

روش‌های نوین مقاوم سازی

مطمئننا مقاوم سازی، گران قیمت ترین راهکار پدافند غیرعامل است و باید با دقت زیاد و بر مبنای تحلیل هزینه به فایده به کار گرفته شود. نباید فراموش کرد که در صنعت، مقاوم‌سازی در برابر اصابت مستقیم مهمات، کاری تقریباً بیهوده محسوب می‌شود. به دلیل محدودیت‌های فرآیندی و فنی، مقاوم‌سازی تجهیزات و تأسیسات در مقایسه با مقاوم‌سازی سازه‌ها کاری بسیار پیچیده تر است. نکته بسیار مهم دیگری که باید در نظر داشت، تفاوت بین روش‌های مقاوم‌سازی برای تأسیسات موجود و جدید است. مقاوم‌سازی تأسیسات در هنگام ساخت، به مراتب ساده تر از مقاوم‌سازی آن‌ها پس از دوره ساخت است و این مشکل بزرگی است که در مورد کلیه تأسیسات موجود کشور مطرح است. به همین دلیل، در این بخش بیشتر در مورد مقاوم‌سازی تأسیسات موجود بحث خواهد شد.



نمونه‌ای از سپرهای ضد انفجار سبک

مقاوم‌سازی تجهیزات

نقاط هدف شامل تجهیزات اصلی گران قیمت، غیر قابل جایگزینی و بسیار آسیب پذیر هستند. کمپرسورها، تلمبه‌ها، برج‌های تقطیر، واحدهای شیرین سازی، مخازن فرآورده، ژنراتورهای برق و واحدهای تولید بخار، مثال‌هایی از تجهیزات هدف در صنایع هستند. استفاده از عمق زمین برای این تجهیزات از نظر ایمنی صنعتی مورد قبول نیست و هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری و نگهداری را به شدت افزایش می‌دهد، به طوری که توجه اقتصادی پروژه را زیر سؤال می‌برد. یکی از بهترین راهکارهای مقاوم‌سازی تجهیزات، استفاده از سپرهای ضد انفجار است. این سپرهای موقت (که شامل سقف‌های حائل نیز می‌شوند) به دلیل پایین بودن هزینه ساخت و نصب، یکی از اقتصادی ترین روش‌های حفاظت از تجهیزات در برابر موج انفجار و ترکش هستند. سپرهای سبک به دو صورت مسقف و بدون سقف قابل بهره برداری هستند. تجهیزات حیاتی به طور معمول با فلسفه بهره برداری «آماده به خدمت» طراحی شده‌اند. به طور مثال اگر برای تولید ظرفیت اسمی یک واحد صنعتی تعداد ۴ کمپرسور لازم باشد، یک یا دو دستگاه کمپرسور به عنوان یدک آماده به کار هستند. با توجه به این که تجهیزات در حال بهره برداری را نمی‌توان درون سپرهای ضد انفجار محصور کرد، کمپرسورهای یدک را با استفاده از این سپرها حفاظت می‌کنند. سپرهای سبک مسقف، برای حفاظت از تجهیزات الکترونیکی، برق و مکانیک با ابعاد کوچکتر از ۱۰ متر (طول یا عرض) و ارتفاع کمتر از ۵ متر مناسب هستند. دیواره‌های این سپرها از سطوح یک یا چند لایه (فایبرگلاس، ورق گالوانیزه، فولادی، آلومینیوم ...) تشکیل شده

است. دیوارها به منظور مقاومت پلاستیک برای حداکثر ضربه موج انفجار، طراحی شده و قابل تعویض هستند.^۲

تأسیسات لوله کشی و کابل کشی

هزینه و زمان بازسازی و تعمیرات تأسیساتی مانند لوله کشی و کابل کشی در مقایسه با تجهیزات اصلی، خیلی کمتر است و مقاوم سازی آن‌ها در اکثر موارد ضروری نیست. می‌توان شیرآلات و تأسیسات حساس را به صورت نیمه مدفون (درون حفره‌های بتونی) نصب کرد و اطراف شیرآلات موجود را دیوارهای بتونی یا فلزی تعبیه کرد. در اکثر موارد نیاز به مقاوم سازی لوله کشی‌ها و کابل کشی‌ها نیست اما مشاهده می‌شود که به دلیل نیاز پروژه، در برخی موارد لوله‌ها یا کابل‌ها از مسیرهای زیرزمینی عبور می‌کنند. مسیرهای زیرزمینی ممکن است از نوع کانال یا به صورت دفنی باشند. با توجه به نوع تهدید، معمولاً مقاوم سازی کانال‌ها هزینه اضافی قابل توجهی به پروژه‌ها تحمیل نمی‌کند. اما به طور کلی اثبات شده است که تنها با استفاده از لایه‌های خاک ریزی حساب شده، می‌توان شعاع آسیب‌پذیری لوله و کابل زیرزمینی را تا حد قابل توجهی کاهش داد. برای اینکار پس از نصب لوله و کابل در عمق مناسب (یا درون کانال‌ها) دو تا سه لایه خاک با ضرایب انتشار مناسب در اطراف آن‌ها ریخته می‌شود. با انتخاب هوشمندانه نوع خاک، ویژگی میرایی موج انفجار در خاک باعث کاهش فشار دریافتی تأسیسات می‌شود. هم چنین استفاده از لایه‌های متعدد از جنس خاک‌های متفاوت باعث می‌شود که موج انفجار در هنگام عبور از یک لایه به لایه بعدی، تا حدود زیادی انرژی خود را از دست بدهد.

ساختمان‌ها

تفاوت بین مقاوم سازی سازه‌هایی که ساخته شده‌اند و سازه‌هایی که در دست طراحی هستند، بسیار زیاد است. ساخت سازه‌های مقاوم در برابر انفجار در صنایع نفت و گاز امری متداول است و معمولاً از فن آوری بتن مسلح استفاده می‌شود. اخیراً پروژه‌های تحقیقاتی و مهندسی در مورد استفاده از (FVD) یا سیستم‌های میرایی سیالات ویسکوز^۳ به منظور جذب انرژی موج انفجار در دیوارها و ساختمان‌ها انجام گرفته که شعاع آسیب‌پذیری را نسبت به بتن مسلح کمتر کرده است.

برای ساختمان‌های موجود (ساختمان‌هایی که مراحل ساخت آنها به اتمام رسیده است) دیواره‌های پیرامونی^۴ به صورتی مقاوم سازی می‌شوند که در برابر موج انفجار منهدم نشده یا باعث ایجاد آوار یا ترکش‌های ثانویه نشوند. مدت‌هاست که برای این کار از ورق‌های فولادی (یا فلزی) یا توری مقاوم در بخش داخلی دیوارها استفاده می‌شود که از حرکت و جابه‌جایی دیواره‌ها جلوگیری کرده و در صورت انهدام، از فروریختن و پرتاب قطعات خرد شده حفاظت می‌کند.

اخیراً روش‌های دیگری نیز متداول شده است که به جای ورق‌ها یا توری‌های فلزی از پوشش‌های الاستومر^۵ (قابل انعطاف) از جنس پلیمرها و به ویژه از مواد پلی اورتان^۶ بهره‌گیری می‌شود.^۷ این پوشش‌ها را می‌توان به صورت ورق^۸ یا به صورت پاششی بر روی سطح داخلی دیواره‌ها به کار برد. نتایج آزمایشات میدانی و شبیه سازی‌های رایانه‌ای حاکی از بازدهی بهتر این روش نسبت به

۱. انواع آلومینیومی این سپرها تحت عنوان Deployable Shelters برای مقاوم سازی آشیانه هواپیماهای جنگنده در پایگاه‌های هوایی سازمان ناتو معمول است. انواع فولادی و بسیار مقاوم این سپرها تحت عنوان SUPPRESSIVE SHIELD برای حفاظت تأسیسات در برابر انفجار مهمات در فواصل بسیار نزدیک، سالهاست که در کارخانجات تولید مهمات و مواد منفجره آمریکا بهره‌برداری می‌شود.

۳. Fluid Viscous Dampers (FVD)

۳. دیوارهای ساختمان که یک طرف آن‌ها با محیط بیرون مرتبط است.

۵. Elastomeric Coating

۶. Polyurethane

۳. مواد پلی‌اورتان دارای مقاومت و خاصیت ضد خوردگی خوبی است.

۴. مانند کاغذ دیواری نصب می‌شود.

ورق‌های فلزی است.

سپرهای پوششی بتونی سبک، یکی دیگر از انواع سپرهای ضد انفجار محسوب می‌شوند. این سپرها، دیوارهای جانبی و مسقف برای سازه‌ها هستند که در فاصله‌ای مناسب نسبت به دیوارهای اصلی نصب می‌شوند. جنس این سپرها از بتون مسلح الیافی پیش ساخته بوده و توسط داربست‌ها، ستون‌ها و اجزاء نگهدارنده فولادی تثبیت می‌شوند. این طرح در کشورهای اروپایی برای حفاظت از ساختمان‌های مدیریت دولتی با ریسک بالا مورد استفاده قرار گرفته است.



استفاده از سپرهای ضد انفجار پوششی برای حفاظت از یک ساختمان بزرگ

دیوارهای محافظ پیش ساخته از جمله روش‌های متداول در حفاظت از ساختمان‌ها می‌باشد. این دیوارها با فن آوری‌های مختلف از جمله دیوارهای چند لایه ساندویچی با رزین‌های الاستومر، دیوارهای میراکننده با سیالات ویسکوز، دیوارهای بتونی و حاکی پیش ساخته.... قابل طراحی هستند. به‌طور کلی مطالعات و پژوهش‌ها در مورد سپرهای جاذب انرژی انفجار در حال پیشرفت است و همه ساله در کشورهای مختلف، پروژه‌های متعددی در این زمینه به اجرا در می‌آیند. سپرهای جاذب انرژی انفجار در بیرون سازه نصب می‌شوند و می‌توانند دارای پایه‌هایی بر روی سازه یا بر روی زمین باشند. این دیوارها می‌توانند بخش قابل توجهی از انرژی انفجار را به‌صورت جابه‌جایی یا حتی تخریب لایه‌هایشان، جذب کرده و ضربه وارده به سازه اصلی را کاهش دهند. جدیدترین مطالعات و پژوهش‌های انجام گرفته، تست‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای حاکی از امکان استفاده از دیوارهای چند لایه برای حفاظت در برابر موج فشار هستند. در لایه میانی این دیوارها از انواع مختلف مایعات ویسکوز، گلیسرین، آب و حتی مخازن خلاء استفاده می‌شود.

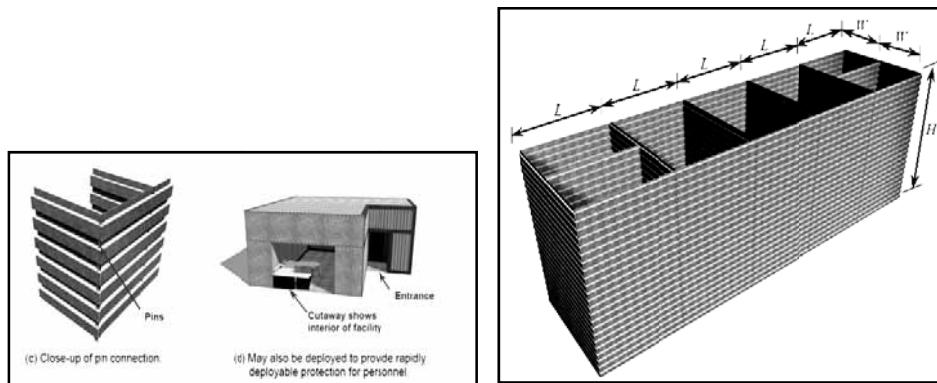
مقاوم‌سازی پنجره‌ها^۹

ترکش‌های خرده شیشه می‌تواند برای سلامتی نیروی انسانی بسیار خطرناک باشد. برخی شرکت‌های فعال در حوزه مقاوم سازی^{۱۰} موفق به طراحی و تولید نوعی لایه نازک^{۱۱} چسبان شده‌اند که از داخل به شیشه‌ها می‌چسبانند و آن‌ها را به چارچوب پنجره متصل می‌کند. این لایه‌های نازک تأثیر چندانی بر گذردهی نور نمی‌گذارند. اما در صورت بروز انفجار در بیرون ساختمان، از شکستن شیشه‌ها جلوگیری کرده و تا حدودی بر مقاومت آن‌ها می‌افزایند و در صورت شکستن، از پرتاب شدن خرده شیشه‌ها به درون ساختمان جلوگیری می‌کند. البته وجود هر گونه لایه‌های محافظ مشابه که از داخل به شیشه‌ها می‌چسبند (حتی اگر خاصیت مقاوم‌سازی ضد انفجار نداشته باشند) باعث کاهش شدید ترکش‌های خرده شیشه به درون ساختمان می‌شود.

۹. Blast Protection for Windows

۱۰. SRI International

۱۱. Film



طرح شماتیک دیوارهای پیش‌ساخته خاکی

پناهگاه‌ها

امروزه از پناهگاه‌های زیرزمینی کمتر استقبال می‌شود چرا که ساخت و نگهداری چنین پناهگاه‌هایی در مقایسه با روش‌های پیشرفته‌تر، بسیار پرهزینه است. استفاده از سپرهای ضد انفجار، دیوارهای محافظ و سپرهای جاذب انرژی با فن آوری‌های مختلف برای ساخت پناهگاه‌ها نیز امکان پذیر است. یکی از ارزان قیمت ترین این فن آوری‌ها دیوارهای پیش ساخته‌ای است که با خاک پر می‌شوند. دیوارها شامل مخازنی از جنس ورق‌های فولادی پیش ساخته هستند که با پیچ یا پین به یکدیگر متصل می‌شوند. درون بدنه دیواره از خاک پر می‌شود و همین امر سبب میرایی قابل توجه شده و از شکل گرفتن و پرتاب شدن ترکش‌های دیواره جلوگیری می‌کند. با طراحی عرض مناسب، حداکثر ارتفاع دیواره‌ها حدود ۱۰ متر و طول آنها به صورت دلخواه قابل طرح است. سپرهای موقت خاکی به‌عنوان دیوار ضد انفجار برای حفاظت از ساختمان و تجهیزات نیز به کار می‌روند. سپرهای خاکی مسقف، برای ساخت انواع مکان‌های امن و پناهگاه ارزان قیمت مناسب هستند. سپرهای خاکی نیازی به فونداسیون ندارند.

در فصل دوم ملاحظه شد که در برخی از کشورها و از جمله کشورهای آمریکا و انگلیس، استفاده از پناهگاه‌های پیش ساخته خانگی متداول بوده است. پناهگاه‌های کوچکی که به راحتی در محیط‌های بسته مونتاژ شده و از برخورد آوار و ترکشها با پناه جویان جلوگیری می‌کند. این نوع پناهگاه‌ها به‌عنوان مکان‌های امن درون ساختمان‌های اداری و صنعتی قابل استفاده هستند.