



ارائه روش تحلیل سقف های لولایی برای سازه های متاثر از فشار داخلی

ناشی از انفجار

امین غفوری پور^۱، شهریار طاووسی تفرشی^۲، حسین باباجانیان بیشه^۳

(دریافت: ۸۸/۱۰/۲۸، پذیرش: ۸۹/۲/۱۳)

چکیده

در این مقاله به بررسی رفتار سازه های تحت اثر فشار داخلی ناشی از انفجار پرداخته شده است. این نوع سازه ها به عنوان کارگاههای تعمیرات تجهیزات قابل انفجار نظامی یا آزمایشگاهی استفاده می شوند. اثرات انفجار داخلی شامل دو اثر، فشار تکانشی و فشار گاز می باشد. برای خارج شدن فشار گاز می بایست دریچه ای در سازه ایجاد نمود. به صورت معمول برای پوشش این دریچه از سقف های پران تحت اثر انفجار استفاده می شود. در این مقاله ایده نوینی برای استفاده از سقف های لولایی ارائه شده است که بتواند فشار گاز را در لحظه انفجار خارج نموده و به عنوان پوششی برای دریچه نیز عمل نماید. مقاله با تعیین روش محاسبه مساحت مناسب برای دریچه به منظور خروج فشار گاز، معادلات مربوط به رفتار سقف در اثر فشار انفجار را پیشنهاد می کند و با حل معادلات، روش محاسبه مقدار وزن واحد سطح سقف برای این نوع از سازه پیشنهاد شده است. بدین ترتیب با این ایده سقف پران به صورت ترکش در اطراف سازه پخش نمی شود و امکان احداث سازه پدافندی بر روی این کارگاهها برای حفاظت آنها از حمله احتمالی دشمن نیز فراهم می گردد.

کلمات کلیدی

انفجار داخلی، پناهگاه، فشار، سقف

A New Approach for Analysis of Roof System Due to the Effect of Explosion in Confined Explosion Structures

Amin Ghafouripour, Shahriar Tavousi, Hossein Babajanian

ABSTRACT

A new approach for design of roof system due to the effect of explosion in confined explosion structures for the missile workshops Abstract This paper discussed a new method for estimation of the behavior and required weight of roof for the confined explosion structures. The behavior of explosion in confined explosion structures affected by different parameters such as reflected pressure, duration of reflected pressure, gas pressure and duration of gas pressure. The main idea for these types of structures that will use as the missile rehabilitation workshops is to protect and creating life safety for the other parts of the workshop. The roof of this structure should fly after an explosion to decrease the gas pressure. On the other hand, this will be a weak point during an attack. In this case, these types of roofs could not resist against any strike. This paper discussed a mathematical modeling for the roof behavior. Finally the paper shows the new method for fabrication of these roofs without a frangible behavior considering the vent opening function. The known behavior of roof and designed mechanism for it could help the workshop structure to be protected by another shelter structure to present of any strikes.

Keywords

Internal Explosion, Shelter, Pressure, Roof

۱.دکتری سازه، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. Amingh@Parspadir.com

۲. دکتری سازه، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. Shtavousi@Yahoo.com

۳. کارشناس ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. Hosseinbabajanian@Yahoo.com (نویسنده مسئول)

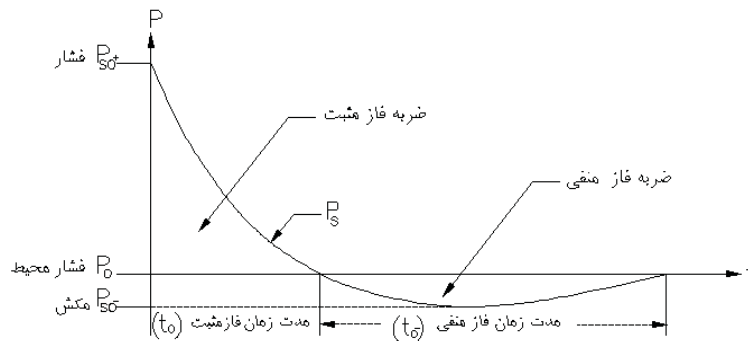


مرتبه دو ناشی از حرکت سقف، معادله حرکت سیستم سقف تعریف شده است.

۱-۱- انفجار خارجی و مشخصات موج انفجار

پس از اینکه خرج شروع به انفجار نمود، به سبب بروز موج انفجاری گازهای سوزان و فشرده توسعه می یابند و از انفجار با سرعت به خارج حرکت کرده و فشار اتمسفر اطراف را بالا می برند. امواجی که در لحظات بعدی به اطراف گسترده می شوند سرعتشان از امواج اولیه زیادتر است زیرا از داخل هوایی عبور می کنند که توسط امواج اولیه گرم شده است به همین دلیل امواج ثانویه در یک زمان معین به امواج اولیه می رسند و فشارشان با هم توأم می گردد و تشکیل سطحی را می دهند که به نام جبهه ضربه یا جبهه موج خوانده می شود. هنگامی که جسمی در برابر این جبهه قرار گیرد، فشار رویه ای آن بالا رفته و در یک لحظه بسیار کوتاه این فشار به ماکزیمم اندازه خود می رسد. این فشار به سادگی جسم را دور زده و از همه اطراف آنرا احاطه کرده و می فشارد [۲]. دیاگرام فشار-زمان موج انفجاری می تواند توسط یک فرم کلی همانند شکل (۱) که برای محیط آزاد است نشان داده شود که شامل دو فاز مثبت (فشار) و منفی (مکش) می باشد و مساحت زیر فاز مثبت را ضربه مثبت موج انفجار و مساحت زیر فاز منفی را ضربه منفی موج انفجار گویند. [۱] و [۴] و [۵] و [۸] و [۹].

ساخت کارگاههای تعمیرات موشک و سلاحهای مشابه در برابر انفجار رخ داده در خود سازه به لحاظ نظامی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. این کارگاهها از یک سو در سایت های صنعتی نظامی قرار دارند و به عنوان فضای کار باید در دسترس باشند و از سویی باید به سادگی قابلیت حمله از طرف دشمن برای این سازه وجود نداشته باشد و قابلیت پدافند غیر عامل داشته باشد. همچنین امکانات و تجهیزات سایت اطراف سازه در صورت رخداد حادثی و پس از وقوع انفجار داخلی نباید آسیب ببینند. اثرات انفجار رخ داده در سازه شامل دو اثر، فشار تکانشی و فشار گاز می باشد که دیاگرام فشار-زمان آن نسبت به حالتی که انفجار در خارج از سازه رخ می دهد (انفجار خارجی) متفاوت می باشد. برای خارج شدن فشار گاز در انفجار داخلی می بایست دریچه ای در سازه و پوششی برای دریچه در نظر گرفت. در تحقیقات انجام شده تا کنون استفاده از سقف پران به عنوان پوششی برای دریچه یک راه حل می باشد که به دلیل سبک بودن سقف پران، تجهیزات درون سازه مورد تهدید هدف تسلیحات نظامی دشمن می باشد و از طرفی پرتاب سقف به صورت ترکش سبب آسیب کارگاههای اطراف می شود. به همین دلیل در این مقاله ایده ابداعی از سقف لولایی برای پوشش دریچه ارائه شده است و رفتار آن حین و پس از انفجار بررسی شده است با حل معادله دیفرانسیل غیر خطی



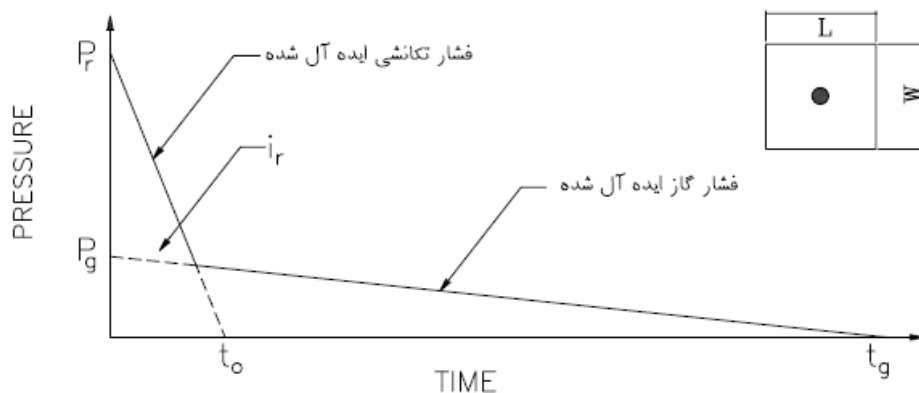
شکل (۱): نمودار تغییرات فشار-زمان موج انفجار (TM5-1300) [۳]



۲-۱- انفجار داخلی

می تواند در کاهش فشار کوبش و کاهش مدت زمان اثر آن موثر باشد بطوریکه برای طراحی سازه های با تماماً باز شو می توان از اثرات فشار گاز صرف نظر کرد. اما زمانی که انفجار داخلی سازه مسدود شده با باز شوهای نسبتاً کوچک رخ می دهد فشار وارده به سازه به هر دو، فشار گاز و فشار ضربه وابسته می باشد [۳]. در این حالت بدلیل برخورد امواج انفجاری به دیوارهای سازه و سطوح منعکس کننده های دیگر و انعکاس متعدد آن، نمودار بارگذاری فشار- زمان پیچیده خواهد بود بطوریکه تاریخچه کامل فشار- زمان آن شامل دنباله هایی از امواج ضربه و بار شبه استاتیکی یا فشار گاز برای هر نقطه معین می باشد [۱۱]. می توان نشان داد که فرایند، متاثر از فشار گاز و فشار تکانشی و مدت زمان اثرشان می باشد و مساحت زیر نمودار فشار بیانگر مقدار ضربه اعمالی ناشی از فشار تکانشی می باشد (شکل (۲)) [۷].

زمانی که انفجاری در داخل سازه رخ می دهد فشار اوج وابسته به جبهه کوبش اولیه، به علت انعکاس امواج به شدت افزایش خواهد یافت و چندین برابر خواهد شد. اثرات حرارت های بالا و توده محصولات گازی تولید شده از طریق فرایند شیمیایی در انفجار بصورت افزایش فشار و افزایش مدت زمان بار گذاری داخلی سازه اعمال خواهد شد بطوریکه اثرات ترکیبی این فشارها می تواند منجر به تخریب سازه شود. برای بررسی رفتار سازه های متاثر از فشار داخلی ناشی از انفجار دو پدیده، فشار تکانشی و فشار گاز قابل بررسی می باشد. فشار تکانشی عبارت است از فشار منعکس شده و تقویت شده از طریق دیوارهای سازه و زمین در داخل سازه و فشار گاز عبارت از فشار مربوط به محصولات گازی تولید شده و حرارت برخاسته می باشد. ایجاد باز شو جهت خروج فشار گاز



شکل (۲): نمودار تغییرات فشار- زمان موج انفجار برای سازه های نیمه مسدود (TM5-1300) [۳]

چنین سیستمی این قابلیت را برای سازه فراهم می آورد که در سایت های صنعتی بتوان پناهگاهی روی این نوع کارگاههای تعمیراتی قرار داد تا بدلیل ضعف ناشی از الزام قرار گیری سقف سبک بدلیل احتمال انفجار از درون مورد تهدید حملات نظامی از خارج سازه قرار نگیرد از سویی سقف پران پس از انفجار خود مانند ترکش عمل

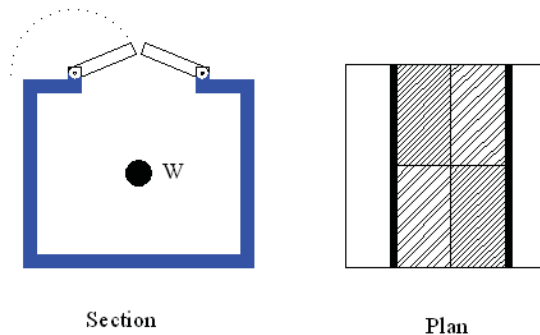
۲- نظریه سقف لولایی بجای سقف پران

در این مقاله تئوری استفاده از سقف لولایی بجای سقف پران برای پوشش سقف سازه مستطیلی شکل کارگاههای تعمیرات سلاح نظامی پیشنهاد شد. در هنگام انفجار این سقف باز شده و فشار گاز خارج می شود و نیرویی به سازه در اثر چرخش وارد می کند، شکل (۳). استفاده از

خواهد کرد که با نظریه داده شده مانع از پرتاب سقف به سمت اطراف و آسیب به بناهای اطراف کارگاهها می گردد. لذا با بهره گیری از تئوری فوق و ایده سقف لولایی معادلات و روش تحلیل این نظریه ارزیابی تا دستورالعمل و روش تحلیل پیشنهاد شود. بارهایی که سبب چرخش سقف حول محور لولا می شوند فشار تکانشی و فشار گاز در مدت زمان اثرشان می باشند که عواملی از قبیل ابعاد سازه، ابعاد دریچه، وزن واحد سطح سقف، مقدار و جنس ماده منفجره و موقعیت آن نسبت به سازه در مقدار این بارها موثرند مقدار بارها از آیین نامه TM5-1300 تعیین می شود که براساس آن می توان بیان کرد که:

(۱) مقدار فشار تکانشی و مدت زمان اثر آن (P_r, t_o) وارد به هر نقطه از سازه وابسته به میزان ماده منفجره، ابعاد سازه، موقعیت ماده منفجره (فاصله مقیاس دار) و تعداد سطوح منعکس کننده بستگی دارند. و مقدار فشار گاز (P_g)، وابسته به وزن ماده منفجره و حجم داخلی سازه می باشد.

(۲) مقدار مدت زمان اعمال فشار گاز (t_g) به مساحت دریچه و وزن واحد سطح پوشش دریچه بستگی دارد به طوری که با کاهش وزن واحد سطح پوشش دریچه و افزایش مقدار مساحت دریچه مقدار t_g کاهش می یابد.

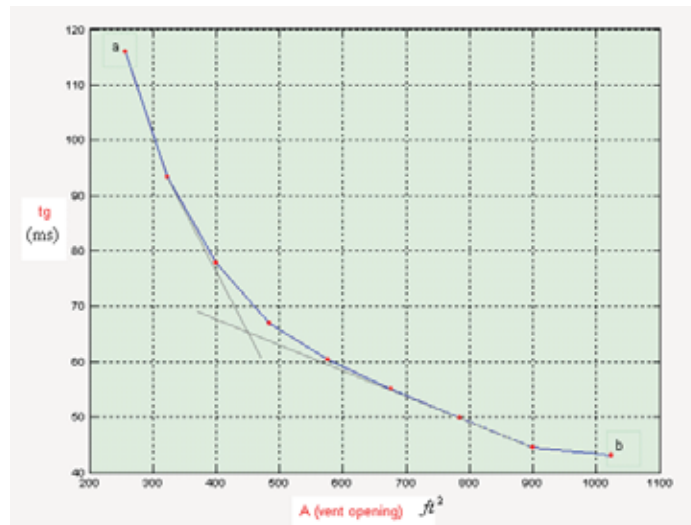


شکل (۳): سازه مستطیلی شکل با پوشش لولایی

بر اساس موارد ذکر شده، نتیجه می شود که مقدار مساحت دریچه و وزن واحد سطح دریچه فقط به مدت زمان تداوم فشار گاز (t_g) بستگی دارد و هر چه مقدار مساحت دریچه بیشتر شود از مقدار (t_g) کاسته می گردد اما از طرف دیگر، با افزایش مقدار مساحت دریچه، ابعاد سقف برای دریچه بزرگ خواهد شد و در نتیجه طراحی یک چنین سیستمی بدلیل مشکل بودن مهار سقف، غیر اقتصادی و گاهی فاقد ارزش عملی است و از سویی از نظر پدافندی هر چه ابعاد دریچه کوچکتر شود خطر اصابت از خارج به آن کاهش می یابد لذا از نظر پدافندی و نیز وزن سقف در ارتباط با مساحت دریچه یک نقطه اپتیمم وجود دارد که باید بدست آید. بنابراین ابعاد دریچه باید بگونه ای انتخاب شود که اولاً مقدار t_g کم باشد و

ثانیاً منتج به انتخاب سقفی با ابعاد مناسب شود که بتوان آنرا مهار نمود و اقتصادی باشد. به همین منظور ابتدا مقدار t_g برای مقادیر مختلف از میزان مساحت دریچه و بازای مقدار ثابتی از وزن واحد سطح پوشش دریچه بدست می آید و نمودار $A - t_g$ رسم می شود پس از رسم منحنی $A - t_g$ شیب از شروع منحنی تا یک نقطه مشخص زیاد بوده و از نقطه مشخص تا انتهای منحنی شیب کم می شود و این تغییرات بیانگر این است که تغییرات کاهش t_g بازای افزایش مساحت دریچه تا یک نقطه مشخص زیاد بوده و از آن نقطه به بعد تغییرات کاهش t_g کم می شود شکل (۴) که می توان این نقطه مشخص از مساحت دریچه را مساحت مناسب پیشنهاد نمود.

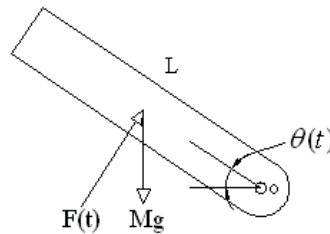




شکل (۴): نمودار تغییرات $A-t_g$ به ازای یک مقدار مشخص از وزن واحد سطح درب ($W_F = cte$)

معادله حرکت سیستم سقف باید تعیین شود. برای تعیین معادله حرکت سیستم سقف که سیستمی با یک درجه آزادی است شکل (۵) معادله دیفرانسیل حرکت به صورت رابطه (۱) تعیین می شود و با حل معادله دیفرانسیل، معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی بدست می آید.

برای وزن واحد سطح پوشش دریچه (w_f) می توان مقادیر زیادی اختیار نمود که مقدار نیروی وارده به سازه ناشی از چرخش سقف با ازای مقادیر مختلف از (w_f) متفاوت خواهد بود بنابر این برای بررسی رفتار سقف و تعیین نیروی وارده به سازه از طریق چرخش سقف،



شکل (۵): دیاگرام آزاد سقف لولایی

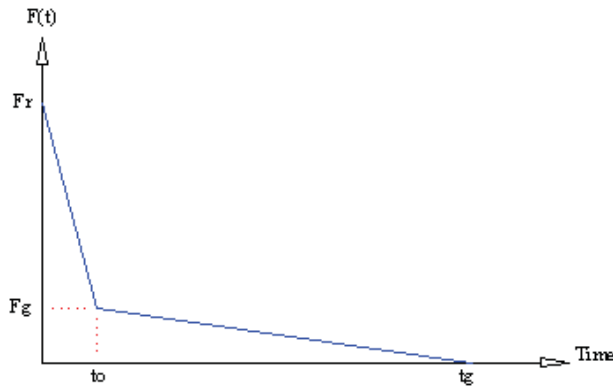
$$\sum M_o = I\alpha \Rightarrow F(t) \times \frac{L}{2} - Mg \times \frac{L}{2} \cos(\theta) = \frac{ML^2}{3} \ddot{\theta} \quad (1)$$

$$F(t) - W \times \cos(\theta) = \frac{2}{3} ML \ddot{\theta} \Rightarrow \left(\frac{2}{3} ML\right) \ddot{\theta} + W \cos(\theta) = F(t)$$

که در آن:

وزن کل درب، I لختی دورانی درب که حول نقطه O برابر $\frac{ML^2}{3}$ می باشد، $\alpha = \ddot{\theta}$ شتاب زاویه ی.

$F(t)$ نیروی (ناشی از انفجار) وارده به درب (شکل (۶)).
 L عرض دریچه، M جرم کل سقف (درب)، $W = Mg$



شکل (۶): نمودار تغییرات نیرو - زمان برای بار وارده به سقف ناشی از انفجار داخلی

شامل h^4 و خود آن جمله به طور کامل وارد شده اند [۱۴].

که در آن F_r, F_g نیروی اعمالی در اثر فشار تکانشی و فشار گاز می باشند.

با توجه به تابع $F(t)$ (شکل (۶)) رفتار درب (معادله حرکت) رادر سه بازه زمانی $0 \leq t \leq t_o$ و $t_o \leq t \leq t_g$ و $t > t_g$ بررسی شده که در هر لحظه از زمان با توجه به گام زمانی، مقادیر $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ تا $\theta = \pi$ مطابق روابط (۲) تا (۲۰) تعیین می گردد.

از آنجائیکه معادله دیفرانسیل از نوع غیر خطی مرتبه دو می باشد از روش عددی رانگه-کوتا برای حل آن استفاده می شود. این روش یک مرتبه چهارم است به این معنی که در بسط تیلر y' و y'' جملات اول تا جمله

$$\ddot{\theta} = f(t, \theta) \quad (۲)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{3}{2ML}(f(t) - W \times \text{Cos}(\theta))$$

$$f(t, \theta) = \frac{3}{2ML}(F_r - \frac{t}{t_o}(F_r - F_g) - W \times \text{Cos}(\theta)) \quad 0 \leq t \leq t_o \quad (۳)$$

$$f(t, \theta) = \frac{3}{2ML}(\frac{t_g - t}{t_g - t_o}F_g - W \times \text{Cos}(\theta)) \quad t_o \leq t \leq t_g \quad (۴)$$

$$f(t, \theta) = \frac{3}{2ML}(-W \times \text{Cos}(\theta)) \quad t > t_g \quad (۵)$$

برای $0 \leq t \leq t_o$ داریم:

$$A_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML}(F_r - \frac{t_n}{t_o}(F_r - F_g) - W \cos(\theta_n)) \quad (۶)$$

$$B_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML}(F_r - \frac{(F_r - F_g)}{t_o}(t_n + \frac{\Delta t}{2}) - W \cos(\theta_n + \beta_n)), \quad \beta_n = \frac{\Delta t}{2}(\dot{\theta}_n + \frac{1}{2}A_n) \quad (۷)$$

$$C_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML}(F_r - \frac{(F_r - F_g)}{t_o}(t_n + \frac{\Delta t}{2}) - W \cos(\theta_n + \beta_n)) \quad (۸)$$



$$D_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (F_r - \frac{(F_r - F_g)}{t_o} (t_n + \Delta t) - W \cos(\theta_n + \delta_n)), \quad \delta_n = \Delta t (\dot{\theta}_n + C_n) \quad (9)$$

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_n = \frac{3}{2ML} (F_r - \frac{t_n}{t_o} (F_r - F_g) - W \cos(\theta_n)) & 0 \leq t \leq t_o \\ \theta_{n+1} = \theta_n + \Delta t (\dot{\theta}_n + K_n), K_n = \frac{1}{3} (A_n + B_n + C_n) & 0 \leq t \leq t_o \\ \dot{\theta}_{n+1} = \dot{\theta}_n + K_n^*, K_n^* = \frac{1}{3} (A_n + 2B_n + 2C_n + D_n) & 0 \leq t \leq t_o \end{cases} \quad (10)$$

برای $t_o \leq t \leq t_g$ داریم:

$$A_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (\frac{t_g - t_n}{t_g - t_o} F_g - W \cos(\theta_n)) \quad (11)$$

$$B_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (\frac{t_g - (t_n + 0.5\Delta t)}{t_g - t_o} F_g - W \cos(\theta_n + \beta_n)), \quad \beta_n = \frac{\Delta t}{2} (\dot{\theta}_n + \frac{1}{2} A_n) \quad (12)$$

$$C_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (\frac{t_g - (t_n + 0.5\Delta t)}{t_g - t_o} F_g - W \cos(\theta_n + \beta_n)) \quad (13)$$

$$D_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (\frac{t_g - (t_n + \Delta t)}{t_g - t_o} F_g - W \cos(\theta_n + \delta_n)), \quad \delta_n = \Delta t (\dot{\theta}_n + C_n) \quad (14)$$

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_n = \frac{3}{2ML} (\frac{t_g - t_n}{t_g - t_o} F_g - W \cos(\theta_n)) & t_o \leq t \leq t_g \\ \theta_{n+1} = \theta_n + \Delta t (\dot{\theta}_n + K_n), K_n = \frac{1}{3} (A_n + B_n + C_n) & t_o \leq t \leq t_g \\ \dot{\theta}_{n+1} = \dot{\theta}_n + K_n^*, K_n^* = \frac{1}{3} (A_n + 2B_n + 2C_n + D_n) & t_o \leq t \leq t_g \end{cases} \quad (15)$$

و برای $t > t_g$ داریم:

$$A_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (-W \cos(\theta_n)) \quad (16)$$

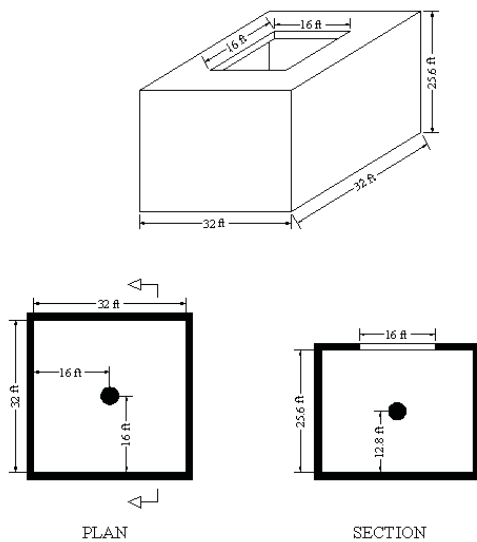
$$B_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (-W \cos(\theta_n + \beta_n)), \quad \beta_n = \frac{\Delta t}{2} (\dot{\theta}_n + \frac{1}{2} A_n) \quad (17)$$

$$C_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (-W \cos(\theta_n + \beta_n)) \quad (18)$$

$$D_n = \frac{1}{2} \Delta t \frac{3}{2ML} (-W \cos(\theta_n + \delta_n)), \quad \delta_n = \Delta t (\dot{\theta}_n + C_n) \quad (19)$$

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_n = \frac{3}{2ML}(-W \cos(\theta_n)) & t < t_g \\ \theta_{n+1} = \theta_n + \Delta t(\dot{\theta}_n + K_n), K_n = \frac{1}{3}(A_n + B_n + C_n) & t > t_g \\ \dot{\theta}_{n+1} = \dot{\theta}_n + K_n^*, K_n^* = \frac{1}{3}(A_n + 2B_n + 2C_n + D_n) & t > t_g \end{cases} \quad (20)$$

صحت داده های انفجار آئین نامه TM5-1300 می باشد. در مثال قابلیت کاربرد و دستورالعمل پیشنهادی کنترل و مقدار پاسخها از نظر محتوای واقعی کنترل می گردد تا اطمینان از کاربردی بودن نظریه در واقعیت بدست آید. برای آزمون این نظریه فرضیاتی به عنوان یک مثال معمول بر اساس داده های نظامی بصورت ذیل فرض می گردد: ماده منفجره از نوع TNT کروی بوده، وزن ماده منفجره برابر 210 lb که با اعمال ضریب اطمینان 1.2 برابر 252 lb و موقعیت آن در مرکز سازه، طول و عرض سازه برابر 32 ft و ارتفاع 25.6 ft. ابعاد دريچه برابر 16ft×16ft، وزن واحد سطح پوشش دريچه به عنوان فرض اوليه برابر 25 lb/ft² در نظر گرفته می شود شکل(۷).



شکل (۷): ابعاد سازه مورد مطالعه

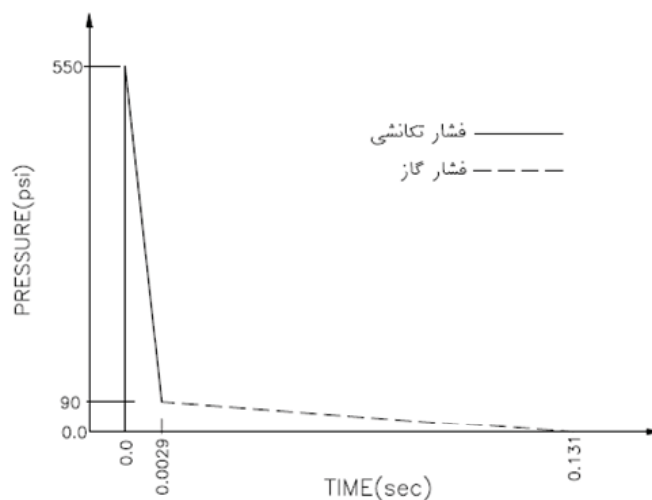
با استفاده از نرم افزار MATLAB 7.0 یک کد بنام Hinge Floor Analysis جهت محاسبه مقادیر $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ با گام زمانی $\Delta t = \frac{t_o}{100}$ برای بازه زمانی $0 \leq t \leq t_o$ و $\Delta t = \frac{t_g - t_o}{400}$ برای بازه زمانی $t_o \leq t \leq t_g$ ، نوشته شده تا بتوان نتایج را برای حالات مختلف از مقدار مساحت دريچه بررسی نمود و نقطه بهینه را استخراج کرد. آخرین مرحله در تدوین تئوری تحلیل این سقف لولایی کنترل و تحلیل ضربه ناشی از برخورد سقف بر سازه بتنی است. اگر در محل برخورد درب دريچه با سازه، فنری با سختی K موجود باشد میزان فشردگی فنر و نیروی بوجود آمده در فنر طبق اصل پایستگی انرژی به صورت رابطه (۲۱) تعیین می شود.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} kx^2 &= \frac{1}{2} I\omega^2 + Mgx \\ F &= kx \end{aligned} \quad (21)$$

پس از انجام این تحلیل چنانچه پاسخ بدست آمده از ضربه سقف به سازه خارج از حدود قابل قبول مهندسی باشد ابعاد دريچه و وزن باید بازبینی و یک مرتبه دیگر سیکل محاسبه تکرار گردد.

۳- آزمون عددی نظریه سقف لولایی

با توجه به اینکه در این مقاله ایده سقف لولایی و روش تحلیل آن پیشنهاد شده است به عنوان آزمون نظریه مثالی با ابعاد و داده های واقعی در نظر گرفته می شود و مبنای



شکل (۸): نمودار تغییرات فشار-زمان

مختلف از مساحت دریچه با فرض ثابت بودن سایر مشخصات سازه بدست آورد که برای یک چنین حالتی پارامترهای (P_r, P_g, t_o) ثابت می ماند و مقدار t_g با توجه به مقدار مساحت دریچه متفاوت خواهد بود جدول (۱).

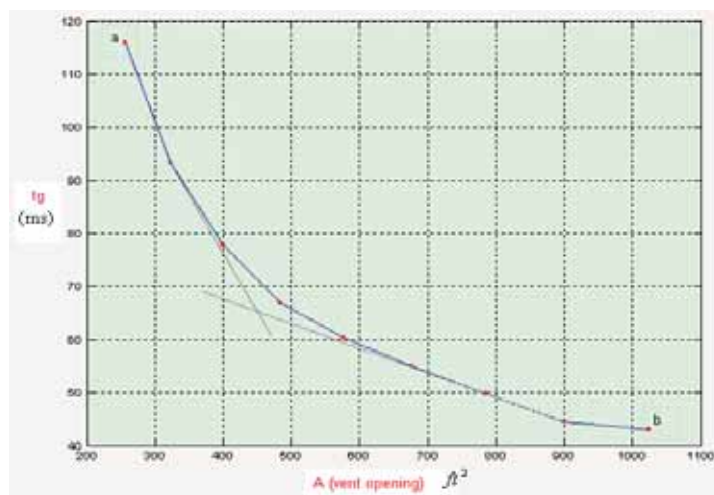
با تعیین مقادیر $P_g = 90 \text{ Psi}$, $t_g = 130.54 \text{ ms}$ و $P_r = 550 \text{ Psi}$, $t_o = 2.87 \text{ ms}$ براساس آیین نامه TM5-1300 می توان نمودار فشار- زمان را برای سازه مورد نظر مطابق شکل (۸) رسم نمود. بنا براین می توان پارامترهای انفجار داخلی (P_r, P_g, t_o, t_g) را برای مقادیر

جدول (۱): مقدار t_g به ازای مقادیر مختلف از مساحت دریچه و مقدار ثابت از $W_F = 20 \text{ lb/ft}^2$

مساحت دریچه $A(\text{ft}^2)$	$W_F(\text{lb/ft}^2)$	$t_g(\text{ms})$
$16' \times 16' = 256$	20	115.9
$18' \times 18' = 324$	20	93.3
$20' \times 20' = 400$	20	77.9
$22' \times 22' = 484$	20	66.8
$24' \times 24' = 576$	20	60.3
$26' \times 26' = 676$	20	55
$28' \times 28' = 784$	20	49.8
$30' \times 30' = 900$	20	44.5
$32' \times 32' = 1024$	20	43.1

مقادیر مختلف از وزن واحد سطح سقف و مقدار ثابت از مساحت دریچه (576 ft^2) بررسی نمود و پس از انتخاب مقدار مناسب از وزن واحد سطح سقف، مجدداً مقدار مساحت مناسب دریچه با توجه به منحنی $A-t_g$ کنترل گردد.

که منحنی $A-t_g$ آن بصورت شکل (۹) می باشد که با توجه به شیب منحنی می توان مقدار مناسب از مساحت دریچه را تعیین نمود که این مقدار در مرحله اول می تواند مقدار 576 ft^2 پیشنهاد گردد و پاسخ سقف سازه را برای



شکل (۹): نمودار تغییرات $A-t_g$ به ازای یک مقدار مشخص از وزن واحد سطح سقف ($W_F = cte$)

پاسخها همگرا شود. مقدار مساحت مناسب دریچه را برابر 576 ft^2 و مساحت هر یک از دو درب را برابر 288 ft^2 و ابعاد $(l=9')$ ، $32' \times 9'$ در نظر گرفته و سایر پارامترها به شرح ذیل می باشند:

۳-۱- بررسی رفتار سقف به ازای مقدار ثابت A و مقادیر مختلف از W_F رفتار سقف به ازای مقدار ثابتی از مساحت دریچه و مقادیر مختلف W_F (وزن واحد سطح سقف) باید به صورت معکوس نیز کنترل گردد تا

$$P_r = 550 \text{ lb/in}^2, P_g = 90 \text{ lb/in}^2, t_0 = 0.0029 \text{ s}, \theta(0) = 0.0, \dot{\theta}(0) = 0.0$$

$$\Delta t = 0.000029 \text{ s} \quad (0 \leq t \leq t_0), \quad \Delta t = 0.0001435 \text{ s} \quad (t_0 \leq t \leq t_g), \quad \Delta t = 0.0001 \quad (t > t_g)$$

$$L = 2.7432 \text{ m}$$

$$F_r = P_r \times A = 550 \times (384 \times 108) = 22809600 \text{ lb} = 101457100.8 \text{ N}$$

$$F_g = P_g \times A = 90 \times (384 \times 108) = 3732480 \text{ lb} = 16602071.04 \text{ N}$$

حالت اول: برای $W_F = 20 \text{ lb/ft}^2$

$$W = W_F \times A = 20 \times (32 \times 9) = 5760 \text{ lb} = 25620.48 \text{ N}$$

$$M = W/9.806 = 2612.73506 \text{ Kg}$$

$$W_F = 20 \text{ lb/ft}^2 \Rightarrow t_g = 60.3 \text{ ms}$$

حالت دوم: برای $W_F = 32 \text{ lb/ft}^2$

$$W = W_F \times A = 32 \times (32 \times 9) = 9216 \text{ lb} = 40992.768 \text{ N}$$

$$M = W/9.806 = 4180.376096 \text{ Kg}$$

$$W_F = 32 \text{ lb/ft}^2 \Rightarrow t_g = 66.7 \text{ ms}$$

حالت سوم: برای $W_F = 40 \text{ lb/ft}^2$

$$W = W_F \times A = 40 \times (32 \times 9) = 11520 \text{ lb} = 51240.96 \text{ N}$$

$$M = W/9.806 = 5225.47012 \text{ Kg}$$

$$W_F = 40 \text{ lb/ft}^2 \Rightarrow t_g = 70 \text{ ms}$$



مقادیر $t, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ به ازای θ برای مقادیر مختلف از وزن واحد سطح سقف در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): مقادیر $t, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ به ازای θ

$W_F (lb/ft^2)$	$t(sec)$	$\theta(rad)$	$\dot{\theta}(rad/s)$	$\ddot{\theta}(rad/s^2)$
20	0.0386315	3.09977114534862	121.284495891101	1317.00631335739
	0.038775	3.11718900077048	121.284495891101	1308.32298795599
	0.0389185	3.13463379750359	121.659984510905	1299.63803735892
	0.039062	3.15210535670528	121.845859326455	1290.95145357153
32	0.0521855	3.09744781476816	88.010769690758	499.39674748821
	0.052345	3.11149186191662	88.0899907452704	493.970531491981
	0.0525045	3.12554847579666	88.1683462341598	488.543259500971
	0.052664	3.13961751833711	88.2458359887377	483.114928329603
	0.0528235	3.15369885143987	88.3224598398272	477.685535039855
40	0.0602705	3.09782749273032	74.8941150021593	257.262954054699
	0.06043825	3.11039457986287	74.9369067996755	252.922270466791
	0.060606	3.12296878424194	74.9789703766123	248.580741185483
	0.06077375	3.13554998369662	75.0203055909591	244.238364502233
	0.0609415	3.14813805603215	75.0609123004324	239.895138874163

بنابراین برای سازه مورد نظر می توان دریچه ای به مساحت $A=576ft^2$ و دو سقف لولایی برای دریچه هر کدام به مساحت $288ft^2$ و با توجه به در نظر گرفتن $t_g = 66.7ms$ برای سازه مقدار $W_F = 32lb/ft^2$ اختیار نمود.

۴-نتایج

۱- در این مقاله برای پوشش کارگاههای تعمیر سازههای قابل انفجار نظامی یا کارخانجاتی که با مواد منفجره کار می کنند استفاده از سقف لولایی بجای سقف پران پیشنهاد شده است این ایده به منظور جلوگیری از پرتاب سقف به اطراف به عنوان ترکش و آسیب به سایر کارگاهها در سایت صنعتی و ایجاد امکان یک سازه حفاظ بر روی آن برای جلوگیری از امکان حمله مستقیم به کارگاه ابداع شده است.

مطابق رابطه (۲۱) با فرض مقدار $k = 4.3 \times 10^9 \frac{N}{m}$ به عنوان سختی برای حالت مدل های مختلف سقف در جدول (۲)، نیروی ناشی از ضربه سقف به سازه برابر مقادیر جدول (۳) می باشد. نتیجه تنش های حادث شده نشان می دهد که در وزن $W_F = 32lb/ft^2$ مقدار ضربه در حد مقاومت بتن سازه بوده و با مشخصات مذکور سقف قابل طراحی می باشد.

جدول (۳): نیروی حاصل از مقادیر مختلف W_F

$W_F (lb/ft^2)$	20	32	40
$F(KN)$	645000	591600	562760
$P(Kg/Cm^2)$	241	221	211

۲- ابعاد این سقف هر چه کوچکتر باشد اقتصادی تر و خطر حمله به آن کمتر می گردد و از سویی هر چه بزرگتر باشد نیروی کمتری را تحمل می کند و از اینرو ابعاد و وزن آن یک نقطه اپتیمم دارد که این مقاله روش یافتن به این نقطه بهینه را ارائه کرده است.

۳- مقدار فشار تکانشی و مدت زمان اثر آن (P_r, t_o) وارد به هر نقطه از سازه وابسته به میزان ماده منفجره، ابعاد سازه، موقعیت ماده منفجره (فاصله مقیاس دار) و تعداد سطوح منعکس کننده بستگی دارند و مقدار فشار گاز (P_g)، وابسته به وزن ماده منفجره و حجم داخلی سازه می باشد.

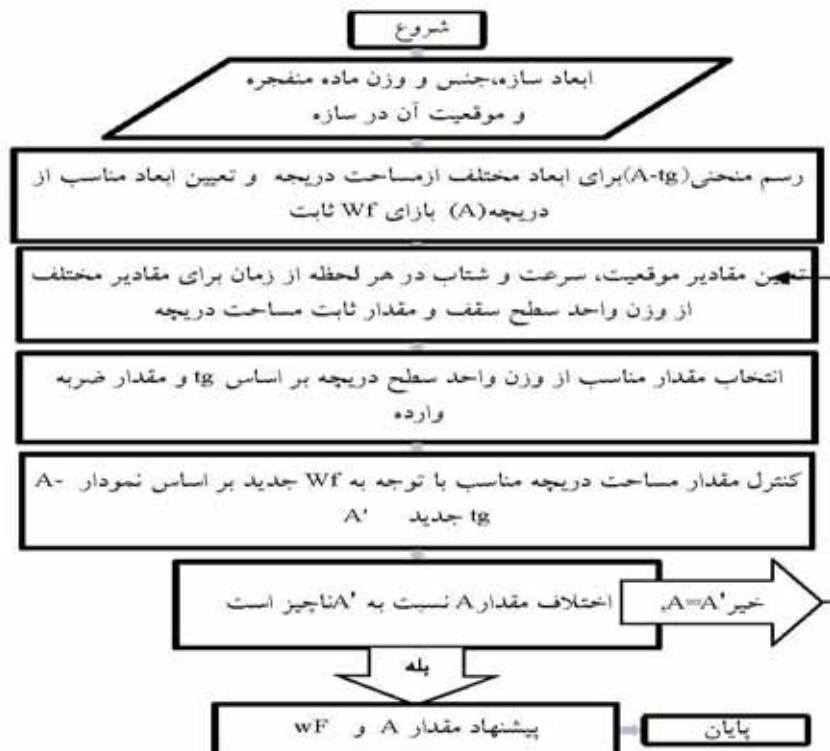
۴- مقدار P_r, t_o, P_g مستقل از میزان مساحت دریچه و وزن واحد سطح پوشش دریچه می باشند.

۵- مقدار t_g به مساحت دریچه و وزن واحد سطح سقف لولایی بستگی دارد به طوری که با کاهش وزن سقف و افزایش مقدار مساحت دریچه مقدار t_g کاهش می یابد.

۶- به عنوان یک روش مقدار ضربه سقف به سازه پس از باز شدن در اثر انفجار مبنای بدست آوردن اپتیمم وزن برای سقف پیشنهاد شده است. برای یک مقدار ثابت از مساحت دریچه با افزایش وزن واحد سطح سقف (W_f)، مقدار سرعت زاویه ای ($\dot{\theta}$) کاهش می یابد و مقدار لختی دورانی (I) افزایش می یابد و بدلیل اینکه مقدار (θ) اثر بیشتری بر مقدار انرژی جنبشی ناشی از حرکت دورانی سقف دارد، با کاهش (θ) مقدار انرژی جنبشی کاهش می یابد و سبب کاهش انرژی جذب شده در بدنه سازه می شود بنابراین برای یک مقدار ثابت از مساحت دریچه و سختی بدنه سازه با افزایش وزن واحد سطح دریچه، مقدار نیروی وارده از درب بر سازه کاهش می یابد.

۷- لازم خواهد بود که این نظریه به صورت عملی نیز با آزمایشات مقیاس شده یا مقیاس کامل کنترل و اصلاحات لازم در روابط آن ارائه گردد.

۸- الگوریتم روش طراحی سقف لولایی به صورت زیر پیشنهاد شده است.



EXPLOSION , Merrick & Company , Los Alamos , New Mexico,USA ,(1997).

13. Yong Lu , Kai Xu , Prediction of lanch velocity of vented concrete structures under internal blast , International Journal of Impact Engineering 34, 1753-1767,(2007).

14. Erwin Kreyszig , Advanced engineering mathematics ,1979

۱. مومنیان ، حسین ، شیمی ماده منفجره ، ۱۳۸۳ ، تهران ، دانشگاه امام حسین(ع).

۲. خیراتی ، عباس ، رفتار سازه های بتن مسلح در برابر انفجار کارگذاشته شده در اطراف آنها ، ۱۳۸۵، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

3. TM5-1300, Structures to resist the effects of accidental explosions. United States Departments of the Army, Navy and Air Force, (1969).

4. FEMA 426, Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings,(2003).

5. AISC, Blast and Progressive Collapse , American Institute of Steel Construction, Inc,(2004).

6. Short Course, Blast Loads and Explosion Effects, THE GORGE WASHINGTON UNIVERSITY, (2008).

7. T.Krauthammer, AISC RESERCH ON STRUCTURAL STEEL TO RESIST BLAST AND PROGRESSIVE COLLAPSE

8. G.Le Blance, M.Adoum,V.Lapujade, External blast load on structures-Empirical approach, European LS-DAYNA Users Conference.

9. Naury K.Birnbaum, ANALYSIS OF BLAST LOADING ON BUILDINGS, Century Dynamics House, Hurst Road, Horsham, West Sussex RH12 2DT,England.

10. T.Ngo, P.Mendis,A.Gupta &j.Ramsay,Blast Loading and Blast on Structures-An Overview,The University of Melbourne, Australia, EJSE Special Issue:Loading on Structures,(2007).

11. Dr Peter D Smith , Dr Andrew Tyas , BLAST LOAD ASSESSMENT BY SIMPLIFIED AND ADVANCED METHODS, Defence College of Management and technology.

12. Pradip K.Khan ,M.Dean Keller, BEHAVIOR EVALUATION AN EXISTING UNDERGROUND STRUCTURE SUBJECTED TO IMPULSIVE LOADS FROM AN INTERNAL