

## بارگذاری انفجار گاز در فضاهای مسکونی

محمدصادق معرفت - محمد رحیمیان  
 استادیاران گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران  
 عبدالعظیم محمدی پور - تورج خرمی تاج  
 فارغ التحصیلان کارشناسی ارشد سازه - دانشکده فنی - دانشگاه تهران  
 (تاریخ دریافت ۷۶/۶/۷، تاریخ تصویب ۷۷/۱/۲۹)

### چکیده

در این مقاله پدیده انفجار گاز از نقطه نظر سازه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. با تکیه بر روشهای آزمایشگاهی و مطالعات تئوریک گزارش شده در منابع معتبر، خصوصیات انفجار گاز در ساختمانهای مسکونی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مدل مناسب جهت تخمین بارگذاری ناشی از انفجار گاز ارائه گردیده است. باتوجه به مشخصات ساختمانهای موجود در ایران، که از بررسی‌های میدانی حاصل شده، و برپایه ملاحظات تئوریک و آزمایشگاهی، فشار مبنایی معادل  $25 \text{ KN/m}^2$  برای انفجار گاز در ساختمانهای مسکونی، بدست آمده است.

کلید واژه‌ها: انفجار گاز، بارگذاری، فشار مینا، گاز

### مقدمه

اساسی داشته و این ویژگیها در مراجع مربوط به تفصیل مورد بحث واقع شده است [۱،۲،۳]. بطوری که از جدول ۱ ملاحظه می‌گردد، انفجار گاز در ردیف انفجارهای کوچک طبقه بندی می‌گردد و در

امروزه در اصطلاحات مهندسی واژه "انفجار" به آزاد شدن مقادیر نسبتاً زیاد انرژی در زمانی نسبتاً کوتاه اطلاق می‌گردد. برپایه مطالعات فراوان [۱،۲،۳] انفجارات براساس "زمان تداوم" و "بزرگی فشار"، بطورکلی، به سه

جدول ۱: طبقه بندی کلی انفجارات.

نوع انفجار	مرتبه زمان تداوم	مرتبه فشار سربار
انفجار اتمی بزرگ	یک ثانیه	$100/000 \text{ KN/m}^2$
انفجار شیمیایی بزرگ مقیاس	صدم ثانیه	$1/000 \text{ KN/m}^2$
مواد منفجره اسلحه کلاسیک	هزارم تا صدم ثانیه	$1/000 \text{ تا } 10/000 \text{ KN/m}^2$
هیدروکربونهای غیراشباع سوخت گازی و برخی مواد شیمیایی دیگر	صدم ثانیه دهم ثانیه	$1000 \text{ KN/m}^2$ کمتر از $800 \text{ KN/m}^2$

واقع بلحاظ ماهوی یک احتراق سریع می‌باشد [۳]. منظور از احتراق، ترکیب سوخت با اکسیژن است که با یک عامل آغازگر، نظیر جرقه، شروع می‌شود. در انفجارهای نوع دیگر، اغلب واکنش‌ها نیازی به حضور اکسیژن نداشته و

طبقه تقسیم می‌شوند؛ که خصوصیات آنها به اختصار در جدول ۱ ارائه گردیده است.

خصوصیات انواع انفجارها، چه از نظر منحنی بارگذاری و چه از لحاظ پاسخ رفتاری سازه، تفاوت

بسته، با نشست و تجمع گاز، غلظت آن بالا رفته و با ایجاد اولین جرق انفجار رخ می‌دهد. در صورتی که فضا همچنان بسته بماند، فشار می‌تواند به  $900 \text{ KN/m}^2$  (۹ bar) افزایش یابد [۲،۳،۴،۵]؛ و احتراق تا سوختن کامل گاز ادامه خواهد یافت. در ساختمانهای مسکونی، عموماً، قبل از آنکه بزرگی فشار به این مقادیر برسد، درب و پنجره‌ها تخریب می‌شوند.

مقاومت بازشوها در ساختمانهای مسکونی عموماً از  $7 \text{ KN/m}^2$  تجاوز نمی‌کند [۳]، و بنابراین با خردشدن منافذ، فضای بسته به فضای نوع دوم، یعنی فضای بسته دریچه‌دار تبدیل می‌گردد. در این حالت بزرگی فشار بندرت از  $60 \text{ KN/m}^2$  تجاوز کرده و اغلب دارای مقادیری به مراتب کمتر می‌باشد. در شکل (۱)، منحنی فشار - زمان یک انفجار گازی، در فضای آشپزخانه یک واحد آپارتمانی، ارائه شده است. همانطور که از منحنی ملاحظه می‌گردد، در نقطه A، با شکستن پوشش دریچه، شاخه صعودی فشار دچار افت ناگهانی گردیده و شاخه نزولی، بالا فاصله پس از شکستن پوشش دریچه، آغاز می‌گردد.

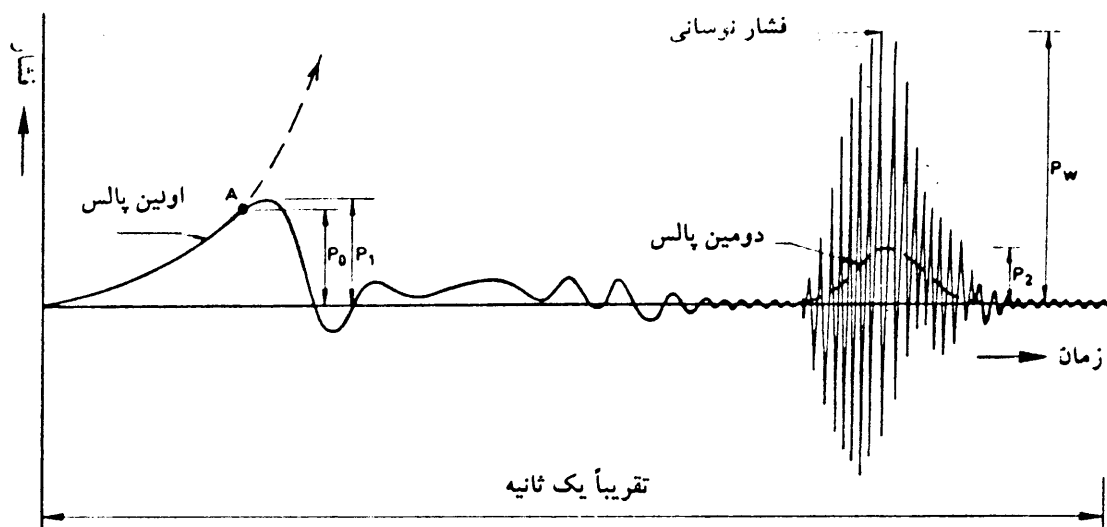
انفجار گاز در ساختمانها موضوع مطالعات متعددی بوده است، که از میان آنها می‌توان به تحقیقات آزمایشگاهی کویبج و سیموندز [۴،۵]، کویبج و مارشال [۶]، دراگوسویچ [۴]؛ و مدل‌های ریاضی ریون [۷]، برادلی و میچسون [۹،۱۰]، فیرویدروویزی [۱۱]، اشاره نمود. خصوصیات این روشها در مرجع [۱۲] ارائه گردیده و به تفصیل در منابع مورد استفاده تشریح شده است.

فرایند بدون ترکیب با عامل خارجی انجام می‌پذیرد. در این نوشتار، هدف بررسی ابعاد و خصوصیات یک انفجار گازی در فضاهایی نظیر فضاهای داخل واحدهای مسکونی می‌باشد. این بررسی از نقطه نظر سازه‌ای صورت می‌گیرد، و در برگیرنده تعیین شدت فشار سربار و عوامل مؤثر بر آن می‌باشد. ضرورت این تحقیق، باتوجه به وسعت شبکه گازرسانی و گسترش روزافزون آن در ایران، حوادث متعدد و تخریب‌های ساختمانی بوجود آمده، آشکار می‌باشد.

### ویژگیهای انفجار گازی

گاز طبیعی ترکیبی است از چند هیدروکربور که بیش از ۸۰ درصد آن را متان تشکیل می‌دهد، و درصد اجزای تشکیل‌دهنده آن بسته به منبع استحصال متفاوت است. برای وقوع یک انفجار گازی، تجمع سه عامل الزامی است: گاز بعنوان عامل اشتعال، اکسیژن هوا بعنوان اکسیدکننده و جرقه بعنوان آغازگر فرایند شیمیایی.

خصوصیات انفجار گاز به عوامل متعددی نظیر فضای حادثه، غلظت گاز، نوع گاز، ابعاد و مقاومت دریچه‌ها بستگی دارد. از نظر نوع فضا، انفجار گازی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: (الف) انفجار در فضای بسته، (ب) انفجار در فضای بسته دریچه‌دار، و (ج) انفجار در فضای باز. این سه نوع انفجار از نظر منحنی فشار - زمان، سربار بیشینه، و زمان تداوم متفاوت می‌باشد. در یک فضای



شکل ۱: نمودار فشار - زمان انفجار گاز در آزمایشهای TNO [۴].

زد. در جدول ۲ علاوه بر روش فوق، خلاصه‌ای از فرمولهای دو روش تجربی دیگر و محدودیتهای حاکم بر آنها، عرضه گردیده است.

فرمولهای کویبیج و سیموندز و کویبیج و مارشال دارای پارامترهایی هستند که به فرمولها عمومیت می‌دهند. این پارامترها اثرات حجم محفظه (V حجم)، وجود دریچه (K ضریب سطح منفذی، W وزن واحد سطح پوشش دریچه و  $P_v$  فشار شکست پوشش) و سرعت سوختن مخلوط گاز و هوا ( $S_0$ ) را اعمال می‌کنند. این روابط جامع‌تر از روابط TNO بوده و برای پیش‌بینی فشار ماکزیم انفجار هر نوع گاز در هر ساختمانی، از جمله ساختمانهای مسکونی، قابل استفاده می‌باشند؛ ولیکن دارای محدودیتهایی هستند که در جدول ۲ بطور خلاصه بیان شده است.

نتایج هر سه روش برای ساختمانهای آپارتمانی قابل استفاده است، اما روش TNO بدلیل تطبیق شرایط انجام آزمایشات با شرایط موجود در فضاهای مسکونی، نسبت به سایر روشها، برای موضوع این مقاله مناسبتر می‌باشد.

### مدلهای رفتاری و طراحی

در ملاحظات سازه‌ای، بطور کلی، دو گونه مدل کاربرد دارد: (۱) مدل‌های رفتاری، (۲) مدل‌های طراحی. مدل رفتاری به روش آنالیزی اشاره دارد که طی آن رفتار تئوریک سازه، تحت اثر شرایط معین، پیش‌بینی می‌گردد. در مدل‌های طراحی، علاوه بر رفتار ساختمان، ملاحظات ایمنی و حاشیه اطمینان نیز مدنظر می‌باشد؛ بدین معنی که پاسخ سازه‌ای یک مقطع، عضو، یا سیستم با اعمال یک ضریب اطمینان پیش‌بینی می‌شود. نمونه مدل‌های رفتاری، روابط آیین‌نامه‌ای طراحی برای پیش‌بینی مقاومت و بار بدون اعمال ضرایب ایمنی جزئی می‌باشد. مثال برای مدل‌های طراحی، استفاده از مقادیر با ضریب بار و مقاومت، در آنالیز و طراحی سازه می‌باشد. هنگامی که مدل طراحی بکار می‌رود، رفتار سازه‌ای تحت شرایط موردنظر، از رفتار تئوریک و واقعی فاصله می‌گیرد؛ اما در عوض مهندس طراح مطمئن می‌شود که ایمنی طراحی در حد قابل قبولی تضمین خواهد شد.

از نقطه نظر کاربردی، سه روش نخست از اهمیت بیشتری برخوردارند. دو روش اول برای انواع ساختمانهای صنعتی و مسکونی قابلیت کاربرد دارند. روش سوم، که بر نتایج تحقیقات آزمایشگاهی دراگوسویچ مبتنی بوده و با عنوان روش TNO معروف است، بطورخاص برای فضاهای مسکونی آپارتمانی بدست آمده و در ادامه تشریح می‌گردد.

در روش TNO، جهت شبیه‌سازی شرایط آزمایشها با وضعیت موجود در آپارتمانها، پارامترهای مختلفی در نظر گرفته شده است؛ از جمله انتخاب گاز طبیعی بعنوان عامل انفجار، وجود دو فضا برای وقوع انفجار که از لحاظ شکل و اندازه مشابه آشپزخانه و اتاق مجاور در آپارتمانها است، دریچه‌هایی مشابه پنجره آپارتمانها و غیره. در ضمن دما و فشار اولیه آزمایشها مشابه با وضعیت آپارتمانها انتخاب شده است.

در این آزمایشها مشاهده شد که انفجار گاز دوپالس فشاری ایجاد می‌کند، که دومی بصورت نوسانی بوده و کمی بعد از اولین پالس فشاری بوجود می‌آید. مقدار ماکزیم این دو پالس بصورت  $P_2 > P_1$  در شکل ۱ نشان داده شده است؛ که بزرگترین این دو مقدار بعنوان فشار ماکزیم انفجار P، در نظر گرفته می‌شود. هرکدام از این پالسها دارای زمان تداوم  $0.2/0$  الی  $0.3/0$  ثانیه بوده و از لحاظ شکل با یک منحنی نیم سینوسی دارای فرکانس  $2C/S$ ، قابل مقایسه است. فشار ماکزیم انفجار را می‌توان به کمک رابطه (۱) محاسبه نمود، که سمت چپ این رابطه مربوط به فشار ماکزیم پالس نوسانی می‌باشد [۱۲].

رابطه (۱) بشکل زیر می‌باشد:

$$P = 3 + 0.5P_0 + \frac{0.04}{\psi^2} \leq 3 + P_0 \quad (1)$$

که  $P_0$  فشار شکست پوشش دریچه برحسب  $KN/m^2$  و  $\psi$  ضریب منفذی است برحسب  $1/m$  (نسبت سطح دریچه به حجم محفظه) و P حداکثر فشار ایجادشده برحسب  $KN/m^2$  می‌باشد. لازم به ذکر است که در رابطه تجربی فوق، غلظت گاز در فضا برابر حداکثر نسبت لازم برای ترکیب شیمیایی گاز با هوا، فرض گردیده است. براساس رابطه فوق می‌توان، با داشتن ابعاد بازشوها و مقاومت پوششها، حداکثر فشار ممکن را در اثر انفجار گازی، تخمین

جدول ۲: خلاصه سه روش آزمایشگاهی.

نوع ساختمان	نوع گاز	محدودیت	فرمول	روش
مسکونی و صنعتی	گاز شهری، گاز مایع، گازهای صنعتی و...	$L_{max}/L_{min} < 3$ $K < 5$ $W < 24 \text{kg/m}^2$ $V < 200 \text{m}^3$	$P_1 = S_0(4.3KW + 28)/V^{1/3}$ $P_2 = 58S \cdot K$ (mbar)	کوبیج و سیموندز
ملاحظات: پوشش دریچه بوسیله نیروی ثقل و یا مینیم اصطکاک نگهداری می شود.				
مسکونی و صنعتی	گاز شهری گاز مایع، گازهای صنعتی، و...	$L_{max}/L_{min} < 3$ $P_v < 4900 \text{mbar}$ $1 < k < 4$ $2.4 < W < 24 \text{kg/m}^2$ $V < 200 \text{m}^3$	$P_m = P_v + 23(S^2 \cdot KW/V^{1/3})$ (mbar)	کوبیج و مارشال
ملاحظات: پوشش دریچه ترجیحاً شکننده باشد ولیکن برای سایر پوششها، که بوسیله یک نیروی معین مقید می شوند، نیز قابل استفاده است.				
مسکونی	گاز شهری	$V < 1000 \text{m}^3$	$P_1 = 3 + 0.5P_0 + 0.04/\psi^2$ $P_2 = 3 + P_0$ $P = \text{Max}(P_1, P_2)$ (KN/m <sup>2</sup> )	روش TNO
ملاحظات: پوشش دریچه شیشه است ولیکن سایر مواد شکننده را نیز می تواند دربرگیرد.				

ملزم است که حاشیه ایمنی و اطمینان لازم را برای سازه تضمین نماید. بدین لحاظ، استفاده از مدلی که علاوه بر رفتار، حاشیه ایمنی مشخصی را نیز در طراحی اعمال نماید، ضروری است. بنابراین، مدل‌های مشروح در بخش قبل برای منظورهای طراحی از محدودیت برخوردار بوده، و این سؤال مطرح می شود که از چه روشی بعنوان مبنای طراحی می توان استفاده کرد.

عموماً، در طراحی‌های مهندسی، مدل‌های طراحی توسط آیین‌نامه‌ها ارائه می شوند. این مدل‌ها بصورت معادلات رفتاری با اعمال ضرایب بار و مقاومت، توصیه‌های موردی برای فرضیات آنالیز و طراحی، و رهنمودهای مخصوص برای جزئیات اجرایی می باشد. در ارتباط با انفجار گاز، آیین‌نامه BS 5628، یکی از کاملترین مراجع می باشد. در این آیین‌نامه، توصیه‌های مهم طراحی، و روشهایی برای تضمین ایمنی سازه‌ای در برابر انفجار گاز

روشهای بارگذاری انفجار گاز، که در قسمت قبل ذکر شد، قادرند که مقدار بار وارد بر سازه را با دقت قابل قبول پیش‌بینی کنند. اما این پیش‌بینی مشروط بر آنست که شرایط انفجار گاز، نظیر ابعاد فضا، ابعاد بازشوها و مقاومت پوشش دریچه‌ها کاملاً معلوم باشد. در واقع، روشهای مذکور می توانند رفتار تئوریک فشار گاز را تعیین نمایند، و بدین لحاظ به مدل‌های دسته اول، یعنی مدل‌های رفتاری، تعلق دارند.

هنگامی که طراحی یک سازه مدنظر باشد، هنوز ساختمان بوجود نیامده و حادثه‌ای اتفاق نیفتاده است؛ و شرایط وقوع یک انفجار گازی با دقت خوب قابل پیش‌بینی نیست. عدم پیش‌بینی شرایط بدلیل وجود عدم قطعیت‌هایی نظیر احتمال وقوع انفجار، شدت انفجار در صورت وقوع، مقاومت دریچه‌ها و پوشش‌های آنها در عمل، و عواملی نظیر آنها می باشد. از سوی دیگر طراح

محدودیت کار صورت گرفت.

برای تعیین فشار سربار، از رابطه (۱) استفاده گردید؛ زیرا این رابطه از تناسب بهتری برای فضاهای مسکونی برخوردار می‌باشد. با انتخاب ارتفاعی برابر  $2/75m$  بعنوان ارتفاع خالص متعارف در بسیاری از فضاهای مسکونی، رابطه (۱) را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$P = 3 + 0.5P_0 + \frac{0.3025}{K_v^2} \geq 3 + P_0 \quad (2)$$

که  $K_v$  ضریب سطح منفذی است و از تقسیم سطح دریچه به سطح کف محفظه بدست می‌آید. محدوده تغییرت این پارامتر را می‌توان با بررسی میدانی بر روی فضاهای موجود در انواع ساختمانهای مسکونی تعیین نمود. برای تخمین فشار ماکزیمم انفجار گاز علاوه بر پارامتر فوق باید فشار شکست شیشه پنجره‌ها را نیز تعیین نمود. بدین منظور بایستی ابعاد شیشه‌ها و ضخامت آنها را مشخص نمود. سطح شیشه پنجره‌های ساختمانهای مسکونی موجود در ایران معمولاً از  $25/0$  تا  $1$  مترمربع متغیر می‌باشد. اگر ضخامت شیشه برای این دو سطح بترتیب  $3$  و  $4$  میلیمتر در نظر گرفته شود، با استفاده از نمودار ارائه شده در مرجع [۱۲]، حد بالا و پائین فشار شکست برای شیشه پنجره‌ها بدست می‌آید که عبارتند از:

$$(P_0)_{\min} = 6 \text{ KN/m}^2$$

$$(P_0)_{\max} = 12 \text{ KN/m}^2$$

باتوجه به بررسیهای میدانی بر روی فضاهای موجود در سه تیپ ساختمان بتنی پانلی پیش‌ساخته در اهواز و کرج، مشاهده شد که ضریب سطح منفذی ( $K_v$ ) در این ساختمانها از  $133/0$  تا  $2/0$  متغیر است. با جایگذاری مقادیر بدست آمده برای ضریب سطح منفذی ( $K_v$ ) و فشار شکست شیشه ( $P_0$ )، در رابطه ۲، محدوده فشار ماکزیمم ناشی از انفجار گاز در این نوع ساختمانها بدست می‌آید؛ که این فشار  $13/6 \text{ KN/m}^2$  تا  $26/1 \text{ KN/m}^2$  تغییر می‌نماید.

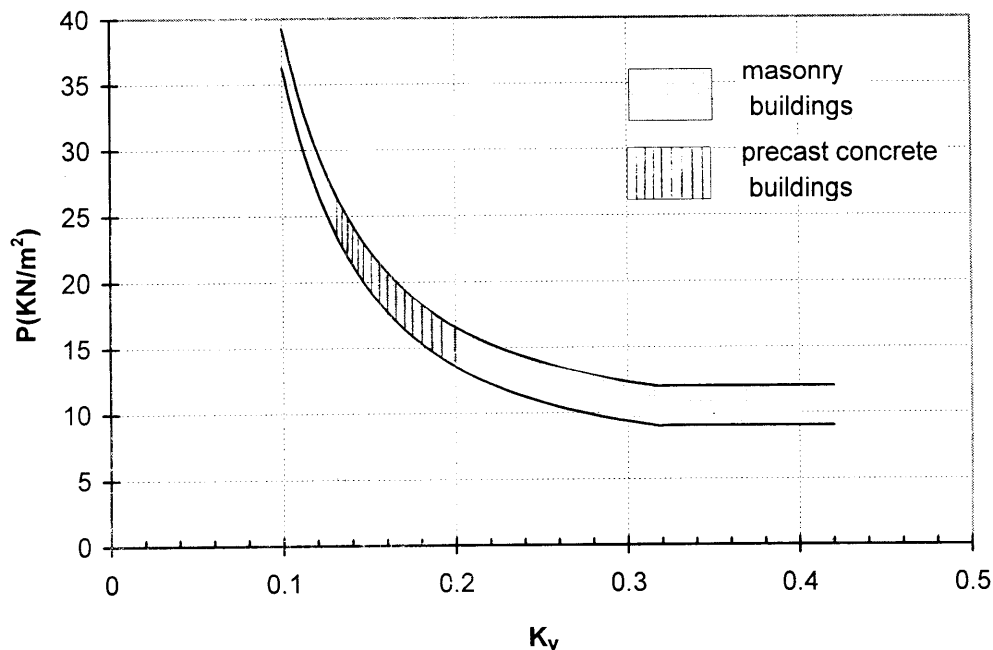
ضریب سطح منفذی در ساختمانهای آجری باتوجه به تنوع این ساختمانها معمولاً بین  $15/0$  تا  $4/0$  متغیر است؛ که مقادیر پائین مربوط به ساختمانهای آجری باربر و

ارائه گردیده است. در زمینه بارگذاری، فشار مبنایی برابر  $34 \text{ KN/m}^2$ ، توسط این آیین‌نامه مقرر گردیده است. این عدد، براساس مطالعات میدانی بر روی حوادث انفجار گاز، در محدوده نسبتاً وسیعی از رویدادها بدست آمده است.

در صورتی که بخواهیم به یک عدد مبنا برای ایران دست پیدا کنیم، انجام یک بررسی آماری جامع روی حوادث گاز، میزان خرابی‌ها، مقدار مقاومت سازه‌ای، و خصوصیات معماری و اجرایی ساختمانها یک ضرورت می‌باشد. بعنوان تلاشی در این راستا، بالغ بر  $5000$  مورد از رویدادهای انفجار گاز، توسط نگارندگان مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته که نتایج حاصله در مرجع [۱۳] منعکس گردیده است. برای برآورد مبنایی برای فشار ناشی از انفجار گاز در ساختمانهای مسکونی در ایران در این مقاله روشی در پیش گرفته شده که در بخش بعد ارائه می‌گردد.

#### فشار مبنا برای انفجار گاز در ساختمانهای مسکونی

برای دستیابی به یک فشار مبنا برای انفجار گاز در ساختمانهای مسکونی، می‌توان بکمک روابط ارائه شده در این مقاله و براساس بررسی میدانی مشخصات ساختمانهای مسکونی عمل نمود. باتوجه به تنوع گسترده این ساختمانها، توجه اصلی بر روی ساختمانهایی با آسیب‌پذیری بیشتر قرار گرفته است. مطالعات [۱۲] نشان داده که ساختمانهای آجری و نیز ساختمانهای پیش‌ساخته بتنی پانلی، در مقایسه با سایر سیستم‌های ساختمان، از آسیب‌پذیری بیشتری در برابر انفجار گاز برخوردار می‌باشند. برای این منظور ساختمانهای آجری متداول در شهر تهران و حومه و سه مجموعه مسکونی متشکل از سیستم پانلی پیش‌ساخته در کرج و اهواز مورد بررسی قرار گرفت. این سه مجموعه عبارتند از مجموعه  $312$  و  $256$  واحدی گلستان اهواز و مجموعه شهرک اوج کرج. لازم بتوضیح است که در حال حاضر بیش از یازده کارخانه به ساخت قطعات پیش‌ساخته بتنی در ایران مشغول بکارند، و مجموعه‌های مسکونی متعددی در سرتاسر ایران در دست ساخت و تکمیل می‌باشد. انتخاب این سه مجموعه، تنها به عنوان نمونه‌ای از ساختمانهای مذکور و با توجه به



شکل ۲: محدوده فشار ناشی از انفجار گاز در ساختمانی مسکونی.

شد. در ضمن جهت محاسبه محدوده فشار انفجار گاز در این ساختمانها از اثرات کاهنده ناشی از شکست در آنها صرف نظر شده است. باتوجه به مطالب فوق الذکر در نظر گرفتن مقداری برابر  $25 \text{ KN/m}^2$  بعنوان فشار مبنا برای ملاحظات طراحی ساختمانهای مسکونی در برابر انفجار گاز شهری مناسب بنظر می رسد.

عدد پیشنهاد شده در فوق، یعنی  $25 \text{ KN/m}^2$  از مقدار ارائه شده توسط آیین نامه BS5628 که برابر  $34 \text{ KN/m}^2$  است، کوچک تر می باشد. البته این طبیعی به نظر می رسد، زیرا که عدد ارائه شده توسط آیین نامه مذکور محدوده بسیار وسیع تری از ساختمانها را، در مقایسه با ساختمانهای مورد بررسی در این مقاله، در برمی گیرد. بدین لحاظ عدد آیین نامه ای مذکور محافظه کارانه تر و لاجرم بزرگ تر می باشد. البته تعیین یک فشار مبنای کلی برای انفجار گاز در ایران نیازمند یک مطالعه میدانی وسیع بر روی حوادث گاز بهمراه استنتاج آماری و آنالیز ریسک می باشد. اما در غیاب چنین اطلاعات وسیع و دقیق، فشار مبنای بدست آمده در این نوشتار، می تواند به عنوان یک مقدار راهنما مدنظر قرار گیرد.

مقادیر بالا مربوط به ساختمانهای آجری با اسلکت فلزی یا بتنی، می باشد. با جایگذاری این مقادیر در رابطه ۲، مشاهده می شود که فشار ماکزیمم انفجار گاز از  $9 \text{ KN/m}^2$  تا  $22/4 \text{ KN/m}^2$  تغییر می کند. محدوده تغییرات فشار ناشی از انفجار گاز در ساختمانهای مورد بررسی در شکل ۲ بصورت سطح سایه خورده نمایش شده است.

در شکل ۲ محدوده بارگذاری انفجار گاز برای دو فشار شکست  $6 \text{ KN/m}^2$ ،  $12 \text{ KN/m}^2$ ، ترسیم شده است، که قسمت غیرخطی این دو منحنی مربوط به پالس نوسانی می باشد (سمت چپ رابطه ۲). در ساختمانهای مسکونی بدلیل وجود اشیاء و اثاث منزل که اثر کاهنده بر روی پالس نوسانی دارند [۴]، فشارهای محاسبه شده در این محدوده کمی دست بالا می باشند. بطوری که در شکل ۲ قابل مشاهده است، فشار ماکزیمم انفجار گاز در ساختمانهای مسکونی از  $9 \text{ KN/m}^2$  تا  $26/1 \text{ KN/m}^2$  متغیر است و این مقادیر مربوط به حالتی است که غلظت گاز در فضا برابر حداکثر نسبت لازم برای ترکیب شیمیائی گاز با هوا باشد. در عمل چنین حالتی کمتر اتفاق خواهد افتاد و هرگونه تغییر در این غلظت، باعث کاهش فشار ماکزیمم خواهد

## خلاصه و نتیجه گیری

## تقدیر و تشکر

در این نوشتار ویژگیهای انفجار گازی و عوامل موثر در آن مورد بحث و بررسی قرار گرفت، و مدل مناسب جهت تخمین بارگذاری ناشی از انفجار گاز شهری در ساختمانهای مسکونی ارائه شد. تفاوت مدل‌های رفتاری و مدل‌های طراحی مورد بررسی قرار گرفت، و سپس با توجه به مشخصات ساختمانهای موجود در ایران، فشاری برابر  $25 \text{ kN/m}^2$  بعنوان فشار مبنا برای طراحی ساختمانهای مسکونی در برابر انفجار گاز شهری توصیه گردید.

این مقاله براساس بخشی از طرح تحقیقاتی «بررسی خطر انفجار گاز و راههای ایمن‌سازی سازه‌ای در ساختمانهای بتنی پیش‌ساخته و ساختمانهای آجری»، طرح تحقیقاتی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه تهران، تهیه شده است. بدین وسیله از مسئولین محترم معاونت پژوهشی دانشگاه تهران، به خاطر حمایت معنوی و مادی از طرح، تقدیر و تشکر می‌گردد.

## مراجع

- 1- Baker, P.A. Cox, and Westine, J.J. Kulesz, and Strehlow, R.A. (1983). "Explosion hazards and evaluation". ELSEVIER.
  - 2- Kinney, G. F. (1962). "Explosive shocks in air". Macmillan Company.
  - 3- Harris, R. J. (1983). "Gas explosions in buildings and heating plant".
  - 4- Dragosavic, M. (1972). "Structural measures against explosions of natural gas in multi-storey residential buildings". *Heron*, 19(4), 1973. Also PP.1-51. Rijswijk, Institute TNO, 24pp-Report BI 72-6104.3.02.520.
  - 5- Cabbage, P.A, and Simmonds, W.A. (1955). "An investigation of explosion reliefs for industrial drying ovens-I". *Top Reliefs in Box Ovens, Trans. Inst. Gas Eng.*, 105(470).
  - 6- Cabbage. P.A., and Simmonds, W.A.(1957). "An investigation of explosion reliefs for industrial drying ovens-II". *Top Reliefs in Box Ovens, Tran. Inst. Gas Eng.*,(107).
  - 7- Cabbage. PA., and Marshal, M.R. (1973). "Pressures generated by explosins of gas-air mixtures in vented enclosures". *Institution of Gas Engineers, Autumn Research Meeting*, London, Communication (926).
  - 8- Runes, E. (1972). "Explosion venting". *A.I. Chem. E. 6th Loss Prevention Symposium*, 63.
  - 9- Bradley, D., and Mitcheson, A. (1978). " The venting of gaseous explosions in spherical vessels." *I - Theory, Combustion and Flame*, 32(221).
  - 10- Bradley, D., and Mitcheson, A.(1987). "The venting of gaseous explosions in spherical vessels". *II-Theory and Experiment, Combustion and Flame*, 32(237).
  - 11- Fairweather, M., and Vasey, M.W. (1982). " A mathematical model for the prediction of overpressure generated in totally confined and vented explosions". *Nineteenth Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute*, 645.
- ۱۲- رحیمیان، م. معرفت، م. ص. محمدی پور، ع. خرمی تاج، ت. "مشخصات بارگذاری انفجار گاز شهری در ساختمانهای مسکونی، بررسی خطر انفجار گاز و راههای ایمن‌سازی سازه‌ای در ساختمانهای بتنی پیش‌ساخته و ساختمانهای آجری". دانشگاه تهران، گزارش اول، دی‌ماه (۱۳۷۴).
- ۱۳- رحیمیان، م. معرفت، م. ص. محمدی پور، ع. خرمی تاج، ت. "بررسی آمار تخریبهای ناشی از انفجار گاز شهری در ساختمانهای مسکونی، بررسی خطر انفجار گاز و راههای ایمن‌سازی سازه‌ای در ساختمانهای بتنی پیش‌ساخته و ساختمانهای آجری". دانشگاه تهران، گزارش دوم، اردیبهشت‌ماه (۱۳۷۵).