌ای شکل در برابر انفجار متحد پرداخته‌اند. داخل هسته‌های لوله ای شکل خالی یا با فوم دایره‌ای شکل آلمینیوم یا فولاد نرم احاطه شده است. همچنین چهار حالت مختلف چیدمان هسته‌ی لوله‌ای شکل را بررسی کرده‌اند. نیروی انفجار متحد به صورت یک نیروی انفجار تغییر کرده از حجم انفجار ۶ گرم تا ۵۰ گرم مواد منفجره و از فاصله ۴۰ میلی متری در نظر گرفته شده است. ظرفیت فوم را برای جذب انرژی‌های اضافی، افزایش داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با یک افزایش در وزن برای حالت‌های مختلف پنل‌ها باعث افزایش میانگین شکست می‌شود. همچنین کمترین ارتباط بین هسته لوله‌ها در پنل‌های روکش فلزی مشاهده شده است که باعث افزایش بیشترین ظرفیت جذب انرژی برای یک مقدار معین وزن انفجار می‌گردد.

ماتساگار[3] (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی افزایش عملکرد پنل‌های غیر کامپوزیت ساخته شده از صفحات فولاد، لایه‌های بتن و پنل‌های کامپوزیت ساندویچی در برابر انفجار پرداخته است. پارامترهای مورد مطالعه در این پژوهش عبارتند از پیکربندی مختلف سخت کننده، ضخامت پنل‌ها، جنس مواد در پنل‌های کامپوزیت ساندویچی و ضخامت‌های مختلف از فوم و لایه‌های شن است. مقدار کشش تابعی از خواص مواد برای فولاد، بتن خالص، بتن تقویت شده با فیبر فولاد، فوم‌ها و شن استفاده شده در آنالیز است. بارگذاری انفجار استفاده شده در مدل‌ها معادل یک فشار تاریخ زمان منحنی می‌باشد. جابه‌جایی نقطه مرکز از پنل‌ها برای انفجار بیش از حد ۱,۱۶ مگاپاسکال درخواستی برای ۶,۱ میلی ثانیه در این پژوهش موجود است. نتایج نشان می-دهد که پنل‌های غیر کامپوزیت ساخته شده از پنل‌های ساندویچی کامپوزیت که شامل ورقه‌های بتن تقویت شده با فولاد و فوم ترکیبی آلیاژ آلمینیوم نشان می‌دهد که بهترین عملکرد را در برابر انفجار را در مقایسه با صفحه فولاد، ورقه‌های بتن تقویت شده و خالص و پنل‌های ساندویچی کامپوزیت هسته فوم دیترم و پلی اورتان را دارد.

وردهی و رامانا‌راو[4] (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی حالات درب با سخت کننده‌های مختلف به شکل‌های T و Π و I با چهار ضخامت مختلف پرداخته‌اند، که در برابر پنج مقدار متفاوت از مواد منفجره قرار گرفته است. نرم‌افزار مورد نیاز در این پژوهش برای تحلیل، نرم افزار آباکوس است. نتایج تمامی حالات بر اساس مقدار مواد منفجره با هم مقایسه گردیده است که نتایج نشان دهنده آن است که سخت کننده T شکل بیشترین مقاومت و کمترین میزان جابه‌جایی را از بین دو حالت دیگر داراست.

منگ و همکاران[5] (۲۰۱۶) در پژوهش خود به آزمایش پنج حالت از درب ضدانفجار با مواد تشکیل شده از ۲ لایه فلز پرداخته-اند. بین هر یک از آنها با فیبر کربن یا شیشه پوشیده شده یا SMC و فیبر کربن تقویت شده با پلاستیک یا CFRP پرداخته است و سپس این مدل‌ها را در برابر انفجار قرار داده است و بعد از آن شبیه‌سازی عددی را با برنامه ال اس-دینا انجام داده‌اند و به این نتیجه رسیده است که هرچه لایه اس ام سی کوچکتر باشد، جابه‌جایی بیشترین می‌شود. همچنین همه درب‌های مورد بررسی در این پژوهش دارای سختی کافی در برابر موج انفجار با حداکثر نیروی ۰,۴۵ مگاپاسکال بوده‌اند. از سویی تقویت‌کننده CFRP سبب بهبود سختی و همچنین کاهش جابه‌جایی می‌گردد.

ژآو و همکاران[6] (۲۰۱۷) در پژوهشی به بهینه‌سازی صفحه استوانه سخت کننده به وسیله جوش و انتقال نیروی مهار شده آن به زمین پرداخته‌اند. پایه بهینه‌سازی آنها براساس ترکیب الگوریتم ژنتیک چند تیکه (MIGA) بوده است و آن را به صورت

[1] Fathallah, E., Qi, H., Tong, L., & Helal, M.
[2] Chung Kim Yuen, S., Nurick, G., & du Plessis, M. C.
[3] Matsagar, V
[4] Veeredhi, L.S., & Ramana Roa, N. V.
[5] Meng, F., & et al.
[6] Zhao. Y., & et al.

آنالیز مقدار خاص خم شدن خطی (LEBA) و آنالیز ضربه غیرخطی (NIA) تحلیل کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که پایه بهینه‌سازی آنالیز مقدار خاص خم شده خطی در درجه اول باعث کم شدن نسبت شکست موضعی از فروپاشی سازه و در نتیجه انحراف طراحی بهینه می‌شود. در نقطه مقابل، بهینه‌سازی طراحی براساس بازده آنالیز غیرخطی باعث نزدیکتر شدن به طراحی‌های بهینه با برنامه‌های مهندسی می‌شود.

3- نتیجه‌گیری

۱. طراحی و شبیه سازی نیروی دینامیکی نقش اساسی در طراحی درب های ایمنی دارند که می تواند بر دو صورت زمینی و هوایی در نظر گرفته شود.
۲. بهترین حالت برای طراحی درب ضد انفجار حالتی است که بعد از وقوع انفجار، درب پابرجا باقی بماند.
۳. جنس درب و سخت کننده ها یکی از عوامل مهم برای طراحی درب های ایمنی است.
۴. سیستم میرا کننده می‌تواند مقدار جابه‌جایی درب در مقابل نیروی دینامیکی را کاهش دهد.
۵. بیشترین جابه جایی درب بر اثر انفجار مربوط به نقطه مرکزی آن می باشد و می توان بیان کرد هر چقدر مقدار نیروی دینامیکی بیشتر باشد، مقدار جابه جایی هم بیشتر است.
۶. وجود سخت کننده‌ها اثر معنا داری در کاهش پاسخ جابه‌جایی درب به خصوص در مرکز حداکثر جابه‌جایی دارد.
۷. هر قدر سخت کننده‌ها بیشتر شوند تنش کمتری به درب وارد شده و جابه‌جایی کمتر شده است.
۸. فواصل بین سخت کننده ها نقش مهمی در افزایش مقاومت درب دارد.
۹. بهترین حالت قرارگیری سخت کننده ها حالتی می باشد که آنها نیروی دینامیکی را به تکیه گاه ها انتقال دهند.
۱۰. پایه بهینه‌سازی آنالیز مقدار خاص خم شده خطی در درجه اول باعث کم شدن نسبت شکست موضعی از فروپاشی سازه و در نتیجه انحراف طراحی بهینه می‌شود.
۱۱. بهینه‌سازی طراحی براساس بازده آنالیز غیرخطی باعث نزدیکتر شدن به طراحی‌های بهینه با برنامه‌های مهندسی می‌شود.

مراجع

1. Aitavade, N. S., Jadhav, D. N., Thorat, D. R., & Ramavat, S. A. (2013). *Design and analysis of single plate blast resistant door*. International Jornal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME) , *2* (1).

2. Brode, H. L. (1955). Numerical solution of spherical blast waves. *Journal Of Applied Physics , 26* (6), 766.

3. Broekel, J., & Prusty, G. (2004). Experimental and theoretical investigations on stiffened and unstiffened composite panles under uniform transverse loading. *Composite Srtuctures , 63* (3-4), 293-304.

4. Chen, W., & Hao, H. (2012). Numerical study of a new multi-arch double-layered blast-resistance door panel. *International Journal of Impact Engineering , 43*, 16-28.

5. Chung Kim Yuen, S., Nurick, G., & du Plessis, M. C. (2014). Blast response of cladding sandwich panels with tubular cores. Applied Mechanics and Materials, 566, 581-585.

6. Draganic, H., & Sigmund, V. (2012). Blast loading on structures. *Tehnicki Vjesnik , 19* (3), 643-652.

7. Fathallah, E., Qi, H., Tong, L., & Helal, M. (2014). Numerical Simulation and Response of Stiffened Plates Subjected to Noncontact Underwater Explosion. *Advances in Materials Science and Engineering , 2014*, 17.

8. Goel, M. D., Matsagar, V., & Gupta, A. K. (2011). Dynamic response of stiffened plates under air blast. *International Jornal of Protective Structures , 2*, 139-156.

9. Louca, L. A., Pana, Y., & Hardingb, J. (1998). Responce of stiffened and unstiffened plates subjected to blast loading. *Engineering Structures , 20* (12), 1079-1086.

10. Matsagar, V. (2015). Comparative performance of composite sandwich panels and non-composite panels under blast loading. Materials and Structures, 611-629.

11. Meng, F., Zhang, B., Zhao, Z., Xu, Y., Fan, H., & Jin, F. (2016). A novel all-composite blast-resistant door structure with hierarchical stiffeners. *Composite Structures , 148*, 113-126.

12. Veeredhi, L. S., & Ramana Roa, N. V. (2015). Studies on the impact of explosion on blast resistant stiffened door structures. *Jornal of The Institution of Engineers (India): Series A , 96* (1), 11-20.

13. Xingna, L., Xinming, Q., Huanjuan, Z., & Ping, H. (2012). Simulation analysis on structure safety of refuge chamber door under explosion load. *Procedia Engineering , 45*, 923-929.

14. Zhao, Y., Chen, M., Yang, F., Zhang, L., & Fang, D. (2017). Optimal design of hierarchical grid-stiffened cylindrical shell structures based on linear buckling and nonlinear collapse analyses. Thin-Walled Structures, 315-323.